

С. В. Астапов

МЕЛИОРАТИВНОЕ
ПОЧВОВЕДЕНИЕ

ПРАКТИКУМ

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШИХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

С. В. АСТАПОВ,
доктор сельскохозяйственных наук

МЕЛИОРАТИВНОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ (ПРАКТИКУМ)

ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Допущено Главным управлением сельскохозяйственных вузов Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для гидромелиоративных институтов и факультетов

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва—1958

Рукопись учебного пособия по мелиоративному почвоведению после смерти автора исправлена и дополнена в соответствии с замечаниями рецензентов научными сотрудниками почвенно-мелиоративной лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации, кандидатами сельскохозяйственных наук:

В. А. Емельяновым (гл. I—V, XV, XVI и раздел о просадочности грунтов гл. VIII),

Л. Ф. Маманиной (гл. VI, VIII, IX, X),

О. В. Шаповаловой (гл. XI, XIII и раздел об эффективных размерах почвенных пор гл. III),

К. Н. Шишковым (гл. VII, XII).

Глава XIV—Методы радиоактивных излучений и индикаторов в почвенно-мелиоративных исследованиях—написана В. А. Емельяновым заново.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задачи настоящего руководства состоят в том, чтобы слушатели мелиоративных вузов и мелиоративных факультетов сельскохозяйственных вузов при прохождении курса мелиоративного почвоведения смогли практически освоить методы определения важнейших с мелиоративной точки зрения водно-физических и химических свойств почвы и применить полученные данные для мелиоративной характеристики почв.

Изучение водно-физических и химических свойств почвы необходимо для рационального проектирования оросительных и осушительных систем, их эксплуатации и регулирования водно-воздушного и солевого режима почв в условиях мелиораций, а отсюда и регулирования всего комплекса динамических процессов плодородия почвы.

В оросительных мелиорациях большое значение приобретают вопросы засоления и солонцеватости почв. Засоление при этом не является в большинстве случаев природным свойством почв, оно возникает в результате неправильного орошения. Решение задачи предупреждения и рациональной борьбы с процессами засоления и солонцеватости при мелиорации является крупнейшей хозяйственной и, следовательно, научно-исследовательской проблемой. В соответствии с этим при изучении солевого состава почв и процессов засоления, возникающих при мелиорации, ставится задача найти наиболее рациональные методы по предупреждению и борьбе с этим вредным явлением.

В прямой связи с изложенным стоит совершенно своевременная постановка вопроса о мелиоративной оценке почв. Специфичность этой постановки заключается в том, что с мелиоративной точки зрения мы не можем ограничиться оценкой только исходных свойств почвы, необходимо преду-

смотреть направление и темпы тех изменений, которые будут осуществляться в почве после мелиораций. Прогноз будущего развития почвообразования является решающим критерием в мелиоративной оценке почв.

В основу мелиоративной оценки почв должны быть положены характеристики самой почвы, условий ее залегания и направления будущего хозяйственного и мелиоративного режима территории. Отсюда оформилась мысль о необходимости при прохождении курса мелиоративного почвоведения значительного расширения лабораторных исследований, как в целях выявления основных динамических процессов, возникающих при мелиорации, так и в целях использования методов исследования, наиболее удовлетворяющих вопросам мелиоративного дела.

Прохождение теоретического курса мелиоративного почвоведения и практическая проработка результатов опытов дают возможность слушателям более широко и объективно рассмотреть современное состояние наших знаний о мелиоративных свойствах почв и более конкретно ориентировать почвенно-мелиоративные исследования, проводящиеся при всех мелиоративных изысканиях.

Это создает предпосылку выпуска инженеров-мелиораторов, правильно ориентированных в вопросах взаимосвязи, существующей между инженерными мелиорациями и почвами, на которых эти мелиорации осуществляются. Это обеспечит более широкую и тесную связь между практикой мелиораций и наукой о почве, что послужит в дальнейшем развитию, углублению и конкретизации основной проблемы мелиоративной переделки природных почв в соответствии с требованиями нашего социалистического хозяйства.

Глава I

МЕХАНИЧЕСКИЙ, МИКРОАГРЕГАТНЫЙ И СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗЫ ПОЧВЫ

Почва, с точки зрения ее дисперсного состояния, складывается из минеральных, органо-минеральных и органических частиц различной крупности, различных по минералогическому и химическому составу, обладающих различной активностью в отношении протекающих в почве физико-химических и биологических процессов.

Задачей механического (гранулометрического) анализа почвы является разделение твердой фазы ее на группы (фракции) механических элементов по их крупности путем просеивания на ситах и по скорости падения в воде. Соотношение таких групп между собой для данной почвы и данного отрезка времени постоянно. Оно изменяется лишь под воздействием длительных процессов, протекающих в природе, в частности под влиянием выветривания. На мелиорируемых землях это соотношение может изменяться также в результате проникновения в почву мельчайших механических частиц, поступающих с оросительной водой, и вследствие перемещения мельчайших частичек почвы из верхних горизонтов в нижние токами просачивающейся воды.

Важным показателем характеристики дисперсного состояния почвы является также микро- и макроагрегатный состав ее. В естественных условиях в почве механические элементы соединены в сложную систему микро- и макроагрегатов различными клеящими и цементирующими веществами (разнообразные коллоидальные минеральные и органические вещества, известь, гипс и другие соли).

В зависимости от факторов, создающих агрегаты, отношение их к воде различно. Одни из них расплываются, другие, наоборот, длительное время остаются в воде устойчивыми подобно механическим элементам. Примером неустой-

чивых агрегатов могут служить агрегаты, представленные глинистыми частичками, склеенными между собой солями, выпадавшими из почвенного раствора при увеличении его концентрации. Также неустойчивыми являются агрегаты, возникающие под влиянием коагуляции почвенных коллоидов электролитами. Эти агрегаты разрушаются, как только электролит выщелачивается и концентрация его становится ниже электролитического порога коагуляции. С другой стороны, агрегаты, возникающие путем склеивания механических частичек гумусовыми коллоидами при насыщении поглощающего комплекса этих коллоидов двухвалентными катионами, оказываются весьма устойчивыми к разрушающему воздействию воды. Водопрочны и агрегаты, образовавшиеся посредством связывания механических элементов между собой другими цементирующими веществами, нерастворимыми в воде.

В свою очередь, агрегаты, связываясь между собой, могут давать более крупные агрегаты второго, третьего и других порядков в различной мере устойчивые к диспергирующему действию воды.

Многие важнейшие с мелиоративной точки зрения водно-физические свойства почвы — водопроницаемость, влагоемкость, капиллярность и другие — находятся в функциональной связи не только с механическим, но и с агрегатным составом почвы. Поэтому изменение агрегатного состава почвы обычно влечет за собой и изменение ее водно-физических свойств. В естественных условиях агрегатный состав почвы весьма изменчив во времени. Изменчивость агрегатов может идти как в сторону их измельчения (диспергирование почвы), так и в сторону укрупнения агрегатов.

Изменчивость агрегатного состава обусловлена влиянием таких прямых или косвенных факторов, как температура, влажность, механическое давление корневой системы растений, колес сельскохозяйственных машин, изменение состава поглощенных катионов, микробиологическая деятельность в почве и т. д. В мелиоративной практике действие воды, биологических процессов и электролитов на динамичность агрегатного состояния почвы имеет преимущественное значение.

Вода, подаваемая на орошаемое поле, может коренным образом изменить агрегатный состав почвы как с количественной стороны, так и с качественной, в зависимости от водопрочности агрегатов, т. е. их свойства противостоять раз-

рушающему действию воды. Поэтому, чтобы судить о водно-физических свойствах почвы на основании агрегатного состава, необходимо учитывать наличное состояние агрегатов в почве и знать динамику этого агрегатного состояния во времени как с количественной стороны, так и с качественной.

Задачей микроагрегатного анализа почвы является разделение почвенного образца на фракции микроагрегатов. Обычно это осуществляют при помощи сит и по скорости падения микроагрегатов в столбе спокойной воды.

МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ПИПЕТКИ

При проведении механического анализа почвы прежде всего отделяют на ситах скелет ее: камни, крупный песок и т. д. Для этого берут среднюю пробу воздушносухой почвы весом 200—500 г, в зависимости от количества крупных элементов почвы: чем больше крупных элементов, тем большую берут навеску, и наоборот. Такая навеска в значительной мере гарантирует получение для анализа среднего образца почвы, в который входят все механические элементы. Взятую среднюю пробу частями примерно по 100 г просеивают через миллиметровое сито. Почвенные комки, с трудом поддающиеся раздавливанию резиновым пестиком, разбивают в ступке деревянным пестиком. Просеивание продолжается до тех пор, пока на сите не останется скелет почвы: песок, хрящ, камни с приставшими к ним глинистыми частицами. Для отделения глинистых частиц от скелета почвы его переносят из сита в глубокую фарфоровую или эмалированную чашку, приливают воды столько, чтобы содержимое в чашке было покрыто слоем воды 3—4 см, и кипятят 1 час при постоянном помешивании стеклянной палочкой. После кипячения мутную жидкость сливают в чашку и выпаривают. Так повторяют несколько раз, пока не начнет сливаться чистая вода. Остаток после выпаривания растирают резиновым пестиком и равномерно распределяют в общей массе почвы, пропущенной через миллиметровое сито.

Из почвы, просеянной через миллиметровое сито, берут навеску 5—6 г для определения гигроскопической воды. Отмытые от приставших глинистых частиц элементы скелета почвы высушивают и просеивают через серию сит с диаметром отверстий 10—5—3 и 1 мм. Оставшиеся на ситах эле-

менты скелета почвы взвешивают и выражают их количество в процентах к взятой навеске сухой почвы. Песчаные же частицы, прошедшие при просеивании скелета почвы через миллиметровое сито, присоединяют к общей массе почвы, просеянной через это сито.

Результаты фракционирования скелета почвы записывают по форме.

Скелет почвы (в процентах к взятой пробе)

> 10 мм	10—5 мм	5—3 мм	3—1 мм	< 1 мм
---------	---------	--------	--------	--------

Дальнейший анализ осуществляют методом пипетки, основанным на зависимости скорости падения частиц в спокойной воде от их крупности.

Скорость падения частиц в воде. Падение частиц в спокойной воде совершается под влиянием двух сил: силы тяжести и силы сопротивления среды, в которой происходит падение.

Проф. Стоксом для определения скорости падения шарообразных частиц в спокойной воде теоретически выведена следующая формула:

$$v = \frac{2r^2 (\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) g}{9\eta} \text{ (см/сек),}$$

где v —скорость падения частиц (в см/сек);

g —ускорение силы тяжести (981 см/сек²);

r —радиус частицы (в см);

ρ —удельный вес почвы (почвенных частиц);

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ —удельный вес воды при t° ;

η —вязкость воды при t° (табл. 1).

Таблица 1

Вязкость воды η в зависимости от температуры

t°	η	t°	η
15	0,01165	21	0,00997
17	0,01102	23	0,00950
19	0,01048	25	0,00907

По Стоксу, сопротивление жидкости для движущегося со скоростью v шарообразного тела выражается через коэф-

коэффициент сопротивления $\kappa = 6\pi\eta r v$, где η — вязкость воды, r — радиус частицы. Если в данном случае движущей силой является сила тяжести и при этом достигнута постоянная скорость падения частиц, то можно написать:

$$6\pi\eta r v = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) g;$$

преобразование этой зависимости приведет к формуле Стокса:

$$v = \frac{2r^2 g}{9\eta} (\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}}).$$

Эта формула многократно проверялась экспериментально и в настоящее время принята в международной практике.

Формула Стокса выводится из предположения, что: вязкость жидкости постоянна, а объем жидкости неограниченно велик;

все частицы имеют одинаковый удельный вес, шарообразную форму и велики по сравнению с молекулами жидкости;

скорость падения частиц мала;

при падении частиц сцепление между ними и жидкостью отсутствует.

Ввиду того, что почвенные частицы не шарообразны, а имеют разнообразную форму, некоторые авторы предлагают вводить в формулу Стокса коэффициент не $\frac{2}{9}$, а другой (Архангельский—0,15, Васильев—0,18, Астапов—0,20).

Формула Стокса практически применима для частиц с диаметром от 0,1 до 0,0001 мм. Для определения скорости падения частиц крупнее 0,1 мм Оссен вывел более общую формулу следующего вида:

$$v = \frac{-\frac{C_1}{r} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{r}\right)^2 + 4rC_2}}{2} \text{ см/сек,}$$

где

$$C_1 = \frac{8\eta}{3\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{16}{27} \cdot g \frac{\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

(буквенные обозначения те же, что и в формуле Стокса). Вычисленные по формуле диаметры частиц даже для относительно высоких скоростей (2 см/сек) хорошо совпадают с экспериментальными определениями.

Величиной ρ из формулы Стокса пользуются при механическом анализе почвы, когда в воде падают изолирован-

ные механические элементы. В противоположность этому при микроагрегатном анализе в состоянии падения находятся агрегаты, обладающие некоторой порозностью (микропорозностью), заполненной воздухом. Очевидно, что скорость падения их определяется не удельным весом, а объемным, который меньше удельного веса, и, следовательно, скорость падения их будет меньшей, чем вычисленная по формуле Стокса. Для проверки этого положения были проведены многочисленные прямые измерения скоростей падения в столбе спокойной воды микроагрегатов с помощью специальной микроскопной установки (С. В. Астапов). Результаты измерений показали, что скорость падения микроагрегатов значительно уступает скорости падения механических частиц, причем установлено, что чем крупнее микроагрегаты, тем отклонения больше, и, наоборот, у более мелких микроагрегатов скорость падения приближается к скорости падения элементарных частиц.

При каждом микроагрегатном анализе в суспензии всегда одновременно присутствуют как микроагрегаты, так и механические частицы (в разных почвах в различных соотношениях). Поэтому для расчета скорости падения нельзя пользоваться ни удельным весом частиц, ни каким-либо одним значением объемного веса, а целесообразно найти некоторую среднюю величину. Эта величина получится, как показали исследования, если расчет скоростей падения микроагрегатов производить по формуле:

$$v = \frac{0.13 r^2 (\rho - \rho_{H_2O})}{\eta} g \text{ см/сек.}$$

Буквенные обозначения те же, что и в формуле Стокса.

Принцип метода пипетки. Предположим, что у нас имеется равномерная взвесь механических элементов или микроагрегатов почвы в воде. Концентрация этой взвеси будет равна весу взятой сухой навески, деленному на объем воды. Следовательно, в каждом кубическом сантиметре этой взвеси в начальный момент на любой глубине присутствует одинаковое количество частиц, имеющих различные диаметры. Через некоторое время (t) частицы, обладающие различными скоростями падения, распределяются так, что на некоторой глубине (h) все частицы, имеющие скорость $> \frac{h}{t}$, будут отсутствовать, а частицы, имеющие скорость $< \frac{h}{t}$,

будут находиться в тех же концентрациях, что и первоначальная; если мы рассматриваем очень небольшой слой на указанной глубине. Беря пробы на этой глубине (h) пипеткой через время t_1, t_2, t_3 и т. д., мы узнаем относительное содержание почвенных частиц (механических элементов или микроагрегатов), имеющих скорости меньше $\frac{h}{t_1}, \frac{h}{t_2}, \frac{h}{t_3}$ и т. д., и, вычитая полученные величины последовательно, получаем относительные веса фракций со скоростями в пределах $\frac{h}{t_1} - \frac{h}{t_2}, \frac{h}{t_2} - \frac{h}{t_3}$ и т. д. или в пределах определенных диаметров частиц.

Подготовка навесок почвы к анализу по методу пипетки. Из почвы, просеянной через миллиметровое сито, берут две навески 10—12 г. Одна из них поступает на анализ, а другая служит для определения потерь растворимых веществ при обработке. Если навески содержат карбонаты кальция и магния, что определяют действием 10-процентной соляной кислоты, то их помещают в фарфоровые чашечки диаметром 10 см и обрабатывают для разрушения карбонатов 0,2 *n* раствором соляной кислоты. Количество соляной кислоты приливают соответственно содержанию в почве карбонатов кальция и магния. Например, в почве содержится 5% CaCO_3 . Тогда имеем: $\frac{5 \cdot 1000}{20} = 250$ мг-экв. Са. Следовательно, при 5% CaCO_3 на 100 г почвы нужно приливать 250 мл 1 *n* раствора HCl , а на навеску 10 г—250 мл 0,1 *n* раствора. Прилив необходимое количество раствора HCl , чашечки с навесками нагревают, но не до кипения, при помешивании стеклянной палочкой. После охлаждения содержимое чашек переносят на плотные фильтры диаметром 7—9 см и отфильтровывают в поставленный стакан.

После окончания фильтрации обе навески промывают 0,05 *n* раствором HCl до исчезновения в фильтрате реакции на Са. (Для этого в пробирку собирают 10 мл фильтрата, подщелачивают его аммиаком и, подогрев до кипения, прибавляют несколько капель нагретого до кипения раствора щавелевокислого аммония. Выпадение мелкого кристаллического осадка или помутнение указывает на наличие Ca^{++}). Когда в фильтрате Ca^{++} не останется, обе навески отмывают на фильтре от избытка HCl дистиллированной водой до ис-

чезновения реакции на Cl' (проба раствором азотнокислого серебра).

Для определения количества растворимых веществ, потерянных навесками при обработке соляной кислотой, одну из навесок взвешивают вместе с фильтром и высушивают в сушильном шкафу при 105° до постоянного веса перед обработкой и после, предварительно определив вес высушенного там же фильтра. Разница в весе до и после обработки, отнесенная к первоначальному весу взятой сухой навески, выраженная в процентах, дает суммарное количество растворимых веществ, теряющихся при обработке. Другая обработанная навеска переносится струей воды с фильтра в фарфоровую чашку емкостью 300—400 мл. При этом часть мельчайших частиц почвы остается в порах фильтра. Для извлечения этих частиц фильтр несколько раз смачивают водой и выжимают отдельно в подставленный стаканчик. Мутную жидкость из стаканчиков пропускают через сито с отверстиями 0,25 мм, чтобы задержать волокна фильтра, и присоединяют к общей массе отмытой почвы.

Обработанная таким образом навеска почвы содержит в поглощающем комплексе ион водорода, присутствие которого вызывает коагуляцию мельчайших частиц почвы. Чтобы избежать этого явления, водород замещают ионом Na .

Ион Na в виде 0,1 *n* раствора NaOH прибавляют к суспензии до получения с фенолфталеином слегка розовой окраски (это отвечает pH 8,5). Теоретически NaOH прибавляют в количестве, соответствующем значению полуторной емкости поглощения данной почвы, а практически — около 30 мл 0,1 *n* раствора на навеску 10 г для глинистых почв, 20—25 мл — для тяжелосуглинистых и 10—15 мл — для легкосуглинистых. После этого содержимое чашки переливают через воронку в бутылку и взбалтывают на ротаторе 24 часа при 40 об/мин или кипятят в колбе с обратным холодильником 3 часа. После взбалтывания или кипячения содержимое из бутылки (колбы) пропускают через 0,25-миллиметровое сито, вложенное в воронку, в литровый мерный цилиндр. Оставшиеся на сите частицы омывают дистиллированной водой до тех пор, пока через сито не будет стекать чистая вода. Сняв сито, цилиндр доливают дистиллированной водой точно до 1 л и закрывают притертой пробкой. Оставшиеся на сите частицы смывают в небольшую фарфоровую чашечку, переносят в предварительно взвешенный стаканчик, высушивают до постоянного веса, взве-

шивают на аналитических весах и вычисляют количество их в процентах ко взятой сухой навеске.

При анализе бескарбонатных почв обе навески сразу переносят на воронку с плотным фильтром и обрабатывают

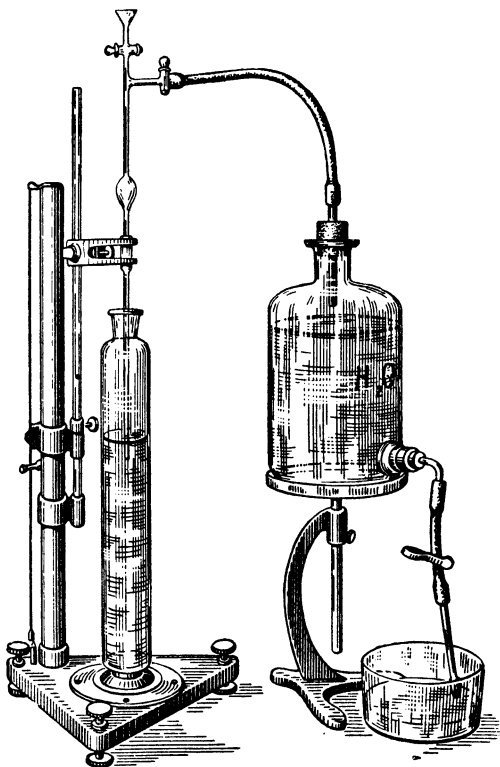


Рис. 1. Прибор для механического анализа почвы методом пипетки.

0,05 *n* раствором HCl до исчезновения реакции на Ca^{++} . Дальнейшая подготовка проводится так же, как и для карбонатных почв¹.

¹ В настоящее время распространяется упрощенный способ подготовки почвы к анализу: механическое диспергирование при помощи растирания образца почвы в состоянии тугопластичной консистенции с применением дистиллированной воды или раствора пирофосфата натрия.

Интервалы времени взятия проб суспензии в зависимости

Диаметр частиц (в мм)	Удельный вес частиц	Глубина взятия проб (в см)	Интервалы взятия проб	
			10°	15°
0,05	2,40	25	2 мин. 51 сек.	2 мин. 29 сек.
0,01	2,40	10	28 мин. 25 сек.	24 мин. 51 сек.
0,005	2,40	10	1 час. 53 мин. 41 сек.	1 час. 39 мин. 27 сек.
0,001	2,40	7	33 час. 09 мин. 12 сек.	29 час. 00 мин. 00 сек.
0,05	2,45	25	2 мин. 45 сек.	2 мин. 24 сек.
0,01	2,45	10	27 мин. 26 сек.	24 мин. 00 сек.
0,005	2,45	10	1 час. 49 мин. 13 сек.	1 час. 36 мин. 00 сек.
0,001	2,45	7	32 час. 00 мин. 45 сек.	28 час. 00 мин. 06 сек.
0,05	2,50	25	2 мин. 39 сек.	2 мин. 19 сек.
0,01	2,50	10	26 мин. 31 сек.	23 мин. 12 сек.
0,005	2,50	10	1 час. 46 мин. 05 сек.	1 час. 32 мин. 48 сек.
0,001	2,50	7	30 час. 56 мин. 31 сек.	27 час. 03 мин. 59 сек.
0,05	2,55	25	2 мин. 34 сек.	2 мин. 15 сек.
0,01	2,55	10	25 мин. 40 сек.	22 мин. 27 сек.
0,005	2,55	10	1 час. 42 мин. 41 сек.	1 час. 29 мин. 48 сек.
0,001	2,55	7	29 час. 56 мин. 48 сек.	26 час. 11 мин. 41 сек.
0,05	2,60	25	2 мин. 29 сек.	2 мин. 10 сек.
0,01	2,60	10	24 мин. 52 сек.	21 мин. 45 сек.
0,005	2,60	10	1 час. 39 мин. 27 сек.	1 час. 26 мин. 59 сек.
0,001	2,60	7	29 час. 00 мин. 31 сек.	25 час. 22 мин. 28 сек.
0,05	2,65	25	2 мин. 25 сек.	2 мин. 07 сек.
0,01	2,65	10	24 мин. 07 сек.	2 мин. 06 сек.
0,005	2,65	10	1 час. 36 мин. 27 сек.	1 час. 24 мин. 21 сек.
0,001	2,65	7	28 час. 07 мин. 53 сек.	24 час. 36 мин. 25 сек.
0,05	2,70	25	2 мин. 20 сек.	2 мин. 03 сек.
0,01	2,70	10	23 мин. 24 сек.	20 мин. 28 сек.
0,05	2,70	10	1 час. 33 мин. 38 сек.	1 час. 21 мин. 04 сек.
0,001	2,70	7	27 час. 18 мин. 21 сек.	23 час. 53 мин. 05 сек.
0,05	2,75	25	2 мин. 16 сек.	1 мин. 59 сек.
0,01	2,75	10	22 мин. 44 сек.	19 мин. 53 сек.
0,005	2,75	10	1 час. 30 мин. 56 сек.	1 час. 19 мин. 33 сек.
0,001	2,75	7	26 час. 31 мин. 25 сек.	23 час. 12 мин. 02 сек.
0,05	2,80	25	2 мин. 13 сек.	1 мин. 56 сек.
0,01	2,80	10	22 мин. 06 сек.	19 мин. 20 сек.
0,005	2,80	10	1 час. 28 мин. 25 сек.	1 час. 17 мин. 20 сек.
0,001	2,80	7	25 час. 47 мин. 18 сек.	22 час. 33 мин. 26 сек.

от температуры и удельного веса твердой фазы почвы

суспензии в зависимости от температуры

20°	25°	30°
2 мин. 12 сек.	1 мин. 57 сек.	1 мин. 45 сек.
21 мин. 59 сек.	19 мин. 33 сек.	17 мин. 28 сек.
1 час. 27 мин. 54 сек.	1 час. 18 мин. 13 сек.	1 час. 09 мин. 55 сек.
25 час. 28 мин. 20 сек.	22 час. 48 мин. 31 сек.	20 час. 23 мин. 11 сек.
2 мин. 07 сек.	1 мин. 53 сек.	1 мин. 41 сек.
21 мин. 13 сек.	18 мин. 53 сек.	16 мин. 52 сек.
1 час. 24 мин. 53 сек.	1 час. 15 мин. 31 сек.	1 час. 07 мин. 29 сек.
24 час. 45 мин. 15 сек.	22 час. 01 мин. 15 сек.	19 час. 41 мин. 05 сек.
2 мин. 03 сек.	1 мин. 49 сек.	1 мин. 38 сек.
20 мин. 31 сек.	18 мин. 15 сек.	16 мин. 19 сек.
1 час. 22 мин. 01 сек.	1 час. 12 мин. 58 сек.	1 час. 05 мин. 14 сек.
23 час. 55 мин. 43 сек.	21 час. 17 мин. 17 сек.	19 час. 01 мин. 40 сек.
1 мин. 59 сек.	1 мин. 46 сек.	1 мин. 35 сек.
19 мин. 51 сек.	17 мин. 39 сек.	15 мин. 47 сек.
1 час. 19 мин. 24 сек.	1 час. 10 мин. 37 сек.	1 час. 03 мин. 08 сек.
23 час. 09 мин. 23 сек.	20 час. 36 мин. 00 сек.	18 час. 14 мин. 54 сек.
1 мин. 55 сек.	1 мин. 43 сек.	1 мин. 32 сек.
19 мин. 44 сек.	17 мин. 06 сек.	15 мин. 17 сек.
1 час. 16 мин. 55 сек.	1 час. 08 мин. 25 сек.	1 час. 02 мин. 44 сек.
22 час. 25 мин. 57 сек.	19 час. 57 мин. 26 сек.	17 час. 50 мин. 20 сек.
1 мин. 52 сек.	1 мин. 40 сек.	1 мин. 29 сек.
18 мин. 39 сек.	16 мин. 35 сек.	14 мин. 50 сек.
1 час. 14 мин. 34 сек.	1 час. 06 мин. 21 сек.	59 мин. 19 сек.
21 час. 45 мин. 09 сек.	19 час. 21 мин. 13 сек.	17 час. 17 мин. 52 сек.
1 мин. 49 сек.	1 мин. 37 сек.	1 мин. 26 сек.
18 мин. 06 сек.	16 мин. 06 сек.	14 мин. 33 сек.
1 час. 12 мин. 24 сек.	1 час. 04 мин. 34 сек.	57 мин. 34 сек.
21 час. 06 мин. 44 сек.	18 час. 48 мин. 40 сек.	16 час. 47 мин. 24 сек.
1 мин. 45 сек.	1 мин. 34 сек.	1 мин. 24 сек.
17 мин. 35 сек.	15 мин. 38 сек.	13 мин. 59 сек.
1 час. 10 мин. 19 сек.	1 час. 02 мин. 34 сек.	55 мин. 56 сек.
20 час. 30 мин. 32 сек.	18 час. 14 мин. 51 сек.	16 час. 18 мин. 35 сек.
1 мин. 43 сек.	1 мин. 31 сек.	1 мин. 22 сек.
17 мин. 06 сек.	15 мин. 12 сек.	13 мин. 35 сек.
1 час. 08 мин. 22 сек.	1 час. 00 мин. 50 сек.	54 мин. 22 сек.
19 час. 56 мин. 28 сек.	17 час. 44 мин. 23 сек.	15 час. 51 мин. 22 сек.

Перед каждым взятием проб содержимое цилиндра равномерно перемешивается 10-кратным перевертыванием цилиндра. Затем цилиндр устанавливают строго вертикально на стойке прибора (рис. 1) и берут пробы.

Глубину и время взятия проб устанавливают (с учетом температуры среды) соответственно скорости падения частиц определенных диаметров и удельному весу почвы, согласно таблице 2.

Пробы берут из цилиндра пипеткой объемом 25 мл. Нижнее отверстие пипетки запаяно, а для поступления в нее суспензии она имеет у дна четыре боковых отверстия. Этим в значительной мере предупреждается засасывание суспензии из нижележащих слоев. Чтобы избежать поступления суспензии в момент опускания пипетки, необходимо пользоваться пипеткой с тонким просветом ствола и погружать ее с закрытым краном. Пипетку устанавливают в приборе и соединяют с аспиратором.

Для засасывания суспензии в пипетку удобно применять аспиратор в виде бутылки объемом 4—5 л, заполненной водой. Горло бутылки снабжают резиновой пробкой с продетой через нее стеклянной трубкой диаметром, равным наружному диаметру пипетки. Посредством резиновой трубки стеклянная трубка соединяется с пипеткой. Внизу бутылки имеется кран с отводной трубкой, конец которой соединен с резиновой трубкой. При открытии крана вода вытекает из бутылки, что создает вакуум, которым суспензия из цилиндра втягивается в пипетку. Как только суспензия достигнет определенного объема, указанного на пипетке чертой, кран закрывают, пипетку вынимают из прибора и суспензию выливают из пипетки в подготовленный взвешенный стеклянный бюкс. В этот же бюкс смывают дистиллированной водой частицы почвы, оставшиеся на стенках пипетки.

При взятии пробы для определения частиц диаметром $\leq 0,05$ мм следует учесть время, необходимое для всасывания суспензии в пипетку, так как за это время (10—15 сек.) некоторое количество частиц с диаметром $\leq 0,05$ мм может выпасть из слоя, намеченного для взятия пробы, и, таким образом, в анализ вкрадутся ошибки. Чтобы предотвратить ошибку, следует начинать взятие пробы ранее указанного срока на время, потребное для всасывания пробы, или опустить пипетку на 1 см глубже, чем указано в приведенной выше таблице. Для определения частиц с диаметром $\leq 0,01$ мм пробы суспензии необходимо брать только с тех

глубин и в то время, как это указано в таблице 2 (стр. 14—15).

Взятые пробы высушивают при 105° до постоянного веса и взвешивают.

Следует иметь в виду, что цилиндры с суспензией должны находиться в помещении с более или менее одинаковой температурой. Нельзя допускать попадания на них прямых солнечных лучей. Для измерения температуры необходимо иметь такой же цилиндр с дистиллированной водой, в который и погружают термометр.

Расчет результатов механического анализа почвы. Навеска почвы для анализа, пересчитанная на сухую почву, равна 250 г. После просеивания на ситах получены фракции (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Диаметр частиц (в мм)	Вес фракций (в г)	Процент к весу сухой почвы
>5	5,0	$5 \cdot \frac{100}{250} = 2,0$
5—3	8,0	$8 \cdot \frac{100}{250} = 3,2$
3—1	10,0	$10 \cdot \frac{100}{250} = 4,0$
<1	227,0	$227 \cdot \frac{100}{250} = 90,8$

Из образца почвы, просеянного через миллиметровое сито, для анализа взята навеска 10 г (при пересчете на вес сухой почвы).

После обработки этой навески на сите с отверстиями по 0,25 мм остались частицы 1—0,25 мм, весящие 1 г, или в процентах $\frac{1 \cdot 100}{10} = 10\%$, что составляет от исходного веса почвы $\frac{10 \cdot 90,8}{100} = 9,08\%$. Потеря веса параллельной навески после обработки составила 0,5 г или $\frac{100 \cdot 0,5}{10} = 5\%$, а к исходному весу почвы $\frac{5 \cdot 90,8}{100} = 4,54\%$.

Процент частиц $< 0,25$ мм $= 100 - (2,0 + 3,2 + 4,0 + 9,08 + 4,54) = 77,18\%$.

Пипеткой объемом 25 мл взяты пробы из литрового объема суспензии и выделены частицы (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Диаметр частиц (в мм)	Вес высушенных фракций, отнесенный к литровому объему (в г)	Процент к весу сухой почвы
$\leq 0,05$	6,1680	$\frac{6,1680 \cdot 90,8}{10} = 56,01$
$\leq 0,01$	4,5235	41,07
$\leq 0,005$	3,1545	28,64
$\leq 0,001$	2,5432	23,09

Отсюда получают отдельные фракции по разности:

от 0,25 до 0,05 $= 77,18 - 56,01 = 21,17\%$
 » 0,05 » 0,01 $= 56,01 - 41,07 = 14,94\%$
 » 0,01 » 0,005 $= 41,07 - 28,64 = 12,43\%$
 » 0,005 » 0,001 $= 28,64 - 23,09 = 5,55\%$
 $< 0,001 = 23,09\%$

Механический анализ взятого образца следующий (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Диаметр частиц (в мм)	Процент к сухой почве	Диаметр частиц (в мм)	Процент к сухой почве
> 5	2,0	0,25—0,05	21,17
5—3	3,2	0,05—0,01	14,94
3—1	4,0	0,01—0,005	12,43
1—0,25	9,08	0,005—0,001	5,55
		$< 0,001$	23,09

Потери при обработке 4,54

По данным механического состава почву относят к той или иной разновидности почв по механическому составу (табл. 6).

Для дополнительного деления почв по подклассам к названию почвы по механическому составу можно приписывать две преобладающие фракции.

Классификация почв по механическому составу
(краткая шкала Н. А. Качинского)

Содержание физической глины (частиц <0,01 мм) (в %)			Почвы по механическому составу
почвы подзолистого почвообразования	почвы степного почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильно солонцеватые почвы	
0—5	0—5	0—5	Песок рыхлый
5—10	5—10	5—10	Песок связный
10—20	10—20	10—15	Супесь
20—30	20—30	15—20	Суглинок легкий
30—40	30—45	20—30	Суглинок средний
40—50	45—60	30—40	Суглинок тяжелый
50—65	60—75	40—50	Глина легкая
65—80	75—85	50—65	Глина средняя
>80	>85	>65	Глина тяжелая

В сокращенной шкале Качинского учитываются три фракции: песчаная (3—0,05 мм), пылеватая (0,05—0,001 мм) и иловатая (<0,001 мм), а в подробной шкале четыре: песчаная (>0,05 мм), крупнопылеватая (0,05—0,01 мм), пылеватая (0,01—0,001 мм) и иловатая (<0,001 мм).

На последнем месте указывается фракция, на которую приходится наибольший процент содержания частиц.

Например, суглинок тяжелый, содержащий 38% иловатой фракции, 57% — пылевой и 5% — песчаной, следует назвать суглинком тяжелым иловато-пылевым.

Номенклатура почв по механическому составу с учетом содержания преобладающей фракции устанавливается по следующей схеме.

Глины тяжелые	Пылевато-иловатые (п. и.) Иловато-пылеватые (и. п.)
Глины средние и легкие	Пылевато-иловатые (п. и.) Иловато-пылеватые (и. п.) Крупнопылевато-иловатые (к. п. и.) Иловато-крупнопылеватые (и. к. п.)
Глина легкая	Иловато-песчаная (и. песч.)

Суглинки тяжелые и средние	Пылевато-иловатые (п. и.) Иловато-пылеватые (и. п.) Крупнопылевато-иловатые (к. п. и.) Иловато-крупнопылеватые (и. к. п.) Пылеватые (п.) Крупнопылеватые (к. п.) Песчано-пылеватые (песч. п.) Иловато-песчаные (и. песч.) Пылевато-песчаные (п. песч.)
Суглинки легкие	Крупнопылеватые (к. п.) Иловато-песчаные (и. песч.) Пылевато-песчаные (п. песч.) Песчаные (песч.)
Супеси	Крупнопылеватые (к. п.) Иловато-песчаные (и. песч.) Пылевато-песчаные (п. песч.) Песчаные (песч.)
Пески связные	Мелкозернистые (м. з.) Среднезернистые (с. з.) Мелкозернистые крупнопылеватые (м. з. к. п.) Мелкозернистые иловато-песчаные (м. з. и. песч.)
Пески рыхлые	Мелкозернистые (м. з.) Среднезернистые (с. з.) Крупнозернистые (к. з.)

Глина легкая, суглинки тяжелые и средние «пылеватые» второй преобладающей фракцией имеют крупную пыль (0,05—0,01 мм).

Легкая глина, суглинки тяжелые и средние «крупнопылеватые» второй преобладающей фракцией имеют пыль (0,01—0,001 мм).

Суглинки легкие и супеси крупнопылеватые второй преобладающей фракцией имеют песок ($>0,05$ мм). Суглинки легкие и супеси «песчаные» второй преобладающей фракцией имеют крупную пыль (0,05—0,01 мм). Пески мелкозернистые, среднезернистые и крупнозернистые преобладающей фракцией имеют песок соответствующей крупности, на втором месте пыль крупная. В песках крупнопылеватых

преобладает лёссовидная фракция (0,05—0,01 мм); второй фракцией будет песчаная (>0,05 мм).

Степень каменистости почвы устанавливается по особой шкале (табл. 7, по Качинскому).

Т а б л и ц а 7

Содержание частиц >3 мм (в %)	Степень каменистости	Гип каменистости
1—10 10—20 >20	Слабокаменистые Среднекаменистые Сильнокаменистые	Устанавливается по характеру скелетной части: валунные, галечниковые, щебенчатые

Точность метода и затрата времени. Основными источниками ошибок при осуществлении механического анализа почвы методом пипетки являются:

неодинаковая диспергируемость микроагрегатов при подготовке почвы к анализу;

засасывание в пипетку суспензии не из заданного слоя суспензии, а из некоторого объема, форма и величина которого определяются условиями засасывания;

погрешности при взвешивании и высушивании проб;

неоднородность самого механического состава почв, варьирующего даже на небольших вполне однородных площадях.

Так как фракция 0,25—0,05 мм определяется по разности, то все ошибки анализа приходятся на эту фракцию, и, таким образом, не выявляются.

По Н. К. Крупскому, можно допускать относительные ошибки при прямом определении фракции 0,25—0,05 мм для легких песчаных почв 2—3%, а для более тяжелых—5—8%.

При массовых механических анализах в средне оборудованной лаборатории затраты времени на один анализ составляют 5—5½ часов.

СИФОННЫЙ МЕТОД МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ

Сифонный метод (по С. И. Долгову и А. А. Житковой), так же как и пипеточный, основан на взятии проб почвенной суспензии с определенной глубины спустя определенное время после начала

оседания почвенных частиц. Отличие его от пипеточного заключается в том, что повышенная до 3% концентрация суспензии (против однопроцентной в методе пипетки) и увеличенный до 150 (и даже до 200—250 мл) объем забираемой пробы суспензии позволяют осу-

ществлять взвешивание на простых технических весах с точностью до сотых долей грамма. (При использовании для сифонного метода однопроцентной суспензии необходимо взвешивание проводить с точностью до 0,001 г.)

Установка для механического анализа почвы при помощи сифона (рис. 2) состоит из сосуда для оседания частиц суспензии (1), сифона для взятия проб суспензии с разных глубин (2) и мерного цилиндра для приема проб суспензии (3). В качестве сосуда может быть использована любая стеклянная банка объемом 1,2—1,5 л, но обязательно с цилиндрическими стенками (иначе на стенки ее будут оседать падающие частицы суспензии). Во избежание слишком сильного опускания уровня жидкости при взятии каждой пробы сосуд должен иметь такие размеры, чтобы высота налитой в сосуд суспензии перед началом анализа составляла 15—20 см. Сифон делают из широкой стеклянной трубки (внутренний диаметр 6—8 мм). Нижнее отверстие вбирающего колена запаивают и заменяют несколькими (6—8) боковыми отверстиями (4).

Сливающее колено соединяют резиновой трубкой (5) с отрезком стеклянной трубки—выпуском (6), нижний конец которого скошен, но не оттянут, чтобы не замедлять тока вытекающей суспензии. Для предотвращения взмучивания суспензии при опускании и подъеме сифона лапу, держащую сифон, прикрепляют к 5—6-сантиметровой цилиндрической втулке, которую и передвигают по стойке, закрепляя в нужных положениях зажимным винтом. Для взятия всех четырех проб употребляют мерный цилиндр объемом 150 мл.

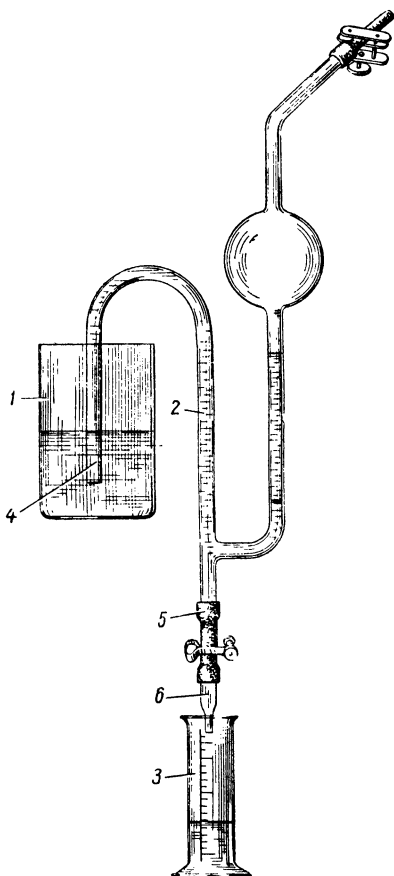


Рис. 2. Сифонная установка для гранулометрического анализа.

Для взятия всех четырех проб употребляют мерный цилиндр объемом 150 мл.

При каких-либо укороченных анализах, когда берут две или три пробы, объем мерного цилиндра может быть увеличен соответственно до 200 и 250 мл.

Прежде чем приступать к опыту, необходимо провести несколько предварительных замеров.

1. **Определение толщины слоя жидкости в сосуде, соответствующего объему используемого для анализа мерного цилиндра.** Наклеивают на стенку сосуда полоску миллиметровой бумаги, вливают в сосуд 1 л воды, ставят его на подставку в рабочее положение, отмечают положение уровня воды по миллиметровой бумаге и сливают сифоном (предварительно заполненным водой из другого сосуда) последовательно два объема мерного цилиндра. Понижение уровня воды в сосуде делят на два и получают толщину сливаемого слоя жидкости (l).

2. **Подсчет глубин взятия проб.** При механическом анализе обычно берут четыре пробы, первая из которых содержит все частицы мельче 0,05 мм. Эту первую пробу берут на самой большой глубине. При погружении сифона на эту глубину отверстия сифонной трубки должны отстоять от дна сосуда на 3—4 см, чтобы в сифон не могли попасть более крупные частицы, уже осевшие на дно сосуда. Глубина погружения всасывающего колена сифона должна быть на половину толщины сливаемого слоя суспензии больше, чем расчетная глубина взятия пробы. Расчетные глубины взятия проб и глубины погружения сифона, принятые в установке, приведены в таблице 8.

Т а б л и ц а 8

Глубина и время взятия проб (при температуре $t=18^\circ$ и $\rho=2,65$). Толщина сливаемого слоя жидкости (l) при объеме мерного цилиндра $v=150$ мл равна 22 мм. Длительность взятия пробы—18 сек.

Размер почвенных частиц (в мм)	Расчетная глубина взятия пробы h (в см)	Расчетное время взятия пробы (Т) от начала отстаивания	Глубина погружения ($h+0,5 l$) (в см)	Начало взятия пробы ($T-0,5 t$)
$\leq 0,05$	10,0	47,1 сек.	11,1	38,1 сек.
$\leq 0,01$	7,8	15 мин. 18 сек.	8,9	15 мин. 09 сек.
$\leq 0,005$	5,6	43 мин. 47 сек.	6,7	43 мин. 38 сек.
$\leq 0,001$	2,3	7 час. 31 мин.	3,4	7 час. 31 мин.

Глубина взятия четвертой пробы уменьшена до 2,3 см для того, чтобы завершить взятие всех четырех проб в один рабочий день. Все принятые глубины погружения сифона отмечают на его всасывающем колене при помощи тонких резиновых колец. На рисунке 2 изображено положение сифона перед взятием третьей пробы.

3. **Определение длительности взятия пробы (t).** Так как длительность взятия пробы (t) большее значение имеет при взятии первой, второй и третьей проб, то ее и определяют для этих условий. Погружают всасывающий конец сифона на глубину взятия этих проб и по секундомеру несколько раз для каждого случая замеряют

время заполнения водой мерного цилиндра до метки при резком и полном открытии пружинного зажима (7). Длительность взятия пробы (особенно первой) не должна превышать 20 сек. При взятии последней пробы поправку на длительность взятия ее можно не вводить.

4. **Время взятия проб суспензии (T)** рассчитывается по формуле Стокса.

Переход от времени падения (на глубину 10,0 см) частиц с диаметром 0,05 мм к времени падения на эту же глубину частиц другого диаметра осуществляется простым умножением величин (табл.9) на отношение квадратов диаметров этих частиц.

Т а б л и ц а 9

Время падения почвенных частиц (в сек.) диаметром 0,05 мм на глубину 10,0 см при различном удельном весе их и различной температуре суспензии

Температура (в °C)	Удельный вес (в г/см ³)				
	2,10	2,50	2,60	2,70	2,80
16	58,4	54,5	51,1	48,1	45,4
20	52,8	49,3	46,2	43,5	41,1
24	47,9	44,7	41,9	39,5	37,3
28	43,7	40,8	38,2	36,0	34,1

Если пробы берут на какой-либо другой глубине, то искомое время получают простым умножением найденной в таблице величины на глубину взятия пробы (выраженную в сантиметрах) и делением на десять. Таким образом получают расчетное время взятия пробы. Как уже указывалось, начинать брать пробу надо раньше, чем это следует по времени падения почвенных частиц (на соответствующую глубину), на половину продолжительности взятия пробы ($T - 0,5$ л).

Гранулометрический анализ почвы или грунта при помощи сифона производят следующим образом.

Около 30 г (взвешивание с точностью до 0,01 г) воздушносухой почвы подготавливают к анализу обычным способом (промывание 0,05 n соляной кислотой с последующей обработкой раствором NaOH и кипячением).

Одновременно берут две навески почвы по 15—20 г для определения гигроскопичности и подсчитывают количество сухой почвы, взятой для гранулометрического анализа (M).

Подготовленную к анализу пробу переносят в сосуд для анализа (I), и объем суспензии доводят до определенной величины (V) от 1,0 до 1,5 л.

Суспензию в сосуде тщательно взбалтывают, затем ставят сосуд на подставку и пускают секундомер.

За несколько секунд до взятия первой пробы плавно опускают сифон, предварительно заполненный водой на необходимую глубину, подставляют под сливающее колено мерный цилиндр и в нужное

время начинают брать пробы суспензии, полностью открыв пружинный зажим.

Сразу после взятия пробы осторожно вынимают сифон с зажатым пружинным зажимом из сосуда. Суспензию, находящуюся в сифоне, необходимо добавить к взятой пробе, так как ее объем в точности равен объему воды в сифоне при начале взятия пробы и слитой в мерную колбу. После взятия пробы сосуд с суспензией оставляют до взятия следующей пробы, но уже без взбалтывания.

Опустив всасывающее колено сифона в стакан с чистой водой, сливают суспензию из сифона в химический стакан (с носиком) объемом 250—300 мл. Выливают в этот же стакан после нескольких ополаскиваний суспензию из мерного цилиндра и добавляют при перемешивании такое количество крепкого раствора хлористого кальция, чтобы через несколько минут началось свертывание суспензии.

Определение почвенных частиц, захваченных в пробы суспензии, ведется на фильтрах с последующей сушкой. Для этой цели заготавливают потребное число круглых фильтров (диаметром 10—12 см), которые взвешивают в воздушносухом состоянии. Одновременно берут несколько фильтров или кусков той же фильтровальной бумаги также в воздушносухом состоянии и определяют содержание в ней влаги. По полученной влажности бумаги подсчитывают сухой вес тех фильтров, на которых будут собираться осадки почвенных частиц из проб суспензий (впрочем можно все используемые в анализе фильтры взвесить после 2—3-часовой сушки при 105—110°).

Свернувшиеся в сгустки суспензии переносят из стаканов на фильтры в воронки. Затем фильтры с осадком подсушивают на воздухе, и, наконец, в сушильном шкафу при 105—110° в течение 6—7 часов. Просушенные фильтры с осадками взвешивают (с точностью до 0,01 г) и вычитанием веса сухих фильтров находят веса сухих почвенных частиц в отдельных пробах суспензии.

Подсчет содержания в почве различных фракций производят по следующим формулам:

$$m_1 = \frac{M_1 - M_2}{M} \cdot \frac{V}{v} 100; \quad m_2 = \frac{M_2 - M_3}{M} \cdot \frac{V}{v} 100;$$

$$m_3 = \frac{M_3 - M_4}{M} \cdot \frac{V}{v} 100; \quad m_4 = \frac{M_4}{M} \cdot \frac{V}{v} 100,$$

где m_1 , m_2 , m_3 и m_4 — процентное содержание в анализируемой почве частиц данной фракции (0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001 и меньше 0,001 мм);

M_1 , M_2 , M_3 и M_4 — вес почвенных частиц в пробах суспензии (в г);

M — исходная навеска сухой почвы;

V_1 и v — объем всей суспензии и отдельных проб ее.

Сравнение сифонного метода с существующим в настоящее время пипеточным методом показало, что точность первого метода не только не уступает точности второго метода, но даже несколько превосходит его.

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СУГЛИНИСТЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОЧВ (ПО РУТКОВСКОМУ)

Этот метод дает ориентировочное представление о количественном содержании в почве фракций $<0,005$ мм; $0,005—0,05$ и $0,05—0,5$ мм.

Фракцию $<0,005$ мм определяют по величине набухаемости почвы, которая прямо пропорциональна количеству содержащихся в почве глинистых частиц.

Фракцию $0,05—0,5$ мм определяют непосредственным замером песчаных частиц после отмучивания почвы от более мелких фракций.

Количество фракции $0,005—0,05$ мм вычисляют по разности $100\% - (\% <0,005 \text{ мм} + \% 0,05—0,5 \text{ мм})$.

Определение фракции $< 0,005$ мм. Образец сухой почвы, растертой в ступке резиновым пестиком и просеянной через $0,5$ -миллиметровое сито, высыпает в мерный цилиндр емкостью 25 мл при постукивании цилиндром о книгу и т. п. Цилиндр наполняют ровно на $2,5$ мл. Стеклопалочкой почву в цилиндре разрыхляют и приливают в него $10—15$ мл воды. Той же палочкой тщательно перемешивают почву в воде до тех пор, пока не прекратится образование на стенках цилиндра глинистых мазков (при перемешивании почвы). После этого в цилиндр вносят 3 мл раствора хлористого кальция ($5,5$ г CaCl_2 в 100 мл воды), почву еще раз перемешивают, приливают в цилиндр воды до метки, соответствующей 25 мл, и перемешивают почву в третий раз. Через сутки замеряют объем отстоявшейся почвы и вычисляют приращение ее объема после суточного отстаивания на 1 мл взятой для анализа почвы (объем отстоявшейся почвы, деленный на $2,5$).

Умножая этот прирост объема на $22,67$, получают процент содержания фракции $< 0,005$ мм.

Определение фракции $0,05—0,5$ мм. Отмучивание проводят в мерном цилиндре на 100 мл. На этом цилиндре необходимо сделать черту (восковым карандашом) на 15 см (линейных) ниже метки, соответствующей 100 мл. В цилиндр насыпают почву до отметки 10 мл (растертую и просеянную через то же сито), наливают воды (до 100 мл) и перемешивают почву в воде. Через две минуты после окончания перемешивания мутную воду осторожно сливают до нанесенной черты. В цилиндр доливают воду, размешивают почву и снова через две минуты после перемешивания сливают мутную воду. Отмучивание производят до тех пор, пока вода после двухминутного отстаивания над чертой не станет почти прозрачной. Далее отмучивание продолжается при 90 -секундном отстаивании до полного осветления воды над чертой. Когда это будет достигнуто, цилиндр оставляют в покое и через $15—20$ мин. замеряют объем осевшего песка.

Каждый миллилитр этого песка соответствует 10% содержания в почве фракции $0,05—0,5$ мм.

Вышеописанный метод дает хорошие результаты для бескарбонатных незасоленных суглинистых и глинистых почв. Для почв карбонатных и засоленных коэффициент перевода приращения объема осадка колеблется в широких пределах, что снижает точность метода.

ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЫ

Сухой комочек почвы или несколько его структурных отдельностей кладут на ладонь левой руки и растирают пальцами правой руки.

Почва, рассыпающаяся на массу, сплошь состоящую из отдельных песчинок, различаемых невооруженным глазом, с ничтожным количеством пыли и глинистых частиц, является песчаной.

Супесчаные почвы также растираются на ладони без каких-либо усилий, причем преобладают песчаные частицы, пылеватых же и глинистых частиц мало. На крупных комках при проведении на них ножом черты легко образуется борозда с неровными краями.

У песчаных разностей черты провести не удастся, так как комок при этом рассыпается.

Если комок почвы под давлением пальца легко распадается на составляющие его частицы, но песок не ощущается или его очень мало, то механический состав в данном случае представлен пылеватыми (лёссовыми и лёссовидными) супесчаными или легкосуглинистыми разностями. Супесчаные разности этих пород при растирании на ладони производят шуршащий звук и легко сыпаются с руки. Более тяжелые разности производят впечатление тонкой муки и пачкают руку.

Агрегаты, требующие несколько большего усилия для раздавливания, характеризуют почвы легкосуглинистого механического состава, а для лёссовидных и лёссовых пород — среднесуглинистого состава. Структурные отдельности этих почв плохо выражены и непрочны. Линия, проведенная по комку ножом, более четкая, чем у супесей, края ее рваные, штрих матовый.

При необходимости применения более значительных усилий, в результате которых все же удастся полностью раздавить, растереть почву на мельчайшие частицы, последняя может быть отнесена к среднесуглинистым разностям, а при отсутствии песка — к тяжелосуглинистым лёссовидным или лёссовым породам. Линия от ножа матовая, края ровные. Структурные отдельности обычно хорошо выражены. Сухие агрегаты тяжелосуглинистых и особенно глинистых почв усилиям растирания пальцем не поддаются. Чем тяжелее почва по механическому составу, тем мельче

борозду делает на комке нож, а штрих от него становится более глянцеvidным. Структура глинистых почв четкая и прочная и при наличии гумуса очень водостойкая. Следует иметь в виду, что влажные агрегаты или комки почв менее прочны, чем сухие.

При другом способе определения механического состава хорошо растертый испытываемый образец почвы увлажняют водой до тестособразной консистенции, при которой он обладает максимальной пластичностью. При этом требуется некоторое время для смачивания поверхностей мельчайших частиц сухой почвы. Сырая почва предварительно не растирается, а сразу увлажняется, если увлажнение ее необходимо для придания почве пластичности. Из приготовленного таким образом «теста» между ладонями рук пробуют скатывать шарик величиной примерно с лесной орех и раскатывать его в колбаску (шнур):

песчаные почвы шарика не образуют, как бы ни был насыщен образец водой (он распадается на руке);

супесчаные почвы образуют шарик с шероховатой поверхностью; при попытке раскатать в шнур он легко распадается на комочки различной величины;

легкосуглинистые почвы раскатываются в шнур толщиной примерно 3 мм, однако при взятии его с руки он распадается на мелкие части;

среднесуглинистые почвы позволяют сделать тонкий шнур, но при сгибе его в кольцо диаметром 2—3 см он дает трещины и переломы;

тяжелосуглинистые почвы раскатываются в тонкий длинный шнур толщиной примерно 1,5—2 мм, легко сгибающийся в кольцо диаметром 2 см; при поперечном сдавливании кольца на его внешней стороне образуются трещины.

Глинистые и особенно тяжелосуглинистые почвы легко раскатываются в тонкий шнурок, обладающий хорошим сцеплением, который при переломе не дает на месте сгиба трещин. Из теста тяжелосуглинистых пород можно формировать любые фигуры без образования трещин на изгибах.

При определении механического состава карбонатных почв рекомендуется для изготовления теста вместо воды применять 10-процентную соляную кислоту (с целью разрушения водостойких микроагрегатов).

Сопоставляя полученные результаты определений механического состава методом растирания и раскатывания,

при некотором навыке можно весьма правильно относить испытываемый образец почвы к той или иной разности по механическому составу.

МИКРОАГРЕГАТНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ПИПЕТКИ

Почва не засоленная. Для проведения агрегатного анализа почвы берут среднюю пробу весом около 500 г; такая навеска гарантирует от многих погрешностей, неизбежных даже при самом тщательном отборе средней пробы. Эту пробу почвы доводят до воздушносухого состояния, причем глыбки диаметром больше 1 см разламывают пальцами на отдельные диаметры до 1 см.

Приведенную в воздушносухое состояние пробу почвы осторожно просеивают вручную через сита с отверстиями по 10—5—3 и 1 мм, сложенные в одну колонку. При просеивании среднюю пробу почвы переносят на верхнее сито частями примерно по 100 г с таким расчетом, чтобы почва покрывала дно сита тонким слоем. Такая толщина слоя почвы в некоторой степени предохраняет агрегаты от растрескивания при просеивании. После просеивания оставшиеся на ситах и в поддоне агрегаты переносят в заранее заготовленные и пронумерованные фарфоровые или алюминиевые чашки. Когда вся проба будет таким образом разделена на группы агрегатов соответственно диаметру отверстия сит, каждую группу взвешивают на технических весах и вычисляют процент ее к весу взятой пробы почвы.

Результаты такого анализа позволяют с достаточной точностью взять среднюю пробу почвы для определения процентного состава различных по крупности агрегатов. Для этого из отсеянных агрегатов составляют навеску, в которую входят весовые доли всех выделенных просеиванием фракций пропорционально процентному содержанию каждой фракции.

Навеску для агрегатного анализа составляют согласно приведенному ниже примеру.

Выделено агрегатов при просеивании сухой почвы (в %):

10—5	мм	25
5—3	»	20
3—1	»	10
<1	»	45

Навеску, например в 20 г, для определения прочных агрегатов составляют из расчета:

$$10-5 \text{ мм } \frac{20 \cdot 25}{100} = 5 \text{ г}$$

$$5-3 \text{ » } \frac{20 \cdot 20}{100} = 4 \text{ »}$$

$$3-1 \text{ » } \frac{20 \cdot 10}{100} = 2 \text{ »}$$

$$1 \text{ » } \frac{20 \cdot 45}{100} = 9 \text{ »}$$

Для анализа берут навеску 20—30 г в зависимости от количества в почве агрегатов < 1 мм; чем больше пылеватых частиц, тем меньше берут навеску, так как при определении микроагрегатов концентрация взвеси (почва + вода) не должна превышать 1—2%. Эту навеску помещают в литровый цилиндр и размачивают в дистиллированной воде.

Одновременно берут пробу почвы для определения влажности ее и последующего пересчета результатов анализа на сухую почву.

Воду в цилиндр приливают с таким расчетом, чтобы взятая для анализа навеска почвы находилась в состоянии полной влагоемкости. Наливать воду по стенке цилиндра следует так, чтобы вода постепенно смачивала нижние слои почвы, вытесняя воздух, содержащийся в порах почвы.

Размачивание должно продолжаться 10 минут. После этого цилиндр доливают дистиллированной водой точно до литра и оставляют на сутки.

Затем цилиндр вручную переворачивают раз 10 для равномерного распределения почвенных частиц по всему столбу воды, после чего цилиндр устанавливают строго вертикально для взятия проб пипеткой, как это принято для механического анализа. Пипеткой берут пробы для определения микроагрегатов диаметром: $\leq 0,05$ мм, $\leq 0,01$ мм, $\leq 0,005$ мм, $\leq 0,001$ мм, согласно таблице 10, составленной по формуле

$$v = \frac{0,13 r^2 (\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}})}{\eta} g \text{ см/сек,}$$

где буквенные обозначения те же, что и в формуле Стокса.

Время и глубина взятия проб при удельном весе почвы 2,70¹

Диаметр агрегатов (в мм)	Глубина погружения пипетки (в см)	Температура (в °)		
		25	20	15
		Время взятия проб		
0,05	20	2 мин. 14 сек.	2 мин. 30 сек.	2 мин. 52 сек.
0,01	10	27 мин. 54 сек.	31 мин. 24 сек.	35 мин. 49 сек.
0,005	10	1 час. 41 мин.	2 час. 5 мин.	2 часа 23 мин.
0,001	10	46 час. 30 мин.	52 час. 19 мин.	59 час. 42 мин.

Для взятия проб пользуются пипеткой в 25 мл.

Взятие проб технически осуществляется так: опустив осторожно пипетку на указанную глубину, через соответствующее время аспиратором набирают в пипетку пробу суспензии. Как и при механическом анализе, первую пробу из данной точки следует брать на 10—15 сек. раньше, чем указано в таблице, исходя из времени, потребного для всасывания аспиратором жидкости в пипетку. Пробу берут осторожно, чтобы избежать всякого сотрясения, взмучивания взвеси, переносят из пипетки во взвешенный стеклянный бюкс, выпаривают и сушат при 105° до постоянного веса. Таким же образом, но точно в сроки, приведенные в таблице 10, берут пробы для определения остальных фракций (взбалтывание почвенной взвеси производят перед взятием первой и второй пробы).

Перед взятием третьей и четвертой пробы засчитывают время стояния после взбалтывания ранее взятой пробы.

Для выделения агрегатов крупнее 0,25 мм цилиндр доливают доверху, закрывают стеклянной пластинкой, перевертывают и размещают над ситами. Сита применяют проволочные, с диаметром отверстий 5—3—1 и 0,25 мм, вложенные одно в другое, начиная с крупного. Их погружают в воду, налитую в высокий кристаллизатор. Перевернув цилиндр в верхнее сито, погруженное в воду, отнимают под водой пластинку. Из цилиндра начинают выпадать все агрегаты крупнее 0,05 мм. Чтобы удалить агрегаты, приставшие к стенкам цилиндра, необходимо, не вынимая цилиндра из воды, легким покачиванием смыть их в сито.

¹ Для других значений удельного веса по вышеприведенной формуле рассчитывают соответствующую таблицу.

Выпадающие агрегаты следует распределять тонким слоем по всей площади сита. Через одну минуту агрегаты крупнее 0,25 мм выпадут из цилиндра; тогда горлышко цилиндра снова закрывают пластинкой и цилиндр вынимают. Оставшиеся на ситах агрегаты смывают водой в стаканчики, высушивают и взвешивают.

Почва засоленная. В этом случае проводят два варианта анализов:

- 1) агрегатный анализ без отмывки растворимых солей;
- 2) агрегатный анализ с предварительной отмывкой образца от растворимых солей (реакция на Cl').

По первому варианту анализ проводят как указано для почвы незасоленной.

По второму варианту берут две средние пробы. Обе пробы, без предварительного размачивания, одновременно на воронках (плотный фильтр) отмывают от растворимых солей (реакция на Cl'). После этого одну пробу переносят в цилиндр для проведения анализа как обычно, а другую высушивают и взвешивают. Последняя служит для определения потери растворимых солей после отмывки. Взятие проб пипеткой и определение агрегатов крупнее 0,05 мм производят как указано для почвы незасоленной.

Расчет результатов микроагрегатного анализа почвы. Пусть из образца воздушносухой почвы взята средняя проба, вес которой, пересчитанный на сухую почву, равен 300 г. После просеивания образца через серию сит выделены фракции различных по крупности агрегатов и составлена пропорционально весу выделенных агрегатов навеска для анализа, равная 20 г сухой почвы (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

Диаметр фракций (в мм)	Вес агрегатов (в г)	Процент к весу сухой почвы	Вес фракции (в г) в составленной для анализов навеске в 20 г
>5	93,20	31,06	$\frac{20 \cdot 31,06}{100} = 6,21$
5—3	59,81	19,94	$\frac{20 \cdot 19,94}{100} = 3,99$
3—1	57,62	19,21	$\frac{20 \cdot 19,21}{100} = 3,84$
<1	89,37	29,79	$\frac{20 \cdot 29,79}{100} = 5,96$

Пипеткой объемом 25 мл взяты пробы из литрового цилиндра и выделены микроагрегаты (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

Диаметр фракций (в мм)	Вес взятой пробы, отнесенный к литру (в г)	Процент к весу сухой почвы	Диаметр фракций (в мм)	Процент к весу сухой почвы
$\leq 0,05$	1,4705	7,35	0,05—0,01	2,70
$\leq 0,01$	0,9310	4,65	0,01—0,005	1,92
$\leq 0,005$	0,5460	2,73	0,005—0,001	1,18
$\leq 0,001$	0,3100	1,55	$< 0,001$	1,55

После взятия пипеткой проб на ситах были выделены следующие фракции агрегатов (табл. 13).

Т а б л и ц а 13

Диаметр (в мм)	Вес агрегата (в г)	Процент к весу сухой почвы
> 5	0	—
5—3	0,228	1,14
3—1	2,58	12,90
1,0—0,25	12,81	64,05

Фракцию 0,25—0,05 высчитывают по разности: $100 - (1,14 + 12,90 + 64,05) = 21,91$ (это дает процент содержания фракции $< 0,25$); $21,91 - 7,35 = 14,56$.

Т а б л и ц а 14

Результаты агрегатного анализа почвы

Диаметр (в мм)	Процент к весу сухой почвы	Диаметр (в мм)	Процент к весу сухой почвы
> 5	0	0,25—0,05	14,56
5—3	1,14	0,05—0,01	2,70
3—1	12,90	0,01—0,005	1,92
1,0—0,25	64,05	0,005—0,001	1,18
		$< 0,001$	1,55

Если при проведении агрегатного анализа почву отмы-
вают от растворимых солей, то процент растворимых солей

вычитают из 100 вместе с процентом содержания агрегатов крупнее 0,25 мм. Например, агрегатов крупнее 0,25 мм найдено $A\%$, растворимых солей $B\%$, тогда процент агрегатов $< 0,25$ мм будет равен $100 - (A + B)$. Дальнейший расчет производят аналогично вышеуказанному.

Исходя из соотношений процентного содержания частиц $< 0,001$ мм, полученных при механическом и микроагре-

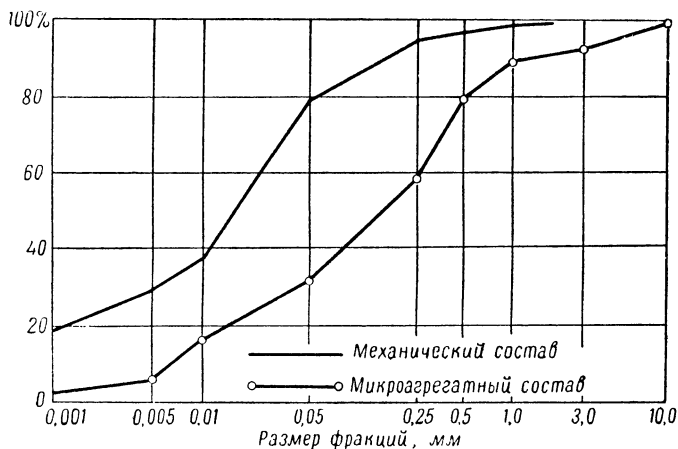


Рис. 3. Кривые механического и микроагрегатного состава лёссовидного суглинка.

гатном анализе, можно судить о прочности микроагрегатов, о дисперсности почвы, а следовательно, и о структуре почвы.

Проф. Н. А. Качинский предложил вычислять фактор дисперсности почвы ($K\partial$), или степени распыленности ее в воде, на основе процентного отношения частиц $< 0,001$ мм, полученных при микроагрегатном анализе, к частицам $< 0,001$ мм, полученным при механическом анализе:

$$K\partial = \frac{100 m}{n},$$

где $K\partial$ —фактор дисперсности;

m —процент частиц $< 0,001$ мм, полученных при микроагрегатном анализе;

n —процент частиц $< 0,001$ мм, полученных при механическом анализе.

Чем выше фактор дисперсности, тем менее прочны микроагрегаты почвы.

Академик А. Н. Соколовский дает определение структурного коэффициента почвы, выражающее соотношение между процентным содержанием количества высокодисперсной части почвы, получаемой при устранении как коагулятора иона кальция, так и той части гумуса, которая перешла в необратимое состояние (n), и дисперсностью почвы (m), получаемой при условиях, сходных с естественными.

$$K = \frac{(n-m) 100}{n},$$

где K —коэффициент дисперсности;

n —процент частиц $< 0,001$ мм, полученных при механическом анализе;

m —процент частиц $< 0,001$ мм, полученных при микроагрегатном анализе.

Более подробно дисперсность почвы характеризуется графиком, на котором наносят результаты механического и микроагрегатного состава почвы (табл. 15). Для построения такого графика на оси абсцисс откладывают в масштабе логарифмы размеров частиц, выраженные в микронах, а по оси ординат — процентное содержание фракций меньше значений, указанных на оси абсцисс (рис. 3).

Т а б л и ц а 15

Состав почвы	Процент содержания фракций (в мм)									
	>10	$10-3$	$3-1$	$1-0,5$	$0,5-0,25$	$0,25-0,05$	$0,05-0,01$	$0,01-0,005$	$0,005-0,001$	$< 0,001$
Механический	—	—	0,50	2,03	2,47	16,23	41,19	8,58	10,44	18,58
Микроагрегатный . .	—	7,55	4,31	9,46	20,00	27,26	16,14	9,32	4,78	1,18

Перед построением графика заполняют вспомогательную таблицу 16.

Таблица 16

Размер частиц (в микро- нах)	Логарифмы	Величина от- резка на оси абсцисс (в масштабе 1 : 4)	Размер частиц (в мм)	Процент содержания частиц	
				механический состав	микроагрегат- ный состав
1	0	—	<0,001	18,56	1,18
5	0,68	2,72	<0,005	29,00	5,96
10	1,00	4,00	<0,01	37,58	15,28
50	1,70	6,80	<0,05	78,77	31,42
250	2,39	9,56	<0,25	95,00	58,68
500	2,70	10,80	<0,5	97,47	78,68
1000	3,00	12,00	<1,0	99,50	88,14
3000	3,47	13,88	<3,0	100,00	92,45
10 000	4,00	16,00	<10,0	—	100,00

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ ПО МЕТОДУ Н. И. САВВИНОВА

Структурностью почвы называют свойство почвы распадаться на различные по величине и форме отдельности, состоящие из механических элементов, скрепленных между собой гумусовыми веществами и иловатыми частицами.

Структурность почвы является одним из важных моментов, определяющих плодородие почвы. Мелкокомковатая (зернистая, крупичатая) структура¹ обуславливает наиболее благоприятный водный и воздушный режим почвы.

В зависимости от факторов, создающих структурные отдельности (комки), отношение их к воде различно: одни из комков совершенно неводопрочны — при действии воды распадаются; другие, наоборот, длительное время остаются в воде устойчивыми. Неустойчивы, в частности, структурные отдельности, возникшие из механических элементов, склеенных с коагулировавшими электролитами. Такие комки разрушаются, как только электролит окажется выщелоченным или концентрация его станет ниже электролитического порога коагуляции. Также неустойчивы комки, которые образовались при склеивании между собой глинистых частиц без участия гумусовых веществ.

¹ Под структурой почвы понимают форму, размеры и взаимное расположение структурных отдельностей. Часто это понятие переносят и на сами отдельности. Наибольшую ценность в агрономическом отношении имеют структурные водопрочные отдельности размером от 0,25 до 10 мм.

С другой стороны, структурные отдельности, возникшие из механических элементов в результате склеивания их свежесажденными гумусовыми веществами при участии поглощенных двухвалентных катионов, особенно Ca^{++} , весьма устойчивы в воде, т. е. водопрочны.

Вода, подаваемая на орошаемое поле, может коренным образом изменить структурный состав почвы как с количественной стороны, так и с качественной, в зависимости от водопрочности структурных отдельныхностей.

Задачей структурного анализа почвы является выделение из нее в воздушносухом состоянии структурных элементов (комков) диаметром $> 0,25$ мм с количественным подразделением последних по величине их диаметра на фракции в пределах от 10 до 0,25 мм.

Из общего количества выделенных структурных элементов определяют количество водопрочных комков, т. е. таких, которые не разрушаются при действии на них воды.

Ход анализа. Для составления средней навески следует брать возможно бóльшую пробу естественной почвы (до 2,5 кг). Такая проба гарантирует от многих погрешностей, неизбежных при составлении средней навески из образцов почвы меньшего веса. Взятую пробу почвы доводят до воздушносухого состояния, причем глыбы с диаметром крупнее 2 см разламывают пальцами по спайности на отдельности величиной до 1 см.

Приведенную в воздушносухое состояние пробу почвы осторожно просеивают вручную через сита с отверстиями 10—5—3—2—1—0,5 и 0,25 мм, сложенные в одну колонку, имеющую внизу поддон. При просеивании среднюю пробу почвы не всю сразу переносят на верхнее сито, а частями примерно по 100—200 г, с таким расчетом, чтобы почва покрывала дно верхнего сита тонким слоем. Такая толщина слоя почвы предохраняет комки от растирания при просеивании.

После просеивания оставшиеся на ситах комочки и структурные отдельности $< 0,25$ мм (из поддона) переносят в заранее заготовленные и пронумерованные фарфоровые или алюминиевые чашечки.

Когда вся проба будет таким образом распределена на фракции, соответственно диаметру отверстий сит, каждую фракцию взвешивают на технических весах и вычисляют процент ее ко взятой пробе почвы.

Для определения прочных структурных отдельностей из отсеянных комков составляют навеску почвы, в которую входят весовые доли всех выделенных просеиванием фракций, кроме фракции $<0,25$ мм, пропорционально процентному содержанию каждой фракции. Навеска должна иметь такой вес, после прибавления к которому весовой доли фракции $<0,25$ мм получилось бы 50 г.

П р и м е р. При просеивании сухой почвы процентное содержание фракций выразилось:

	мм	%		мм	%
> 10	мм	5	2—1	мм	5
10—5	»	20	1—0,5	»	8
5—3	»	15	0,5—0,25	»	12
3—2	»	10	< 0,25	»	25
В с е г о . . 100%					

Навеску для определения прочных комков составляют из расчета:

> 10	мм	$\frac{5 \cdot 50}{100} = 2,5$ г
10—5	»	10,0 »
5—3	»	7,5 »
3—2	»	5,0 »
2—1	»	2,5 »
1—0,5	»	4,0 »
0,5—0,25	»	6,0 »
И т о г о		37,5 г

(После прибавления к 37,5 г весовой доли фракции $< 0,25$ мм, составляющей 12,5 г, получаем 50 г.)

Составленную таким образом среднюю пробу помещают в литровый цилиндр и размачивают в воде. Воду в цилиндр приливают в таком количестве, чтобы взятая проба почвы находилась в состоянии полной влагоемкости. Воду приливать следует по стенке цилиндра. Это необходимо для постепенного смачивания нижних слоев почвы с целью вытеснения из почвы воздуха. Размачивание должно продолжаться 10 мин.

После размачивания цилиндр доверху наливают водой, закрывают пробкой, переворачивают вверх дном и держат в таком положении несколько секунд, пока все комки не

будут внизу; затем цилиндр переворачивают обратно и опять ждут, пока комки не достигнут дна. Так повторяют 10 раз. После этого цилиндр в закрытом виде быстро опрокидывают над набором сит, находящихся в воде в широкой цилиндрической ванне, и погружают горлышком в воду, уровень которой должен быть на 5—6 см выше борта верхнего сита. Быстро вынимают пробку, и масса комков, проходя весь слой воды в цилиндре, падает на верхнее сито набора. Плавным движением цилиндра (все время следя, чтобы в него не попал воздух) почву распределяют на поверхности сита и, когда все отдельности крупнее 0,25 мм упадут на сито — через одну минуту, цилиндр закрывают в воде стеклом и отставляют.

Для определения прочных комков следует применять набор из пяти сит диаметром 20 см с высотой бортов 3 см, с отверстиями 0,25—0,5—1—2 и 3 мм.

После перенесения массы комков почвы на сито приступают к просеиванию ее. Просеивают почву простым встряхиванием набора сит, не вынимая его из воды. Поднимают набор сит за ручки на 5—6 см в воде, не обнажая комков, оставшихся на верхнем сите, и быстрым движением опускают вниз на 3—4 см. В этом положении ждут 2—3 сек., затем опять медленно поднимают на 3—4 см и быстро опускают на ту же глубину. После 10 встряхиваний сита вынимают из ванны. Оставшиеся на ситах комки смывают в заранее взвешенные чашки, воду сливают, комки высушивают до воздушносухого состояния и взвешивают.

Увеличенные в 2 раза значения весов фракций численно равны процентному содержанию соответствующих водопрочных комков.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ МЕТОДОМ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ

Определение скорости впитывания воды в почву позволяет выявлять большие различия в структуре и строении пахотного слоя на различных полях севооборотов, чего нельзя достигнуть, используя метод агрегатного анализа. Проведенные В. А. Францессоном и М. И. Блиновым на Сумской сельскохозяйственной опытной станции опыты подтвердили, что пахотные горизонты различных полей обладают совершенно разным строением и структурой.

Скорость впитывания воды определялась следующим образом. Цилиндр диаметром 50,2 см (площадь 0,2 м²) из плотного листового железа заглубляли в почву на 20 см. Образующуюся между почвой и внутренней стенкой цилиндра щель затрамбовывали металлической линейкой.

Затем цилиндр заливали водой слоем в 5 см. Вода поддерживалась все время на этом уровне при помощи специального приспособления (поплавка). Замер израсходованной на впитывание воды проводился в баке, снабженном водомерной трубкой с миллиметровой линейкой. В целях повышения точности отсчетов диаметр бака был в 2 раза меньше диаметра цилиндра. Исследование скорости впитывания воды проводилось в течение одного часа в двух, а в случае значительного расхождения в результатах параллельных определений — в трех повторностях.

Полученные результаты (табл. 17) показали, что поля с более высокой скоростью впитывания характеризуются и более высоким объемом пор, заполненных воздухом при влажности почвы, равной ее полевой влагоемкости. Разница между наименьшими и наибольшими показателями объема пор, заполненных воздухом, меньше, чем разница в скорости впитывания воды на тех же полях.

Это может обуславливаться двумя причинами. Во-первых, увеличение объема пор, заполненных воздухом, может происходить не только за счет увеличения числа пор, но и за счет их укрупнения, а протекание воды в порах более крупных размеров возрастает значительно быстрее увеличения диаметра этих пор. Во-вторых, не все поры, заполненные воздухом, сообщаются друг с другом. Часть из них представляет собой замкнутые полости, или «слепые» отростки от сплошных соединяющихся друг с другом «воздушных» пор. Эта часть пор хотя и может в той или иной мере заполняться водой при смачивании почвы, но она не может служить активной водопроводящей сетью, определяющей скорость впитывания воды в почву.

Чем меньше влажность почвы, тем больше скорость впитывания воды, так как с понижением влажности все большее количество пор бывает заполнено воздухом и способно активно впитывать воду.

Определение скорости впитывания может наиболее полно характеризовать строение пахотного слоя в том случае, если оно производится в почве, уже увлажненной до полевой влагоемкости. При этой влажности скорость впитывания воды определяется только наличием в ней крупных капиллярных и некапиллярных пор, неспособных удерживать воду даже при высокой влажности почвы. Существование таких пор определяется в основном структурой данной почвы. Более мелкие водоудерживающие поры при данной влажности почвы будут целиком заполнены водой и не будут оказывать влияния на скорость впитывания воды или влияние их будет незначительно.

Однако в полевых условиях приходится определять скорость впитывания при различной влажности почвы. Поэтому для получения сравнимых данных необходимо вносить поправку на влажность почвы. Для этой цели из количества воды, впитавшейся в почву в течение одного часа, вычитают количество воды, необходимое для увлажнения пахотного слоя при данной влажности почвы до полевой влагоемкости.

Для того чтобы избежать влияния влажности пахотного слоя на скорость впитывания воды, можно сопоставлять значения скорости впитывания в конце часового периода наблюдений (например, в последние 5 минут), так как в большинстве случаев к этому времени пахотный слой уже насквозь промачивается и исходная влажность уже не оказывает влияния на скорость впитывания.

Таблица 17

Результаты исследования структуры пахотного слоя различных полей севооборота
(данные В. А. Францессона и М. И. Блинова)

Культура, ко- рой было занято поле	Скорость впитыва- ния воды				Объемный вес (в г/см ³ ; в слое (в см)			Влажность почвы в момент исследо- вания (процент к объему) в слое (в см)			Общая по- розность (в %) в слое (в см)			Полевая вла- гоемкость (процент к объему) в слое (в см)			Объем пор, за- полненных воз- духом при увлажнении почвы до после- дой влагоемко- сти (в %) (в см)		
	в наблюдений (см/час)	в первый час наблюдения с поправкой на влажность (см/час)	в конце часо- вого периода наблюдения (мм/мин)		0-5 10-15 25-30			0-5 10-15 25-30			0-5 10-15			0-5 10-15			0-5 10-15		
Ячмень с подсе- вом трав . .	1,5	0,4	0,05	1,29	1,38	1,20	23,7	27,7	23,8	50,5	47,1	36,1	38,6	14,4	8,5				
Травы 1-го го- да пользова- ния	5,8	4,9	0,90	1,27	1,30	1,22	30,4	33,0	31,5	51,3	50,0	35,6	36,4	15,7	13,6				
Травы 2-го го- да пользова- ния	5,9	4,9	0,90	1,27	1,20	1,17	30,1	28,7	30,2	51,3	54,0	35,6	33,6	15,7	20,4				
Яровая пше- ца по пласту	25,3	23,2	3,03	1,07	0,98	1,19	17,1	19,1	27,3	59,0	62,4	30,0	27,4	29,0	35,0				
Сахарная свек- ла по обороту																			
пласта после																			
яровой пше- ницы	10,1	8,0	1,00	1,04	1,07	1,09	18,7	19,0	18,4	60,0	59,0	29,1	30,0	30,9	29,0				
Черный пар .	6,0	5,0	0,25	1,02	1,36	1,23	22,2	34,3	33,0	60,9	47,9	28,6	38,1	32,3	9,8				

Применение даже самых простых методов определения скорости впитывания воды в почву позволяет получать весьма ценные представления о структуре почвы в полевых условиях. Еще более точные суждения о структуре пахотного слоя дают определения скорости фильтрации воды через пахотный слой, но эти определения менее доступны для массовых исследований, так как требуют применения специальных приспособлений.

Определение скорости впитывания воды в почву позволяет судить о строении и структуре не только пахотного слоя в целом, но и отдельных его горизонтов. Это легко достигается, если при определении скорости впитывания воды цилиндры заглублять в почву не на полную глубину пахотного слоя или ставить их на нижнюю часть пахотного слоя, снимая при этом верхний слой. Таким образом легко может быть обнаружено наличие так называемой плужной подошвы.

Классификация почв по степени их структурности на основе определений скорости впитывания в них воды требует еще специальной разработки. Ориентировочно, в качестве первого приближения, суглинистые и глинистые почвы, у которых скорость впитывания менее 5 см в час (с поправкой на влажность пахотного слоя), можно считать слабоструктурными, почвы, у которых скорость впитывания 10—15 см в час, — хорошо структурными, почвы с еще более высокой скоростью впитывания — очень хорошо структурными. При этом важно знать, какова устойчивость этих показателей в течение вегетационного периода, что может служить критерием прочности строения пахотного слоя.

РАСЧЕТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Гранулометрическими показателями называются такие числовые величины, вычисленные из данных механического и агрегатного состава почвы, которые подставляются в расчетные формулы для определения коэффициента фильтрации K .

В качестве гранулометрических показателей принимаются:

1) эффективный, или действующий, диаметр ($d_w, d_{эф}$ или d_{10});

2) коэффициент однородности $l = \frac{d_{60}}{d_{10}}$;

3) суммарная поверхность θ ;

4) удельная поверхность S .

Все расчеты для механического и агрегатного анализа данной почвы проводятся параллельно.

Данные анализов берут те, которые получены в предыдущем упражнении, но из фракции $d < 0,005$ мм предварительно выделяют фракции $< 0,001$ мм. Для расчетов могут быть использованы и другие аналитические данные, но

обязательно параллельные для каждой почвы по полному механическому и агрегатному составу.

Расчет d_{10} , l и K по Газену проводят для механического и агрегатного состава по кумуляционным кривым. Кривые строят по логарифмической сетке (готовый бланк): по ординате откладывают последовательно от нуля процент фракций, а по абсциссе — размерности фракций.

По полученным данным, по формуле Газена вычисляют коэффициент фильтрации:

$$K_t = B (0,7 + 0,03 t) \cdot d_{10}^2 \text{ см/сек,}$$

где K_t — коэффициент фильтрации;

t — температура;

d_{10} — эффективный диаметр;

B — коэффициент в пределах 116 — 150.

Зная, что расчет по Газену допустим только в интервале гранулометрического состава 0,1 — 3,0 мм и при l не более 5, можно дать заключение о пригодности полученных расчетов по Газену для данной почвы и путем сравнения с последующими расчетами характеризовать степень достоверности полученных результатов.

Расчет d_w и K по Козени. Расчет d_w ведется по формуле:

$$d_w = \frac{100}{n \sum_2 \left[\frac{g_k}{2} \left(\frac{1}{d_{k+1}} + \frac{1}{d_k} \right) \right] + \frac{3}{2} \frac{g_1}{d_1}},$$

где g_k — весовой процент каждой фракции,

d_{k+1} и d_k — наибольший и наименьший диаметр частиц фракции порядка k ;

g_1 — весовой процент фракции наименьшего диаметра;

d_1 — диаметр наименьшей фракции в данном анализе (по Козени, равный 0,0025 мм).

Расчет коэффициента фильтрации ведется по формуле $K_{10} = 624 \frac{P^3}{(1-P)^2} d_w^2$ см/сек, где P — порозность (дается руководителем), d_w берется в сантиметрах.

Учащийся сравнивает и оценивает результаты расчета по Газену.

Расчет суммарной поверхности ведут по формуле Крюгера:

$$\theta = 6(1-P) \sum_1^n \frac{2g_k}{d_{k+1} + d_k} \text{ см}^2.$$

Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле:

$$K = 1350 \frac{P}{\theta^2} \text{ см/сек}$$

Полученные результаты сравнивают.

Расчет удельной поверхности. Под удельной поверхностью понимается поверхность частиц почвы, отнесенных к единице объема пробы, содержащей эти частицы. Расчет ведут по формуле Беличенко:

$$S = \sum_1^n \frac{6g_k}{\sqrt{d_{k+1} \cdot d_k}},$$

где S — удельная поверхность.

Примеры расчетов гранулометрических показателей по механическому и агрегатному анализам

Таблица 18

Механический и агрегатный анализы почвы

Анализ	Диаметр частиц (в мм)						
	3—1	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
	Процент содержания фракций на сухую почву						
Механический .	0	2,51	25,5	59,11	4,55	5,14	3,19
Агрегатный . .	5,0	12,04	50,5	30,10	1,38	0,90	0,08

Расчет по Газену. Для механического и агрегатного анализа эффективный диаметр d_{10} и d_{60} определяют по кумуляционной кривой.

а. Для механического анализа $d_{10} = 0,0071$ мм, $d_{60} = 0,040$ мм. Коэффициент однородности

$$l = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,040}{0,0071} = 5,63.$$

б. Для агрегатного анализа $d_{10}=0,0215$ мм, $d_{60}=0,135$ мм, коэффициент однородности

$$l = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,135}{0,0215} = 6,28.$$

Расчет d_w по Козени.

а. Расчет d_w для механического анализа:

$$d_w = 100 : \left[\frac{2,51}{2} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{0,25} \right) + \frac{25,5}{2} \left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{0,05} \right) + \right. \\ \left. + \frac{59,11}{2} \left(\frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,01} \right) + \frac{4,55}{2} \left(\frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,005} \right) + \frac{5,14}{2} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{1}{0,005} + \frac{1}{0,001} \right) + \frac{3}{2} \cdot \frac{3,19}{0,001} \right] = 0,00804.$$

б. Расчет d_w для агрегатного анализа:

$$d_w = 100 : \left[\frac{5,0}{2} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{1} \right) + \frac{12,04}{2} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{0,25} \right) + \frac{50,50}{2} \left(\frac{1}{0,25} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{0,05} \right) + \frac{30,10}{2} \left(\frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,01} \right) + \frac{1,38}{2} \left(\frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,005} \right) + \right. \\ \left. + \frac{0,9}{2} \left(\frac{1}{0,005} + \frac{1}{0,001} \right) + \frac{3}{2} \cdot \frac{0,08}{0,001} \right] = 0,0302.$$

Расчет по Д. М. Беличенко.

а. Расчет для механического анализа:

$$S = \frac{6 \cdot 0,0251}{\sqrt{0,1 \cdot 0,025}} + \frac{6 \cdot 0,255}{\sqrt{0,025 \cdot 0,005}} + \frac{6 \cdot 0,5911}{\sqrt{0,005 \cdot 0,001}} + \frac{6 \cdot 0,0455}{\sqrt{0,001 \cdot 0,0005}} + \\ + \frac{6 \cdot 0,0514}{\sqrt{0,0005 \cdot 0,0001}} + \frac{6 \cdot 0,0319}{\sqrt{0,0001 \cdot 0,000025}} = 7814,01 \text{ см}^2.$$

При порозности $0,45$ $(1 - P) = 0,55$

$$S = 7814,01 \cdot 0,55 = 4297,7 \text{ см}^2.$$

б. Расчет для агрегатного анализа:

$$S = \frac{6 \cdot 0,05}{\sqrt{0,3 \cdot 0,1}} + \frac{6 \cdot 0,1204}{\sqrt{0,1 \cdot 0,025}} + \frac{6 \cdot 0,505}{\sqrt{0,025 \cdot 0,005}} + \frac{6 \cdot 0,301}{\sqrt{0,005 \cdot 0,001}} + \\ + \frac{6 \cdot 0,0138}{\sqrt{0,001 \cdot 0,0005}} + \frac{6 \cdot 0,009}{\sqrt{0,0005 \cdot 0,0001}} + \frac{6 \cdot 0,0008}{\sqrt{0,0001 \cdot 0,000025}} = \\ = 1547,15 \text{ см}^2.$$

При порозности $0,6$ $(1 - P) = 0,40$

$$S = 1547,15 \cdot 0,40 = 618,86 \text{ см}^2.$$

Расчет θ по Крюгеру см. таблицу 19.

Расчет θ по Крюгеру

Фракции (в см)	Средний диаметр фракции (в см)	Весовое участие фракции (в %)	Суммарный объем частиц фракции (в см ³)	Объем одной частицы (в см ³)	Число частиц	Поверхность одной частицы (в см ²)	Поверхность частиц фракции (в см ²)
0,1—0,025	0,0625	2,51	0,0138	1,28·10 ⁻⁴	1,08·10 ²	1,23·10 ⁻²	1,33
0,025—0,005	0,0150	25,50	0,140	1,77·10 ⁻⁶	7,91·10 ⁴	7,07·10 ⁻⁴	56,0
0,005—0,001	0,0030	59,11	0,325	1,41·10 ⁻⁸	2,30·10 ⁷	2,83·10 ⁻⁵	651,0
0,001—0,0005	0,00075	4,55	0,025	2,21·10 ⁻¹⁰	1,13·10 ⁸	1,77·10 ⁻⁶	200,0
0,0005—0,0001	0,0003	5,14	0,0282	1,41·10 ⁻¹¹	2,00·10 ⁹	2,83·10 ⁻⁷	566,0
0,0001—0	0,00005	3,19	0,0175	6,64·10 ⁻¹⁴	2,65·10 ¹¹	7,85·10 ⁻⁹	2080,0

а) Расчет для механического анализа при порозности 0,45

$$\theta = 3554,33$$

б) Расчет для агрегатного анализа при порозности 0,60

0,3—0,1	0,2	5,00	0,020	4,186·10 ⁻³	4,754	0,1256	0,597
0,1—0,025	0,0625	12,04	0,04816	1,28·10 ⁻⁴	3,8·10 ²	1,23·10 ⁻²	4,710
0,025—0,005	0,0150	50,50	0,202	1,77·10 ⁻⁶	1,141·10 ⁵	7,07·10 ⁻⁴	80,669
0,005—0,001	0,0030	30,10	0,1204	1,41·10 ⁻⁸	8,538·10 ⁶	2,83·10 ⁻⁵	241,625
0,001—0,0005	0,00075	1,38	0,00552	2,21·10 ⁻¹⁰	2,5·10 ⁷	1,77·10 ⁻⁶	44,250
0,0005—0,0001	0,0003	0,90	0,0036	1,41·10 ⁻¹¹	2,553·10 ⁸	2,83·10 ⁻⁷	72,240
0,0001—0	0,00005	0,080	0,00032	6,64·10 ⁻¹⁴	4,878·10 ⁹	7,85·10 ⁻⁹	38,320

$$\theta = 482,411 \text{ см}^2$$

Глава II

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

При изучении полевой влажности почвы под сельскохозяйственными культурами необходимо установить:

в каком физическом состоянии находится почвенная влага в момент измерения;

под влиянием каких причин создано данное распределение воды в почве;

будет ли такое распределение почвенной влаги изменяться, в каких направлениях, с какой скоростью;

какими способами и в каких пределах можно воздействовать на этот естественный ход изменений влажности почвы, чтобы придать ему нужное направление.

Основной целью измерений полевой влажности почвы является определение того количества воды, при котором развивается данная культурная растительность. Так как не вся вода в почве доступна растениям, необходимо из определенного валового количества ее (M) выделить количество доступной растениям воды. Так как недоступная растениям вода ($W_{\min}$) колеблется в широком интервале: от полуторной (и даже ниже) и до двойной максимальной гигроскопичности почвы, следует в каждый момент определить количество доступной воды (W_p), как разность между валовой влажностью и влажностью, соответствующей недоступности воды, т. е.:

$$W_p = M - W_{\min}.$$

Необходимо отметить, что не все количество почвенной влаги (от двойной-полуторной гигроскопичности и до полного насыщения почвы водой) доступно растениям. Оно должно быть уменьшено за счет потребного для корневой системы растений почвенного воздуха и солевого состава почвы, так как при некоторых концентрациях солей в почве

почвенная влага становится уже недоступной растению, хотя количество ее и превышает двойную-полуторную гигроскопичность. Предположим, например, что в почве имеется 0,1% вредных солей и при высыхании ее до 10% влажности растения не страдают. Концентрация солей в почвенном растворе в данном случае будет равна:

$$\frac{0,1 \cdot 100}{10} = 1,0\%.$$

Если эту концентрацию считать предельной для нормального развития растений, то при увеличении в почве количества солей до 0,2% растения будут страдать от недостатка воды уже при влажности ниже 20%.

В общем виде значение недоступной почвенной влаги для засоленной почвы, по Л. П. Розову, определяется выражением:

$$W_{\min} = \frac{100S}{\eta},$$

где S — весовой процент солей в почве;

η — предельная концентрация солей почвенного раствора.

Приведенный расчет количества доступной растению воды в почве является ориентировочным. Практически это количество в каждой почве должно определяться свойственным ей конкретным «коэффициентом завядания», т. е. количеством воды в почве, при котором растения начинают завядать.

Бриггсом и Шантцом было установлено, что значение коэффициента завядания не зависит от вида растений. Согласно их определению, коэффициентом завядания называется влажность почвы, выраженная в процентах к весу сухой почвы, в тот момент, когда листья растений, растущих в этой почве, впервые обнаруживают признаки устойчивого понижения их тургора в результате недостаточного поступления влаги. Для незасоленных почв Бриггс и Шантц определяют его как «эквивалент влажности», деленный на 1,81.

Р. Скофилд предлагает определять коэффициент завядания как влажность, соответствующую значению $pF=4,2$.

Проф. А. Ф. Лебедев на основании своих наблюдений полагал, что коэффициент завядания отвечает величине максимальной молекулярной (пленочной) влажности.

Ф. Секера считает пределом доступности воды для растений влажность, соответствующую всасывающему напряжению, равному одной атмосфере или значению $pF=3$, названную им «критическим содержанием» воды в почве.

Л. С. Литвинов, рассматривая вопрос о выборе критерия для оценки почвенной влажности, приходит к выводу, что мы часто не в состоянии решить, как велико содержание в почве доступной для растений воды, так как не можем учесть точно ни влияния мощности отдельных генетических почвенных горизонтов, ни распределения площади всасывающей зоны корневой системы данного растения по отдельным горизонтам. Поэтому-то и сомнителен универсальный для всех растений критерий Бриггса и Шантца, как только переходим от опытов с вегетационными сосудами к полевым опытам, где условия для развития растений совершенно иные. Путь, по которому должно идти исследование, определяется анализом общих причин, ограничивающих применимость правила Бриггса и Шантца при полевых исследованиях. Таких причин может быть намечено две. Во-первых, почва в естественных условиях не представляет собой чего-то однородного, а является чрезвычайно сложным комплексом, влияние отдельных компонентов которого на корневую систему не поддается точному учету. Во-вторых, это влияние должно быть неодинаково по отношению к различным в морфологическом и экологическом отношении корневым системам различных видов растений.

Тщательная проверка тезиса Бриггса и Шантца была проведена Д. В. Федоровским. Он доказал, что коэффициент завядания зависит от вида растения, возраста, осмотического давления почвенного раствора и установил, например для пшеницы разных фаз развития, что если принять коэффициент завядания при полном цветении за 100, то при молочной спелости он составит 110, при выколашивании — 117, при начале выхода в трубку — 129.

П. В. Лобанов показал, что для характеристики почвы по ее способности удовлетворять потребность растения во влаге следует оценивать почву не одной величиной коэффициента завядания, а двумя: величиной критической для растений почвенной влажности, которая отвечает началу завядания, т. е. соответствует коэффициенту завядания, и величиной мертвого запаса, отвечающей той влажности почвы, при которой корневая система перестает всасывать влагу из почвы и растения погибают от недостатка воды.

Л. А. Разумова установила, что нижним пределом почвенной влажности для жизнедеятельности растений (за которым следует гибель растений), практически является влажность, соответствующая максимальной гигроскопичности данной почвы, а нижним пределом влажности, прекращающим нарастание урожая, — коэффициент увядания. На этом основании недоступной влагой для растений является влага, равная максимальной гигроскопичности почвы и ниже, а продуктивной — влага сверх коэффициента завядания.

Наибольший интерес представляет отношение влажности завядания к максимальной гигроскопичности. Профессор А. А. Роде, подробно рассматривая вопрос о величине отношения влажности завядания к максимальной гигроскопичности почвы, приходит к выводу, что величина этого отношения для различных типов почв колеблется в широких пределах. Поэтому для вычисления отношения влажности завядания к максимальной гигроскопичности почвы следует пользоваться особыми коэффициентами, применительно к разному виду растений, к каждому типу почвы и, наконец, к каждому горизонту, где распространена корневая система растений.

Для ориентировочных расчетов отношения влажности завядания к максимальной гигроскопичности является коэффициент 1,34, применяемый в Агрометслужбе, или коэффициент 1,50, предлагаемый профессором Н. А. Качинским.

При изучении закономерностей состояний и изменений влажности почвы необходимо, по Л. П. Розову, различать два основных состояния воды в почве.

1. Воду, находящуюся в почве в практически неподвижном состоянии, в состоянии равновесия, не передвигающуюся вниз под влиянием силы тяжести. (В данном случае мы отвлекаемся от двух других способов передвижения воды в почве: пленочного, определяющегося разностью напряжений молекулярных сил на поверхности почвенных частиц, и парообразного, происходящего под влиянием разностей упругостей водяных паров в разных точках почвенного разреза).

2. Воду, представляющую собой все, что превышает в какой бы то ни было мере «предельную» влагоемкость данного горизонта данной почвы. Эта вода, если не учитывать ее испарения и капиллярного поднятия к верхним, подсыхающим слоям почвы, всегда находится в состоянии непрерывного движения вниз, и это движение останавливается только на уровне грунтовых вод.

Различать эти состояния почвенной влаги необходимо прежде всего с точки зрения выяснения условий почвообразовательных процессов. Совершенно очевидно и известно, что почвообразовательные процессы будут иметь один характер, когда все продукты этих процессов остаются на месте их образования (случай, когда вода остается неподвижной), и совершенно другой характер, когда процессы почвообразования протекают на фоне постоянного тока почвенной влаги, уносящей с собой не только растворимые продукты, но и нерастворимые (коллоидные частички).

Различать два состояния воды в почве необходимо также с точки зрения использования воды растениями. Вода неподвижная есть запас, который всегда может быть использован растением до конца, т. е. до предела усвояющей способности корней в любой момент и любым темпом. Вода же, движущаяся вниз, может быть использована растением или целиком, или же только в какой-то ничтожной степени. Эта степень использования определяется в каждый данный момент энергией потребления воды растением и скоростью

движения воды вниз. Чем больше первая, тем больше шансов использовать стекающую (просачивающуюся) воду. Чем больше вторая, тем скорее вода выйдет из сферы корневой системы, тем меньше растение успеет ее использовать. Следовательно, степень использования подвижной воды есть функция скорости ее движения в почве и энергии всасывания ее растительностью.

Таким образом, неподвижная вода в почве является основным неприкосновенным запасом, который может быть создан поливом в любой период времени и на неограниченный срок, как, например, поливы осенне-зимние, влагозарядковые, предпосевные и пр. (исключая потери на испарение). Вся вода сверх этого запаса есть вода временная, эфемерная для данного слоя почвы, и ее рационально давать с поливом только в расчете на необходимость осуществления одновременно с поливом промывки почвы или в расчете на определенную скорость движения ее в почве, при которой вода успеет перехватиться корневой системой растений.

Организуя полив, ставя своей задачей установление рациональной нормы полива, нельзя не считаться с этими двумя состояниями почвенной влаги, нельзя не знать количественного выражения этих состояний для данной почвы в любой момент времени. Принимая же это положение, становится очевидным, что неподвижную воду достаточно характеризовать только количественно, но для оценки степени доступности растениям воды подвижной нужно знать уже два элемента: ее количество и скорость движения.

Итак, задача понимания закономерности водного режима почвы сводится к тому, чтобы в каждый момент времени и для каждого горизонта почвы, определив валовое количество воды (M), знать, какая часть ее представляет собой воду неподвижную (a). Разность между валовой и неподвижной водой ($M - a$) даст количественное выражение воды, находящейся в движении. Зная ее скорость движения, можно предусматривать и все явления ее перемещения и использования растениями.

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЕВОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

При изучении почвенной влажности под той или иной культурой в поле приходится решать ряд вопросов.

1. На каких горизонтах следует брать почвенные образцы?

Ясно, что эти глубины должны охватить всю зону пространства корневой системы растения, следовательно, практически эти глубины могут и должны быть различными для различных растений и в разные моменты их развития.

2. Каким образом выбирать образцы почвы в пределах принятой глубины исследования?

Наиболее рационально брать образцы по слоям почвы, отличающимся друг от друга по своим физическим свойствам. Каждому слою присуща своя максимальная гигроскопичность, и именно эту величину вычитают из показаний абсолютных влажностей. Следовательно, только таким путем можно получать истинное представление о количествах доступной растениям влаги. Из каждого слоя можно брать один образец посередине или лучше три образца — один посередине и два у границы с соседними слоями.

Задачей исследования является определение средней влажности на данной площади, поэтому при выборке образцов почвы из отдельных точек площади необходимо руководствоваться следующим:

а) при закладке скважин должны быть исключены пункты, могущие дать чисто индивидуальные данные, зависящие от случайных изменений поверхности почвы — кротовины, углубления, кочки, трещины и т. д.;

б) при общем уклоне всей площади необходимо отметить величину уклона и направление его по отношению к странам света и расположить скважины таким образом, чтобы характеризовать вершину, середину и подошву участка.

3. В какие сроки проводить выборку образцов?

Сроки наблюдения приурочивают к следующим моментам: к фазам развития растения и нарушению общего хода влажности.

Каждая фаза развития растений требует своего водного режима, что необходимо регистрировать. Для периода каждой фазы желательно получить, как минимум, три результата — в начале, середине и в конце фазы. Что касается нарушения общего хода влажности, то сюда прежде всего относятся поливы, естественные осадки, обработки почвы и пр. Например, после поливов почва проходит стадию влажностей избыточно-вредных, оптимальных и минимально-недостаточных. Периоды пребывания растения в столь различных условиях существования должны быть зарегистрированы. Рациональные сроки выборки образцов в этом случае могли бы быть намечены только на основе знаний зако-

номерной динамики влажности почвы на орошаемых землях. Поскольку же такая динамика не установлена, можно только рекомендовать некоторое сгущение сроков непосредственно после полива (через 2—3 дня) и разрежение их в более спокойный период (через 5—10 дней). Таким образом, на основе этих ориентировочных данных можно составить целесообразную схему сроков наблюдений, но всегда специфическую для каждого растения и для каждой предполагаемой системы ухода за ним.

4. Сколько и как расположенных по территории почвенных проб необходимо взять в каждый данный момент времени, чтобы охарактеризовать состояние влажности данного слоя?

На этот вопрос не может быть дано общего ответа, так как число необходимых повторностей определяется характером пестроты почвенного покрова поля и точностью проводимой работы.

Следовательно, количество повторностей для данной степени пестроты в отношении показаний влажности должно быть определено специальным экспериментом. Метод такого определения может быть только аналогичен методу дробного учета, например, общего плодородия поля. Получая достаточный со статистической точки зрения ряд цифр, характеризующих влажность отдельных горизонтов почвы при разных абсолютных их влажностях, и обработав этот цифровой материал методами вариационной статистики, можно получать уже точные данные о том, сколько проб (повторностей) должно быть взято с поля, чтобы не выйти из пределов желательной точности определения.

Получаемые указанным путем кривые влажности почвы под различными культурами подлежат сопоставлению с кривыми динамики развития растений. Имея массовый цифровой материал за ряд лет, можно результаты обработать методами вариационной статистики, и, следовательно, установить характер связи между кривыми влажности почвы и кривыми динамики развития растений.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Влажность почвы в мелиоративном почвоведении выражают в процентах к весу или объему сухой почвы. Между этими выражениями влажности существует зависимость:

$$W_{\Delta} = \Delta W,$$

где W_{Δ} — влажность в процентах к объему сухой почвы;
 W — влажность в процентах к весу сухой почвы;
 Δ — объемный вес твердой фазы почвы.

Влажность почвы можно определять прямым и косвенным способами; наиболее известные из них приведены в таблице 20.

Т а б л и ц а 20

Методы	Сущность методов
Высушивания	Высушивание навески почвы в сушильном шкафу, в разогретом парафине, инфракрасными лучами, токами высокой частоты и т. д.
Карбидный	Смешивание навески почвы с карбидом кальция и количественный учет выделяющегося при этом ацетилена
Спиртовой	Внесение в спирт навески почвы и определение степени уменьшения крепости спирта за счет воды, содержащейся в навеске
Пикнометрический	Определение удельного веса навески исследуемой почвы при данной влажности
Электрометрический	Определение электропроводности уложенных в почву специальных блоков (промежуточных сред)
Тензиометрический ¹	Определение влажности по всасывающей способности почвы
Гамма-скопический ¹	Просвечивание почвы гамма-лучами (поглощение этого излучения почвой пропорционально влажности ее)
Нейтронный ¹	Просвечивание почвы быстрыми нейтронами (превращение таких нейтронов в тепловые, которые учитываются, пропорционально влажности почвы)

Методы электрометрический и тензиометрический, а также основанные на применении радиоактивных излучений, позволяют определять влажность почвы непосредственно в поле, без нарушения естественного сложения ее.

В остальных случаях влажность определяют по образцам, которые извлекают из почвы буром или берут со стенок почвенных разрезов.

¹ Рассматриваются в главах VII и XIV

Метод высушивания

Сушка в сушильном шкафу. Образец почвы 10—15 г помещают в алюминиевый бюкс, который закрывают крышкой и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Перед взвешиванием необходимо проверить правильность работы весов. У правильно работающих весов стойка имеет строго вертикальное положение, чашки равновесны и стрелка весов при равновесии чашек должна совпадать с нулевым делением шкалы, а при качании коромысла отклоняться в ту или другую сторону на одинаковое число делений. Вертикальное положение стойки весов устанавливают по отвесу путем вращения опорных винтов, на которых поддерживается платформа весов. Равновесие чашек и колебание стрелки на одинаковое число делений достигается вращением грузиков, укрепленных на концах коромысла.

После взвешивания бюксов с почвой крышки с бюксов снимают, надевают их на дно и в таком виде бюксы ставят в сушильный шкаф, желательно с электрическим нагревом и терморегулятором. В шкафу поддерживают температуру 105°. С момента установления этой температуры высушивание продолжают 4—5 час. для песчаных почв и 7—8 час. для глинистых.

После этого бюксы закрывают крышками, охлаждают и снова взвешивают. Записав вес бюксов с почвой, сушат их еще в течение 2 час. (при открытых крышках) и опять взвешивают. Если разница в весе после первого и второго высушивания окажется меньше 0,01 г, то последний вес принимают за окончательный; если она оказывается больше 0,01 г, то бюксы ставят в сушильный шкаф еще на два часа, а при необходимости и на большее время, пока разница в весах будет не более 0,01 г.

Пример расчета.

Вес пустого бюкса (тара)—16,06 г, вес бюкса с почвой до высушивания 20,82 г, вес бюкса с почвой после высушивания 20,54 г. Количество испарившейся влаги равно: 20,82—20,54=0,28 г, вес сухой почвы составляет 20,54—16,06=4,48 г; влажность почвы выражается:

$$\frac{0,28}{4,48} \cdot 100 = 6,25\%.$$

При массовых определениях влажности почвы для контроля взвешивают лишь некоторые бюксы, например по три

Форма записи результатов

№ бюкса	Тара бюкса	Тара + влажная почва (в г)	Тара + сухая почва (в г)	Вес воды в навеске почвы (в г)	Вес сухой почвы (в г)	Влажность в процентах к весу сухой почвы

бюкса с каждой полки. Если сушат почву безгумусную, то высушивание можно проводить при температуре 120—130°. В процессе сушки желательно менять местами полки шкафа с находящимися на них бюксами, так как в нижней и верхней частях шкафа температура обычно бывает более высокой, чем в средней. Так, по данным Г. Поварина и Новик-Бама, в сушильных шкафах с электрическим обогревом температуры могут выражаться:

верхняя полка	112—145°
средняя полка	103—108°
нижняя полка	111—123°

Если при определении влажности почвы необходима особо высокая точность, то вместо алюминиевых бюксов берут стеклянные бюксы с притертыми крышками; навеску уменьшают до 5—10 г; взвешивание проводят на аналитических весах; бюксы перед взвешиванием охлаждают в эксикаторе с сухим хлористым кальцием.

Описанный метод позволяет получать результаты с относительной ошибкой не более 0,5%. В связи с этим он является самым точным среди всех известных методов определения влажности образцов почвы. Но метод сушки при использовании сушильных шкафов мало производителен. Так, при массовых определениях влажности затраты времени на одно определение составляют 6—8 мин. Кроме того, этим методом нельзя получать результаты в короткий срок. Поэтому было предложено несколько модификаций этого метода, дающих возможность ускорить процесс сушки, из них рассматриваются ускоренная сушка в парафине и ускоренная сушка инфракрасными лучами.

Ускоренная сушка в парафине. Этот способ позволяет определять влажность в короткий срок и дает хорошие результаты.

В металлический стакан высотой 10—15 см с длинной ручкой (можно использовать жестяную консервную банку) насыпают парафин с таким расчетом, чтобы в расплавленном состоянии он занимал $\frac{1}{3}$ объема стакана. Стакан с парафином взвешивают на технических весах и нагревают до достижения парафином температуры 140—150°. В расплавленный парафин высыпают мелкими порциями навеску почвы 20—30 г. Сразу же начинается интенсивное выделение паров воды. В процессе сушки стакан с содержимым подогревают, поддерживая температуру парафина не ниже 140°. Сушка продолжается 3—10 мин. (в зависимости от механического состава, влажности и степени измельчения навески). Об окончании ее судят по прекращению выделения из парафина пузырьков. После этого стакан с содержимым охлаждают и взвешивают. Влажность почвы рассчитывают по формуле:

$$W = 100 \frac{A + B - B}{B - A} \%,$$

где A — вес стакана с парафином;

B — вес влажной почвы,

B — вес стакана с парафином и находящейся в нем высушенной почвой.

Не удаляя из парафина находящуюся в нем почву, можно определить влажность почвы еще в нескольких навесках, беря за начальный вес A и вес B , полученный при предыдущем определении. По мере накопления в парафине почвы использование его затрудняется и возникает необходимость в удалении из парафина отработанной почвы. Для этого содержимое стакана в расплавленном состоянии переливают в сосуд с водой, которую нагревают до кипения. По охлаждении над водой окажется очищенный парафин.

Этой разновидностью метода сушки рационально пользоваться при единичных определениях. При массовых определениях влажности выигрыша во времени, по сравнению с сушкой в сушильном шкафу, она не дает.

Ускоренная сушка инфракрасными лучами. Как известно, инфракрасные лучи поглощаются телами, что приводит к их нагреванию. Особенно интенсивно инфракрасные лучи поглощаются водой, которая при этом интенсивно испаряется,

Для сушки почвы инфракрасными лучами используют электрическую лампу инфракрасного излучения мощностью 500 ватт. Лампу укрепляют на штативе в вертикальном положении и подкладывают под нее асбест. Расстояние от асбеста до выпуклой части купола лампы должно быть 5 см. На асбесте карандашом обводят освещаемый лампой круг. Сушку почвы осуществляют в трех секторных чашках из нержавеющей металла, представляющих собой третьи части освещенного лампой круга. Чашки имеют бортики высотой около 5 мм. Чашки, еще не бывшие в работе, необходимо облучить до постоянного веса. Для этого обычно бывает достаточным 3—4-кратное облучение по 7—10 мин. с такими же интервалами для охлаждения между облучениями. В дальнейшем (при работе) вес чашек, как правило, не изменяется.

Для определения влажности навески почвы по 10 г (точность взвешивания 0,01 г) распределяют ровным слоем по чашкам. Чашки с навесками ставят под включенную лампу так, чтобы вершины их находились в центре круга, начерченного на асбесте карандашом. В зависимости от типа почв облучению подвергают: подзолистые, бурые и сероземные почвы—7 мин., черноземные почвы—3 мин.

После половины срока облучения чашки переставляют: вершины чашек, которые были в центре освещенного круга, помещают на периферии. После облучения чашки с навесками почвы охлаждают и взвешивают. Убыль в весе соответствует количеству испарившейся воды. Для расчетов процента влажности почвы удобно пользоваться заранее составленной таблицей, так как навески сырой почвы во всех случаях принимаются 10 г.

В. Б. Замятиной и Т. Н. Черниковой проведено сравнение способов определения влажности при сушке инфракрасными лучами и в сушильном шкафу.

Определение влажности почвы высушиванием в сушильном шкафу проводилось с четырехкратной повторностью. Высушивание осуществлялось в стеклянных бюксах, взвешивание — на аналитических весах. При определении влажности с использованием инфракрасных лучей применялась шестикратная повторность, облучение образцов чернозема продолжалось 3 мин., остальных почв 7 мин.

Из данных таблицы 21 видно, что значения влажности, определенные обоими методами, близки. Расхождения не превышают 0,9% веса сухой почвы. Таким образом, метод

Влажность почвы пахотных горизонтов, определенная методом высушивания инфракрасными лучами (данные В. Б. Замятиной и Т. Н. Черниковой)

Почва	Влажность исследуемой почвы в процентах к весу сухой почвы	
	высушивание при температуре 105°	высушивание инфракрасными лучами
Подзолистая тяжело-суглинистая . . .	7,5 19,0	7,5 19,1
Подзолистая песчано-суглинистая . . .	19,9 23,2	18,9 22,6
Подзолистая средне-суглинистая . . .	7,8 20,9	8,1 20,8
Бурая суглинистая	13,4	13,1
Бурая солонцеватая	11,7	11,5
Типичный серозем	16,0	16,5
Обыкновенный чернозем тяжелосуглинистый	22,2	21,5
Мощный тяжелосуглинистый чернозем .	22,0 18,5	22,1 17,6

определения влажности почвы с применением лампы инфракрасных лучей, при котором высушивание почв производится в течение 3—7 мин., дает вполне удовлетворительные для практических целей результаты. Однако его целесообразно применять лишь при единичных определениях влажности.

Пикнометрический метод

Принцип определения влажности почвы пикнометрическим методом основан на получении различных значений удельного веса сухой и влажной почвы.

Обозначим навеску влажной почвы через A ; тогда имеем: $x + y = A$, где x — вес сухой почвы, y — вес воды в ней.

Отношение $\frac{x}{v} = \rho$ дает удельный вес сухой почвы, где v — объем твердой фазы почвы, отношение $\frac{x + y}{v + y}$ дает удельный вес влажной почвы (ρ_w). Отсюда имеем три уравнения с тремя неизвестными. Решив эти уравнения, получаем:

$$y = \frac{A(\rho - \rho_w)}{(\rho - 1)\rho_w} \quad \text{и} \quad x = \frac{A \cdot \rho(\rho_w - 1)}{(\rho - 1)\rho_w}.$$

Отсюда содержание воды в процентах к весу сухой почвы равно:

$$W = \frac{(\rho - \rho_w) 100}{\rho (\rho_w - 1)} \%$$

Следовательно, для определения влажности почвы пикнометрическим методом необходимо знать удельный вес сухой почвы и определить удельный вес влажной почвы.

Пример. Навеска влажной почвы равна 48 г; удельный вес сухой почвы 2,5 г/см³; удельный вес влажной почвы 2,0 г/см³.

Тогда процент влажности к весу сухой почвы равен:

$$W = \frac{(2,5 - 2,0) \cdot 100}{2,5 (2,0 - 1)} = 20.$$

Процент влажности к весу сырой почвы равен:

$$\frac{(2,5 - 2,0) \cdot 100}{2 (2,5 - 1)} = 16,66.$$

Пикнометрическим методом влажность почвы определяют в тех случаях, когда известны точные значения удельного веса исследуемой почвы. Значение погрешностей во влажности почвы (в процентах) при определенных погрешностях в удельном весе почвы, по данным Л. А. Разумовой, видно из следующего.

Погрешность в удельном весе почвы до

$$0,03; 0,06; 0,11; 0,21; 0,38$$

Погрешность во влажности почвы

$$0,8; 1,5; 3,0; 5,9; 11,4.$$

Для почв с резко выраженными генетическими горизонтами и, следовательно, с большими колебаниями удельного веса по профилю и в пространстве применение пикнометрического метода не рекомендуется.

На почвах однородного механического состава с малым количеством гумуса, а в связи с этим небольшими колебаниями удельного веса почвы по глубинам, в частности на сероземных почвах Среднеазиатских республик, применение пикнометрического способа в производственных условиях вполне возможно.

При определении влажности почвы в единичных образцах (весом не больше 10 г) пикнометрический способ может дать значительный выигрыш во времени в сравнении со способом высушивания в сушильном шкафу, так как он быстрее дает результаты. Наряду с этим пикнометрический метод не требует материальных затрат на высушивание.

Карбидный метод

Карбидный метод основан на реакции карбида кальция с водой. В результате реакции по количеству выделившегося ацетилена, умноженному на некоторый постоянный коэффициент, определяют процент содержания воды в исследуемом образце почвы. Переводный коэффициент получается из соотношения молекулярных весов ацетилена и воды. Если в реакцию вступает химически

чистый карбид кальция, коэффициент равен отношению:

$$\frac{2\text{H}_2\text{O}}{\text{C}_2\text{H}_2} = \frac{36,03}{26} = 1,385.$$

В практике с успехом можно пользоваться техническим карбидом кальция, в этом случае коэффициент может быть принят равным 1,47.

Карбидный метод пригоден для несвязных (песчаных, супесчаных, легкосуглинистых) почв. Почвы связные (глинистые) в процессе определения влажности скатываются в шарикобразные комки, и карбид кальция взаимодействует лишь с их поверхностью.

В настоящее время сконструировано несколько приборов для определения влажности почвы карбидным методом. Наиболее совершенным является прибор В. Сибирского, но он сложен. Прост и легко доступен прибор А. Вадюниной. Этот прибор (рис. 4) представляет собой двугорлую тонкостенную склянку объемом 150 мл, в которую помещают навеску влажной почвы. В широкое горло склянки входит пришлифованная коническая трубочка, верх и низ которой закрывают каучуковыми пробками. В трубочку насыпают тонкомолотый карбид кальция в количестве, соответствующем тройной навеске влажной почвы. Сквозь верхнюю пробку плотно входит металлический стержень, назначение которого выталкивать нижнюю пробку для высыпания карбида из трубки. В узкое горло склянки вставляют трубочку с гранулированным карбидом, оканчивающуюся бунзеневским клапаном. Трубочка служит для улавливания и разложения паров воды, увлекаемых потоком выделяющегося ацетилена.

Для определения влажности почвы прибором А. Вадюниной заполняют трубочку карбидом и взвешивают его, вносят в прибор влажную почву и снова взвешивают. Взвешивание производят на технических весах с точностью до 0,01 г. Разница между первым и вторым взвешиванием дает вес влажной почвы. Ориентировочно навеску влажной почвы берут 15—20 г. Металлическим стержнем,

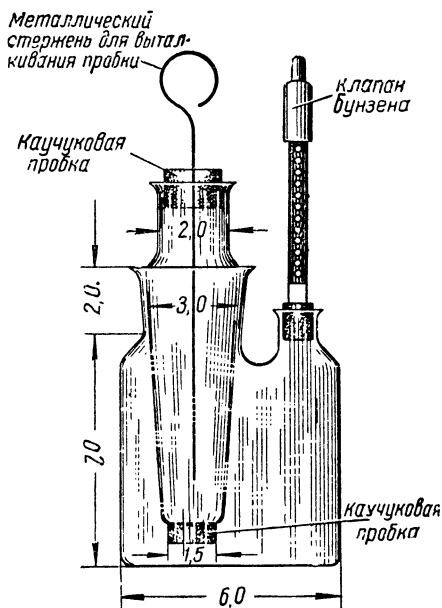


Рис. 4. Прибор А. Вадюниной для определения влажности почвы карбидным методом.

находящимся в приборе, выталкивают нижнюю пробку, и карбид высыпается в сосуд с почвой. Реакция между карбидом и водой почвы наступает моментально. Для перемешивания почвы с карбидом сосуд нужно встряхивать 6—10 мин. При значительном количестве воды в почве происходит бурная реакция с выделением ацетилена и паров воды. Часть водяных паров увлекается потоком ацетилена и поступает в трубочку, где и разлагается оставшимся карбидом; главная же масса паров воды оседает на стенках сосуда и, в свою очередь, также разлагается карбидом при встряхивании сосуда. После охлаждения прибор взвешивают. Разность между результатом второго и третьего взвешиваний дает количество выделившегося ацетилена.

Умножив количество выделившегося ацетилена на коэффициент 1,47, получают количество воды в граммах во взятой для анализа почве, что выражают в процентах к весу сухой почвы. По исследованию А. Вадюниной, карбидный метод дает в большинстве случаев показания влажности почвы ниже, чем метод высушивания. При этом 80—82 определения из 100 имеют расхождения в абсолютных величинах от 0,1 до 2% и 18—20 определений до 2—3%. Карбидный метод рационален для единичных определений влажности. При этом в случае малой влажности почвы он неприменим.

Спиртовой метод

Принцип этого метода, рационального для случаев быстрого определения влажности в единичных образцах почвы, заключается в следующем. Если влажную почву смешать со спиртом определенной крепости, то крепость его уменьшится за счет имеющейся в почве влаги. Зная крепость спирта до опыта и после, можно определить и количество воды в почве. Почву со спиртом смешивают в специальном алкольном гидрометре.

Перед определением влажности гидрометр тарируют. Для этого к 50 мл применяющегося спирта прибавляют 10 мл воды и устанавливают число делений шкалы гидрометра при определенной температуре (например, при 20°), на которое поднялся гидрометр при прибавлении воды. Пусть оно будет $(a-b)$; тогда 10: $(a-b)$ дает цену одного деления, т. е. число миллилитров воды, эквивалентное одному делению гидрометра.

Для определения влажности почвы в цилиндр объемом 100 мл вливают 50 мл спирта, с которым производилась тарировка гидрометра, затем насыпают 20 г влажной почвы и все взбалтывают палочкой. Затем цилиндр оставляют в покое до осаждения главной массы суспензии. После этого, отфильтровав в цилиндр емкостью 25 мл примерно 18—20 мл спирта, опускают в него гидрометр, делают отсчет и определяют температуру фильтрата. Изменению температуры на 1° соответствует поправка на 0,2% на содержание алкоголя; при температуре ниже 20° поправку вычитают.

Разность отсчетов гидрометра до и после взбалтывания спирта с влажной почвой, умноженная на найденный раньше водный эквивалент, дает количество воды в миллилитрах во взятой навеске.

Спиртовым методом в описанной модификации можно пользоваться только для песчаных и супесчаных почв.

Все выше рассмотренные методы не дают возможности вести наблюдения за динамикой почвенной влажности по одним и тем же точкам, так как каждый раз пробы почвы берут из новых точек. Поэтому на ошибки, возникающие в процессе измерения влажности, накладываются ошибки, обуславливаемые пестротой естественной влажности почвы, что снижает точность кривых динамики влажности почвы. В связи с этим предложено несколько методов специально для изучения динамики влажности почвы. При использовании таких методов влажность почвы всякий раз измеряется в одной и той же точке (электрометрический и тензиометрический методы) или по одному и тому же слою (гамма-скопический и нейтронный методы). Ниже описывается электрометрический метод, а методы тензиометрический, гамма-скопический и нейтронный — в другой главе.

Электрометрический метод

Многочисленные попытки определять влажности почвы по электропроводности ее и по значениям диэлектрической постоянной оказались практически безрезультатными. В связи с этим в 1939 г. Буйюкосом было предложено измерять влажность почвы по электропроводности промежуточной пористой среды, введенной в почву. Влажность этой среды обуславливается влажностью прилегающей к ней почвы. В. П. Остапчиком (Крымская опытно-мелиоративная станция) был разработан электрометрический метод определения влажности почвы с помощью гипсовых блоков (датчиков). Гипсовые блоки, помещенные в почву, присоединяют или отдают часть влаги до установления равновесия между влажностью почвы и влажностью блока.

Эти блоки представляют собой пористые отливки размером $15 \times 25 \times 50$ мм из химически чистого гипса с жесткими зафиксированными внутри медными лужеными электродами сечением 6 мм^2 .

Концы электродов зачищают на длину 25 мм и лудят оловом. Для лучшего закрепления электродов в гипсовой массе поверх изоляции в 5 мм от начала защищенной части наматывают валик из ниток, который пропитывают эмалитом. Эти электроды размещают в алюминиевых формочках (перед заполнением их гипсовой кашицей) параллельно дну формочки с расстоянием между внутренними поверхностями электродов 10 мм (рис. 5). Гипсовые блоки готовят следующим образом. 20-граммовые навески гипса замешивают

вают в фарфоровых чашках с 18 мл дистиллированной воды. При заполнении формочки для удаления из гипсовой массы пузырьков воздуха кашицу в межэлектродном пространстве перемешивают шпателем, а дном самой формочки постукивают о стол. Через 15 минут формочку разбирают, готовый блок вынимают и укладывают в эксикатор с водой (т. е. в условия минимального испарения). Затем измеряют сопротивление блоков при погружении их в дистиллированную воду. При этом выявляется некоторая неоднородность в величинах сопротивлений, что служит показателем рабочих характеристик блоков.

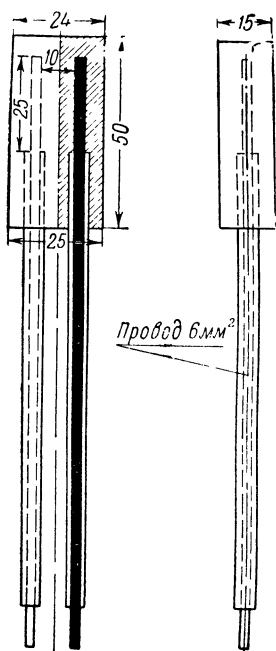


Рис. 5. Схема гипсового блока.

Гипсовые блоки заделывают в почву на необходимую глубину, их поверхность должна плотно соприкаться с почвой. При этом каждому значению влажности почвы соответствует строго определенная (но не равная) влажность блока. Каждому же значению влажности блока соответствует строго определенное его электрическое сопротивление.

Для измерения электрического сопротивления гипсовых блоков следует применять мостиковую схему, которая оказывается наиболее точной, но ее можно заменять омметром. Шкала омметра логарифмическая, и при хорошем стрелочном приборе с ходом стрелки до $180-270^\circ$ на одной шкале укладываются отсчеты сопротивлений от сотен омов до сотен килоомов (т. е. весь рабочий диапазон).

Таким образом, отсчеты получаются сразу же по включении прибора. При этом шкала омметра может быть проградуирована непосредственно в процентах влажности для данных почвенных условий. Во избежание искажений, вносимых поляризацией и гидролизом солей, растворимых в межэлектродном пространстве блока, омметр питают переменным током от низковольтных элементов с помощью несложной радиотехнической схемы.

Принцип работы омметра заключается в измерении микроамперметром силы тока, которая меняется в зависимости от величины измеряемого сопротивления, включенного последовательно.

Методика закладки блоков в почву является одной из наиболее существенных операций, поскольку одним из основных принципов этого метода является установление равновесия между влажностью блока и окружающей почвы.

В литературе описаны два способа закладки блоков в почву:

1) трехдюймовым буром сверлят скважину; на дне ее горизонтально размещают блок;

2) в стенке шурфа металлической призмой делают отверстия, которые по своей форме и размерам соответствуют форме и размерам блока. Затем в них вводятся блоки. Этот способ наиболее пригоден при размещении нескольких блоков по вертикали почвенного профиля.

В обоих случаях блоки закладывают в почву насыщенными дистиллированной водой (это способствует установлению хорошего контакта блок-почва). При закладке блоков вторым способом в сухую почву происходит растрескивание и осыпание стенки шурфа при вбивании призмы. Для предотвращения этого почву в месте закладки можно предварительно увлажнять инъекцией воды в небольшое отверстие. В обоих способах закладки блоков следует обращать внимание на укладку почвы при засыпке скважины, шурфа. Почву надо укладывать послойно в соответствии с генетическими горизонтами, причем необходимо трамбовкой достигать, по возможности, естественного уплотнения ее.

Для лучшего сопряжения укладываемой почвы стенки шурфа перед засыпкой желательно сделать неровными. Кроме того, надо следить за тем, чтобы не оставались ходы, по которым вода с поверхности почвы, прилегающей к шурфу, может проникнуть к блокам быстрее, чем в нарушенной части почвы, и вызвать искажение фактической картины увлажнения.

Коммутацию блоков выполняют проводниками в хлорвиниловой изоляции. На соответствующих расстояниях от поверхности почвы делают отводы, к которым припаивают выводы от электродов. Оголенные места паек изолируют изоляционной лентой с последующей пропиткой парафином.

Полевая тарировка блоков проводится параллельным измерением влажности почвы по образцам, выбираемым

буром около блоков, и одновременным замерам электропроводности блоков. Для получения кривых требуется много наблюдений, поэтому лучше блоки тарировать в лаборатории перед размещением их в почве. Для этого небольшую навеску почвы (25 г) из соответствующего горизонта помещают

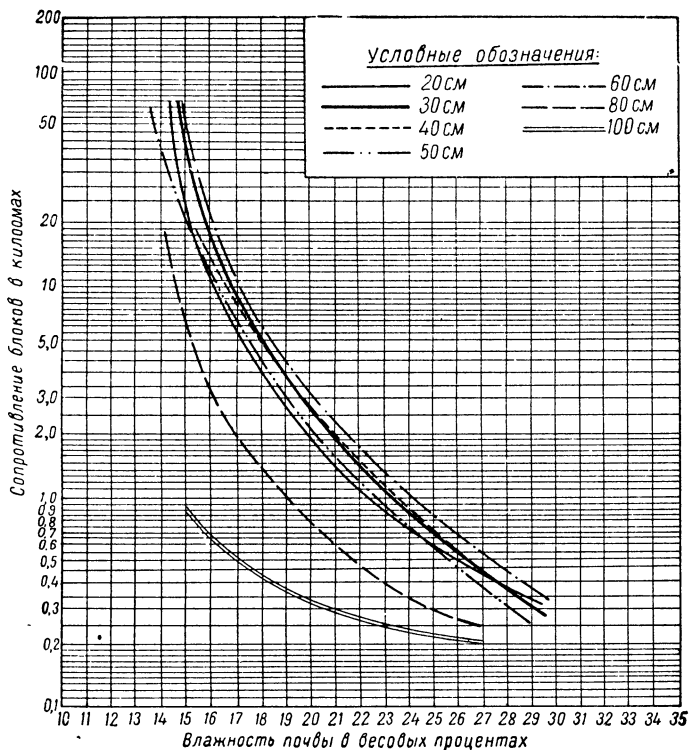


Рис. 6. Сводный график тарировочных кривых для горизонтов 20, 30, 40, 50, 60, 80 и 100 см.

в небольшой ящик и уплотняют. На эту почву помещают блок, поверх которого насыпают еще 25 г почвы. Систему насыщают водой и по мере высыхания определяют влажность почвы (взвешиванием ящика) и соответствующее ей сопротивление блока (рис. 6).

В связи с тем, что для установления равновесного состояния между гипсовым блоком и почвой необходимо большее

или меньшее время, при измерении влажности почвы методом гипсовых блоков возможно возникновение инерционности. Она проявляется в том, что при быстром уменьшении влажности почвы влажность ее, устанавливаемая по показателям электропроводности блоков, оказывается выше фактической. Однако в естественных условиях почва даже после поливов уменьшает свою влажность не столь интенсивно, чтобы при этом проявлялась заметная инерционность, и при практическом применении гипсовых блоков поправок на их инерционность вводить не приходится.

Т а б л и ц а 22

Влажность почвы на участке подпочвенного орошения, определенная электрометрическим методом и сухой проб
(данные В. П. Остапчика)

Глубина (в см)	Влажность в процентах к весу почвы, определенная					
	по оси увлажнителя		0,5 м от оси увлажнителя		1,0 м от оси увлажнителя	
	сухой проб	электрометрическим методом	сухой проб	электрометрическим методом	сухой проб	электрометрическим методом
20	14,7	14,8	14,9	13,7	14,1	13,1
40	25,7	26,2	15,6	15,2	15,5	14,9
60	24,1	24,3	14,5	15,0	14,6	15,0
20	23,1	23,0	16,9	14,6	—	—
40	27,5	27,4	25,3	26,2	—	—
60	30,0	31,5	26,1	26,8	—	—

Методом гипсовых блоков можно пользоваться только на незасоленных почвах. В этих условиях точность метода близка к точности при определении влажности почвы способом высушивания образцов (табл. 22). В засоленных почвах метод гипсовых блоков неприменим, так как солевые растворы, проникая в межэлектродное пространство блока, увеличивают его электропроводность. При повышенных концентрациях почвенного раствора (соответствующих 2—3 г/л плотного остатка и более) буферность гипса уже не в состоянии сгладить искажения, вносимые солями.

Первоначальное равновесие влажностей блоков и почвы после закладки устанавливается через 5—6 дней. Однако когда влажность блока при закладке близка к равновесному значению, соответствующему данной влажности окружающей почвы, первоначальное равновесие наступает значительно быстрее. Диапазон, в котором равновесная влажность блоков, изготовленных из химически чистого гипса, изменяется в соответствии с изменениями влажности почвы, весьма широк. Наиболее резкие изменения влажности блоков и, следовательно, их электропроводности при изменении влажности почвы имеют место в пределах примерно от коэффициента завядания до влажности, соответствующей предельной влагоемкости. При уменьшении влажности почвы ниже коэффициента завядания и насыщения выше предельной полевой влагоемкости электропроводность блоков изменяется незначительно. Это обстоятельство и определяет условия применения рассматриваемого метода. При низкой влажности почвы блоки, заложенные сухими, быстрее достигают равновесного значения. Подсушивание и повторное увлажнение показывают, что сопротивление блоков, находящихся в почве, хорошо отражает изменения ее влажности. Резкое иссушение почвы влечет за собой резкое увеличение сопротивления блоков, и зависимость между влажностью почвы и сопротивлением блоков не нарушается.

Для точных исследований необходимо вводить температурные поправки.

Упрощенные методы

Для быстрого, но ориентировочного определения влажности почвы применяют следующие способы высушивания ее.

Навеску почвы в 30—40 г высушивают в фарфоровой чашечке на пламени в течение 15—20 мин. при тщательном помешивании почвы металлическим шпателем. Легкое прокалывание продолжают до установления постоянного веса чашечки с почвой.

Высушивать почву можно также по методу Буйюкоса. При этом методе навеску почвы в 20—25 г обливают 20—25 мл этилового или метилового спирта и зажигают; после сгорания спирта и остывания почвы навеску взвешивают. Чтобы довести почву до сухого состояния, к ней повторно приливают 10—15 мл спирта и снова сжигают. Таким образом почву доводят до постоянного веса.

Указанные упрощенные способы высушивания почвы требуют тщательного наблюдения за ходом прокаливания или сжигания спирта и дают удовлетворительные результаты в том случае, если органические вещества содержатся в почве в небольшом проценте.

Нижеописанный способ, предложенный И. А. Чуприным, значительно упрощает определение влажности почвы и вместе с тем обеспечивает достаточную точность для практических производственных целей. Сущность его состоит в том, что содержание влаги в почве определяется по разности между объемами воды, вытесненными сухой и сырой почвой.

Как известно, вес почвы, высушенной до постоянного веса при температуре 105° в определяемом объеме, — величина постоянная для одной и той же почвы. Можно написать:

$$V - V_c = n,$$

где n — разность объемов воды, вытесненной навеской влажной и сухой почвы;

V — объем воды, вытесненной влажной почвой;

V_c — объем воды, вытесненной сухой почвой.

Таким образом, для применения этого метода необходимо знать величину V_c для данной почвенной разности по соответствующим горизонтам. Ее определяют один раз в сезон, но для точности в 6—8-кратной повторности. Для этого образцы почвы весом 50 г, взятые буром, предварительно высушивают до постоянного веса при температуре 105° и затем погружают в мерный цилиндр емкостью 100 мл с 50 мл чистой воды. Почву тщательно размешивают стеклянной палочкой несколько раз в течение 10—20 мин., и затем замеряют объем вытесненной почвой воды, который и будет соответствовать величине V_c .

Пользуясь величиной V_c , можно определить удельное вытеснение x — количество воды, вытесняемое 1 г сухой почвы:

$$x = \frac{V_c}{A_c},$$

где A_c — навеска сухой почвы (50 г).

Величина x , как и V_c , постоянна для одних и тех же почв. Для измерения влажности берут навеску исследуемой почвы весом 50 г (A), погружают ее в мерный цилиндр с 50 мл воды, размешивают и получают значение объема воды (V), вытесняемой исследуемой (влажной) почвой.

Объем воды, вытесненный влажной навеской почвы, складывается из объема воды, вытесненной сухой почвой, находящейся в данной навеске (V_c), и объема воды в той же навеске (y) т. е.:

$$V = V_c + y.$$

Имея в виду, что

$$V_c = x x,$$

где x — количество сухой почвы в данной навеске, это уравнение можно представить следующим образом:

$$V = x x + y.$$

Таким образом, можно написать систему уравнений:

$$V = x x + y; \quad A = x + y; \quad W = 100 \frac{y}{x},$$

где W — влажность почвы в процентах от веса сухой почвы.

Решая эту систему уравнений, получим окончательную формулу:

$$W = \frac{100 (V - x A)}{A - V} \%,$$

или, заменяя выражение $V - x A$ через n — разность объемов вытесненной воды сухой и влажной навеской почвы, получим:

$$W = \frac{100 n}{A - V}.$$

Для облегчения вычислений процента влажности почвы на основе этих формул можно заранее составить таблицу значений влажности почвы. Пользуясь такой таблицей, влажность почвы можно определить с затратой 15—20 мин. на одно определение.

Точность предлагаемого метода больше всего зависит от диаметра мерного цилиндра, в который помещается почва. Чем меньше диаметр цилиндра, тем выше точность отсчета, тем меньше ошибка. Отсчеты в мерном цилиндре рекомендуется проводить по верхнему мениску. Относительная ошибка при использовании этого метода выражается 2—4%.

Визуальное определение влажности черноземов, сероземов и каштановых почв. В производственных условиях часто требуется быстро определять ориентировочное значение влажности почв, например перед поливом. Для этих целей можно воспользоваться нижеприведенной таблицей (табл. 23).

Таблица для приближенного определения влажности почвы в процентах к весу сухой почвы
(по С. В. Астапову)

Типы и механический состав почвы	Влажность почвы около 15%	Влажность почвы 15—20%	Влажность почвы 20—25%	Влажность почвы 25—30%
Черноземы тя- желосуглинистые и глинистые	Почва сухая. Ко- мок в руке формируется плохо. Шарик не формируется и при попытке сделать шнур рассыпается	Почва слегка влаж- ная. Комок формируется прочный. Шарик фор- мируется прочный. При раскатывании шарика шнура не полу- чается	Почва влажная. Комок прочный. Ша- рик прочный. При раскатывании шарика получаются ко- роткие шнуры	Почва сырая, комок мокрый, хорошо ле- пится. Шарик хоро- ший, прочный. Шнур длинный, прочный
Черноземы сред- ние суглинистые	Слегка влажная. Комок формируется хо- рошо. Шарик фор- муется также хоро- шо. При раскатыва- нии шарика шнура не получается	Влажная. Комок формируется прочный. При раскатывании шарика образуются короткие шнуры	Почва сырая. Ко- мок хорошо лепится. Шарик хорошо ле- пится. При раскаты- вании шарика полу- чается длинный шнур	Почва мокрая, ма- жется. Комок хоро- шо лепится. Шарик хорошо лепится. Шнур длинный, ус- тойчивый
Черноземы лег- косуглинистые и суглинистые	Влажная. Комок хорошо формируется. Шарик формируется при надавливании легко рассыпается	Сырая. Комок проч- ный. Шарик фор- муется, но при на- давлении легко рассыпается. При рас- катывании шарика шнур образуется с трудом и очень ко- роткий	Мокрая. Комок ле- пится. Шарик ле- пится. Шнур полу- чается длинным, но мало устойчивым, легко разбивается на короткие шнуры	Почва течет и про- сачивается между пальцами

Типы и механический состав почвы	Влажность почвы около 15%	Влажность почвы 15—20%	Влажность почвы 20—25%	Влажность почвы 25—30%
Серозем, легкий суглинок	Почва сухая. Комок не формируется при сдавливании рассыпается	Почва слегка влажная, комок в руке формируется, при сдавливании рассыпается	Почва влажная. Комок формируется, шарик и шнуры скатываются	Почва сырая. Комок формируется, шарик и шнуры не лепятся
Темнокаштановая почва, тяжелый суглинок	Почва сухая. Комок не формируется, рассыпается	Почва слегка влажная. Комок в руке формируется, шарик и шнуры рассыпаются	Почва слегка влажная. Комок формируется хорошо, шнуры и шарик рассыпаются	Почва влажная, комок формируется хорошо, шарик прочный, шнуры раскатываются длинные

Глава III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО, УДЕЛЬНОГО ВЕСОВ И СКВАЖНОСТИ ПОЧВЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА ПОЧВЫ

Объемным весом почвы называют вес единицы ее объема. Он выражается тремя показателями:

1) объемным весом твердой фазы почвы (определяется делением веса сухой почвы на объем, занимаемый ей в момент взятия образца);

2) объемным весом почвы при естественной влажности (частное от деления веса почвы, обладающей естественной влажностью, на объем ее при этом);

3) объемным весом сухой почвы (отношение веса сухой почвы к объему этой же почвы в сухом состоянии).

Значения объемного веса твердой фазы (Δ) и объемного веса при естественной влажности (Δ_w) связаны между собой через влажность (W):

$$\Delta = \frac{\Delta_w \cdot 100}{100 + W} \text{ г/см}^3.$$

Значения же объемного веса сухой почвы (Δ_0) и объемного веса твердой фазы почвы связываются между собой через показатели объемной усадки или набухаемости почвы.

В мелиоративной практике чаще всего определяют объемный вес твердой фазы почвы, обычно называемый объемным весом почвы.

Метод режущего кольца

Этот метод применяется для взятия проб на объемный вес из монолитов связанных почв. Пробы берут стальным кольцом диаметром 50—70 мм и высотой 20—30 мм при толщине стенок 1,5—2 мм. Нижний обрез кольца с внешней стороны заточен.

Для взятия пробы кольцо ставят на поверхность монолита. Слегка нажимая на кольцо левой рукой, ножом вырезают столбик почвы по внешнему диаметру кольца. При этом кольцо постепенно насаживают на этот столбик по мере его формирования. Вырезку столбика почвы и насаживание на него кольца продолжают до тех пор, пока столбик не выступит на несколько миллиметров над верхним обрезом кольца. После этого столбик в кольце отделяют от монолита подрезкой. При подрезке необходимо оставить некоторый избыток почвы снизу кольца. Затем выступающую из кольца сверху и снизу почву срезают ножом, почву из кольца извлекают на бумагу, с которой переносят в алюминиевые бюксы для высушивания и взвешивания. Объемный вес определяют делением веса сухой почвы на объем кольца.

Вместо высушивания всего образца почвы, заключающегося в кольце, можно определить объемный вес почвы при естественной влажности и пересчитать его на объемный вес твердой фазы, предварительно определив влажность почвы. Объемный вес почвы при естественной влажности находят делением веса почвы, извлеченной из кольца, на его объем. Для определения влажности используют навеску этой почвы.

Метод цилиндров

Применяется для несвязных (песчаных) почв, образцы из которых нельзя взять кольцом. Берут два латунных цилиндра (диаметр — 5 см, высота—8 см) и определяют их объем и вес. Один цилиндр загружают почвой рыхло, без уплотнения, а другой плотно, с трамбовкой через каждые 2—3 см. Там, где позволяют условия, желательно иметь третий цилиндр с почвой ненарушенного сложения. После заполнения цилиндры взвешивают, а затем определяют влажность взятой для опыта почвы и таким образом вычисляют вес сухой почвы, загруженной в каждый цилиндр.

Вычисление веса сухой почвы в цилиндре (m) производят по следующей формуле:

$$m = \frac{100 m_c}{100 + W} \text{ г},$$

где m_c — вес взятой сырой почвы в объеме цилиндра (в г);
 W — процент влажности почвы, вычисленный на сухую почву.

Сухой вес почвы в цилиндре может быть определен также путем высушивания в термостате всего цилиндра до постоянного веса, следовательно, без отдельного определения влажности.

Результаты определения записывают по следующей форме (см. стр. 76).

Взятие проб почвы из шурфов для определения объемного веса ее

Пробы почвы для определения объемного веса берут буриком (т. е. тонким, заостренным снизу стальным цилиндром). Вырезают определенный объем почвы (без нарушения ее строения), которую извлекают из бурика на бумагу, доставляют в лабораторию, где и определяют вес высушенной почвы. Из каждого горизонта почвы берут по три пробы. Целесообразно все три пробы завернуть в общий сверток и сверху надписать горизонты взятия проб и номер разреза.

Для взятия проб можно применять цилиндрический бурик объемом 100 см^3 (или 200 см^3), высотой 40 мм, с диаметром режущей части 56,4 мм (или соответственно 50,0 и 71,3 мм). В нижней части стенки бурика заострены, а внутренний диаметр верхней части бурика несколько больше (на 1 мм), чем диаметр режущей части. Переход от одной части бурика к другой резкий — порошком (рис. 7,а). Бурик должен быть изготовлен из хорошей стали.

Пробы берут в следующем порядке. На стенке вырытого шурфа намечают глубины, с которых будут взяты пробы. На этих глубинах делают горизонтальные площадки, в которые врезают бурик. Обычно определение объемного веса почвы проводят по каждому генетическому горизонту, а при большой его мощности — и в нескольких местах горизонта (через 20—30 см). Взятие проб начинают со дна разреза, так как впоследствии оно засыпается почвой.

Для лучшего врезания бурика в почву применяют оголовок, который представляет собой стальное кольцо небольшой высоты (2—3 см). Внутренний диаметр нижней его части на 0,5 мм больше внешнего диаметра бурика, а в верхней части внутренние диаметры их равны.

В оголовке переход от одного диаметра к другому резкий — порошком. Оголовок должен легко и даже с некоторым люфтом (зазором) надеваться на верхнюю часть бурика.

Условия опыта	
№ цилиндра	
Диаметр цилиндра (в см)	
Высота цилиндра (в см)	
Площадь основания (в см ²)	
Объем цилиндра (в см ³)	
Вес цилиндра (в г)	
Вес сырой почвы (в г)	
Влажность почвы (в % к весу сухой почвы)	
Вес сухой почвы (в г)	
Объемный вес поч- вы (в г/см ³)	

Бурик с надетым на него оголовком ставят на защищенную поверхность того или иного слоя почвы, поверх оголовка кладут небольшую дощечку и вертикальным нажимом вгоняют бурик в почву так, чтобы верхняя его часть на 1,0—1,5 см была врезана в почву.

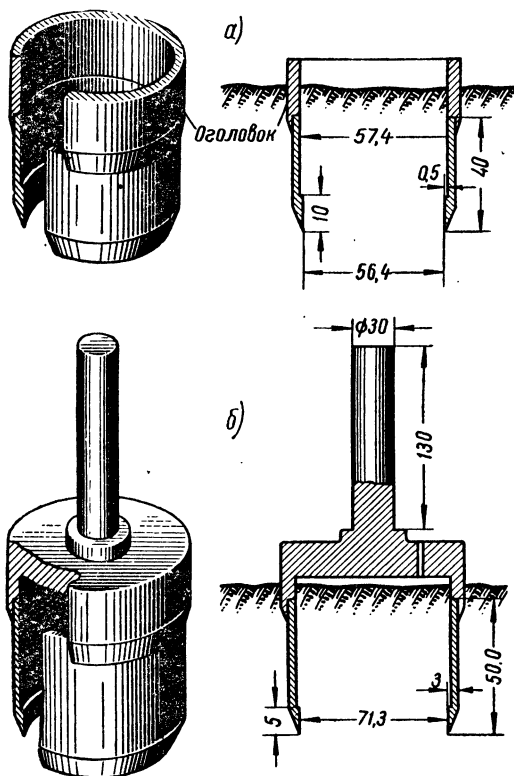


Рис. 7. Бурик и приспособления для врезания его в почву:

а—бурик; б—бурик с рукояткой.

Иногда оголовки делают с крышкой и ручкой (рис. 7,б). Такой прибор называют рукояткой для врезания буриков. Для врезания в плотную почву иногда бывает необходимо вогнать бурик несколькими ударами деревянного молотка.

После того как все бурики врезаны в данный слой почвы, вырезают их из почвы ножом, очищают внешнюю по-

верхность буриков от приставшей почвы, острым и широким ножом срезают излишки почвы с верхней и нижней частей буриков так, чтобы в буриках остались строго определенные объемы почвы, и затем извлекают почвенные пробы на бумагу.

Недостатком этого метода является возможность возникновения пристенных зазоров вследствие перекосов бурика при заглублении его в почву. Поэтому необходимо следить за строго вертикальным направлением врезаемого бурика. В случае больших зазоров между почвой и буриком некоторые образцы следует выбраковывать и снова вырезать образец почвы.

Образцы тщательно завертывают в плотную бумагу и доставляют в лабораторию. Здесь проверяют сохранность как самих образцов, так и находящихся при них этикеток.

Для определения объемного веса почвы образец взвешивают с точностью до 0,1 г (m_c), затем размельчают, перемешивают и берут две-три пробы по 15—20 г в обычные алюминиевые бюксы и в них определяют влажность (W).

Объемный вес твердой фазы почвы рассчитывают по зависимости:

$$\Delta = \frac{m_c \cdot 100}{V(100 + W)} \text{ г/см}^3,$$

где V — объем бурика (в см^3).

Расхождения между параллельными определениями объемного веса не должны превышать 0,02 г/см³.

Значение объемного веса почвы обычно варьирует в следующих пределах: объемный вес почвы пахотного слоя колеблется от 0,90 до 1,20 г/см³ (в среднем 1,10). С глубиной объемный вес почвы возрастает до 1,40—1,60, а в уплотненных горизонтах почв до 1,80 г/см³.

Следует иметь в виду, что получаемые таким образом значения объемного веса почв, способных набухать (глинистые, суглинистые), справедливы лишь для тех величин полевой влажности, которыми характеризовались исследуемые горизонты в момент взятия образцов. Поэтому, говоря о тех или иных значениях объемного веса глинистых и суглинистых почв, необходимо приводить данные о полевой влажности почв, для которых справедливы эти значения.

В поле основные записи заносятся в этикетки, которые завертывают в плотную оберточную бумагу вместе с поч-

венными образцами. На этикетке записывают: номер разреза, глубину и дату взятия образца, объем бурика и фамилию почвовед, берущего пробы.

В некоторых случаях целесообразно непосредственно в поле производить взвешивание образцов почвы, извлекаемых из буриков, а в лабораторию отправлять пробы для определения влажности. Для взвешивания в поле пригодны так называемые «аптекарские» («роговые») весы с разборной подставкой.

Определение объемного веса и влажности почвы плотномером-влажномером УкрдОРНИИ

Действие прибора основано на принципе гидростатического взвешивания. Он состоит из следующих частей: латунного поплавка с трубкой; латунного сосуда, подвешиваемого к поплавку так, что между ними остается небольшой зазор; грунтоноса — стального цилиндра, в который берется образец почвы емкостью 200 см^3 , с режущим краем; ведра-футляра, в которое при определении наливается вода и погружается поплавок или поплавки вместе с подвешенным к нему сосудом. Исследуемая почва в первом случае помещается внутри поплавка, во втором — в сосуде. Кроме того, к прибору прилагаются: воронка для перенесения испытуемого образца почвы внутрь поплавка (через трубку поплавка) и длинный нож, употребляемый для срезания излишка почвы в грунтоносе по его основаниям и для разравнивания образца почвы внутри поплавка.

Если внутри поплавка, находящегося в воде, поместить определенный объем почвы естественной влажности (200 см^3), то поплавок дополнительно погрузится в воду, вытесняя ее пропорционально весу почвы. Это позволяет определить вес испытуемого образца почвы и установить величину его объемного веса при естественной влажности. Для определения объемного веса твердой фазы почвы испытуемый образец переносят в латунный сосуд, который прикрепляют к поплавку и погружают в воду. Величина объема дополнительно вытесняемой воды определяется весом твердой фазы почвы (так как она находится в воде) и частично значением удельного веса ее¹. Таким образом находится объемный вес твердой фазы почвы. Зная же объемный вес почвы

¹ Значение удельного веса учтено на шкалах поплавка «ч», «п», «г» (см. ниже).

при естественной влажности и объемный вес самой твердой фазы ее, можно рассчитать влажность почвы.

На трубке поплавка имеется шкала с пометкой «Вл» для измерения объемного веса почвы естественной влажности

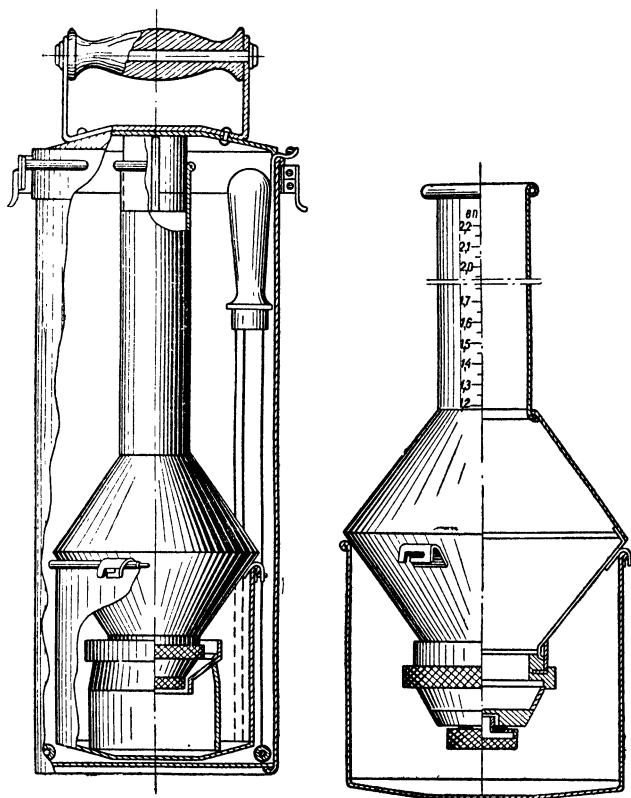


Рис. 8. Влагомер-плотномер УкрДОРНИИ.

и три шкалы с пометками «ч», «п», «г» для определения объемного веса твердой фазы почвы с удельным весом 2,60 («ч» — чернозем, гумусированный суглинок), 2,65 («п» — песок) и 2,70 («г» — глинистый грунт).

Ход определения. Для определения объемного веса почвы естественной влажности пробу ее из грунтоноса переносят с помощью ножа и воронки в поплавок. Поплавок (без подвесного сосуда) погружают в ведро-футляр, в кото-

ром имеется вода. Распределяя пожом почву внутри поплавка, придают трубке поплавок вертикальное положение. По шкале «Вл» на уровне воды отсчитывают значение объемного веса почвы естественной влажности.

Для определения объемного веса твердой фазы почвы пробу ее из поплавок переносят в сосуд, в который предварительно наливают воду из расчета $\frac{4}{5}$ емкости его и размешивают пробу в воде. После этого сосуд прикрепляют к поплавку и вместе с ним погружают в ведро-футляр. Когда вода заполнит весь сосуд, через зазор между поплавком и сосудом на одной из шкал «ч», «п», «г» отсчитывают на уровне воды значение объемного веса твердой фазы почвы.

Влажность вычисляют по формуле:

$$W = \frac{\Delta_w - \Delta}{\Delta} 100\%,$$

где Δ_w —объемный вес почвы естественной влажности;

Δ —объемный вес твердой фазы почвы;

W —влажность в процентах к весу сухой почвы.

Точность определения объемного веса почвы естественной влажности не менее 0,01 г/см³, а объемного веса твердой фазы—0,02 г/см³.

Этим методом рационально пользоваться для определения объемного веса почвы в полевых условиях.

Определение объемного веса почвы методом парафинирования

Этот способ пригоден для определения объемного веса комков почвы, чего не обеспечивают вышеописанные методы. Комок почвы продуванием освобождают от частиц, не связанных с ним. Затем от комка отрезают или отламывают часть и взвешивают для определения влажности. Оставшуюся часть также взвешивают, обвязывают тонкой ниткой и погружают в расплавленный парафин. Запарафинированный образец взвешивают сначала в воздухе, а затем в воде. После взвешивания в воде парафинированный образец вытирают фильтровальной бумагой и снова взвешивают без воды (контроль — не поступила ли вода в поры почвы). Если вес комка равен первоначальному весу, то можно вычислять объемный вес взятого образца.

Вес парафина $q = q_2 - q_1$, где q_2 — вес образца запарафинированного, а q_1 — незапарафинированного.

Вес вытесненной воды или объем образца с парафином

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = q_2 - q_3,$$

где q_3 —вес образца в воде.

Объем парафина

$$V_n = \frac{q}{\rho_n},$$

где ρ_n —удельный вес парафина, равный 0,89.

Объем образца без парафина

$$V_{q_1} = V_{\text{H}_2\text{O}} - V_n.$$

Объемный вес

$$\Delta = \frac{q_1 100}{(100 + W) V_{q_1}} \text{ г/см}^3,$$

где W — влажность образца в процентах к весу сухой почвы. Расхождения между результатами параллельных определений не должны превышать 0,02 г/см³.

Определение объемного веса почвы методом вытеснения ртути

Для определения объема почвенных образцов любой формы Д. И. Сидери предложил весьма простой прибор (рис. 9), который представляет собой цилиндрическую трубку длиной 10 см и диаметром 5 см. Нижний конец трубки вытянут и коленчато изогнут. Верхнее отверстие трубки закрывается резиновой пробкой до черты, нанесенной на пробке. Через пробку вставлена стеклянная трубочка диаметром 2—3 мм с нанесенной на ней меткой. Нижний конец трубки соединен резиновой трубкой с бюреткой. Прибор заполняют ртутью до отметки на стеклянной трубочке, вставленной в пробку, и отмечают уровень ртути в бюретке. Перед измерением объема почвы бюретку опускают и в освобождающуюся от ртути часть цилиндра помещают образец почвы. Поднятием бюретки ртуть снова доводят до прежней черты на трубочке и отмечают уровень ртути в бюретке (по верхнему мениску). Разность между найденными уровнями дает объем почвенного образца. При исследовании мало связных почв следует фиксировать образец почвы коллодием. При осторожном однократном погружении в кол-

лодий комка почвы (заранее взвешенного) образуется очень тонкая пленка, обволакивающая комок и препятствующая проникновению ртути в поры. Увеличение объема почвы за

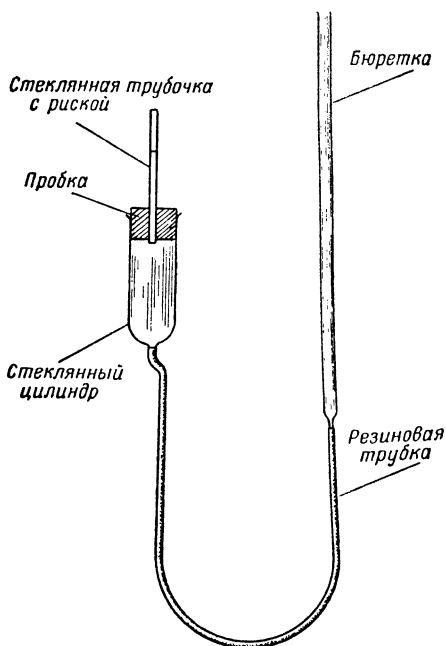


Рис. 9. Объемометр Д. И. Сидери.

счет образования пленки, ввиду незначительного ее размера, можно не принимать во внимание.

Для макропористых и трещиноватых комков почвы этот метод не применим.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ВЕСА ПОЧВЫ

Под удельным весом почвы понимают отношение веса твердой фазы почвы к объему этой фазы, который принимают равным объему воды или инертной жидкости, вытесняемому сухой почвой.

Удельный вес почвы зависит от ее минералогического состава и количества находящихся в ней органических веществ. Чем больше почва содержит гумуса и вообще орга-

нических остатков, тем удельный вес ее меньше, и наоборот, чем больше в почве минеральных веществ и чем выше их удельный вес, тем удельный вес почвы больше.

Ход определения. Воздушносухую почву, просеянную через миллиметровое сито, рассыпают тонким слоем на листке бумаги. Берут среднюю пробу 10—15 г, помещают ее в стеклянный бюкс и высушивают в термостате до постоянного веса при 105°. Затем наполняют пикнометр дистиллированной водой и погружают в кристаллизатор с водой, в котором оставляют до тех пор (15—20 мин.), пока сравняется температура воды в кристаллизаторе и в пикнометре.

Вынув пикнометр из кристаллизатора, его обсушивают фильтровальной бумагой и взвешивают. Записав температуру воды и вес пикнометра с водой, выливают из него приблизительно половину объема воды и через сухую воронку вносят в пикнометр высушенную в бюксе навеску почвы, насыпая ее постепенно по стенке воронки. Оставшуюся на воронке пылеватую часть почвы смывают в пикнометр небольшим количеством воды. Бюкс, в котором находилась взятая навеска почвы для определения удельного веса, взвешивают и разность между весом бюкса с остатками почвы и тарой бюкса вычитают из общей навески, взятой для определения удельного веса почвы. Полученный вес почвы и является расчетной навеской при определении удельного веса.

Пикнометр с почвой и водой кипятят в течение получаса для удаления воздуха из почвы. После кипячения пикнометр охлаждают, доливают водой до прежнего объема и ставят в кристаллизатор на 15—20 мин. При этом нужно следить, чтобы первоначальная температура пикнометра с водой была одинаковой с температурой пикнометра с водой и почвой. Когда температура установится, доливают пикнометр водой и затем, вынув его из воды, тщательно обтирают фильтровальной бумагой и взвешивают. Удельный вес почвы определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{A + m - B} \text{ г/см}^3,$$

где ρ — удельный вес почвы;

m — навеска сухой почвы (в г);

A — вес пикнометра с водой (в г);

B — вес пикнометра, почвы и воды (в г).

Форма записи результатов

№ пикно-метра	Навеска сухой почвы (в г)	Вес пикнометра с водой при t° (в г)	Вес пикнометра с водой и почвой при t° (в г)	Удельный вес почвы (в г/см ³)

Результаты определения удельного веса считаются хорошими, если разность между значениями параллельных определений не превышает 0,02 г/см³.

При определении удельного веса суглинистых и глинистых почв вышеописанным методом не всегда удается получить точные данные. Объясняется это тем, что почва, представляющая гидрофильное тело, сильно адсорбирует воду, в результате чего происходит сжатие системы почва + вода. В силу сжатия почвы получается меньший объем ее, что влечет за собой преувеличенные значения удельного веса почвы. Чем большей удельной поверхностью обладает почва, тем больше ее адсорбционная способность. Поэтому удельный вес, определенный в воде для суглинистых, глинистых почв и для почв, богатых органическими веществами, по сравнению с удельным весом, определенным в инертной жидкости оказывается преувеличенным. Значение же удельного веса песчаных почв или песков, имеющих незначительную удельную поверхность, определенное в воде, соответствует величинам удельного веса, определенного в инертных жидкостях.

Для точного определения удельного веса суглинистой и глинистой почвы необходимо брать жидкость, хорошо смачивающую почву и в то же время обладающую незначительной адсорбционной способностью (керосин, бензин, бензол и другие неполярные жидкости). Удельный вес почвы в неполярных жидкостях определяют так же, как и в воде, но только для удаления воздуха вместо кипячения почвы пикнометр с почвой и жидкостью ставят в вакуум-аппарат. После удаления воздуха пикнометр с почвой и жидкостью взвешивают. Во время взвешивания нужно соблюдать тождественность температур пикнометра с жидкостью и пикномера с почвой и жидкостью.

Удельный вес вычисляют по следующей формуле:

$$\rho = \frac{m\rho_0}{m + A - B},$$

где m — навеска, A — вес пикнометра с жидкостью, B — вес пикнометра + почва + жидкость, ρ_0 — удельный вес жидкости.

Удельный вес почв, в которых имеются значительные количества воднорастворимых солей, также необходимо определять в инертных жидкостях.

РАСЧЕТ СКВАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Скважность, или пористость (порозность), почвы — это суммарный объем пустот, заключенных в единице объема почвы. Она зависит от механического, агрегатного состава и структуры почвы, от формы почвенных частиц, плотности их упаковки, пронизывания почвы корнями растений, червоточинами и др. На скважности почвы сказываются процессы набухания и усадки.

Скважность почвы (P) вычисляется по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{\Delta}{\rho} \right) 100\%,$$

где Δ — объемный вес твердой фазы, а ρ — удельный вес почвы.

Иногда скважность выражают отношением суммарного объема пустот к объему твердой фазы почвы — так называемая приведенная скважность $P_{пр}$, которую вычисляют по зависимости

$$P_{пр} = \frac{P}{100 - P}.$$

Полученные таким образом показатели скважности для почв набухающих (суглинистые, глинистые) соответствуют тем ее значениям, которые имела почва в момент взятия образца для определения объемного веса.

Часть скважности почвы, представленную порами размером более 3 микронов, по которым может перемещаться гравитационная и капиллярная вода, называют активной пористостью. Активную пористость можно определить методом отсасывания воды из водонасыщенных образцов почвы. Она равна объему воды, который отдает водонасыщенная почва при разрежении 0,8—0,9 атмосферы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ ПОЧВЕННЫХ ПОР¹

Распределение почвенных пор по их размерам, обусловленное размерами и взаимным расположением структурных отдельностей почвы, ее микроагрегатов и элементов механического состава, является одним из основных показателей, характеризующих условия передвижения воды в почве. В отличие от механического состава, остающегося относительно постоянным в течение длительных периодов времени, структурный (макроагрегатный) состав и микроагрегатный состав почвы подвержены значительным изменениям, которые сказываются на водно-воздушном режиме почвы, так как пористость почвы при этом изменяется и количественно и качественно. При изучении водного режима почвы необходимо знать не только механический, микроагрегатный и макроагрегатный состав почвы и ее общую скважность, но и распределение почвенных пор по их динамически деятельным размерам.

Для подразделения почвенных пор по их величине можно воспользоваться зависимостью между диаметром пор и капиллярным натяжением, удерживающим воду в порах. Эта зависимость выражается следующими уравнениями, применяемыми для гидрофильных капилляров:

$$H = \frac{4\sigma}{\rho g d} \quad (\text{формула Жюрена})$$

или

$$H = \frac{a^2}{r} = \frac{2a^2}{d} \quad (\text{уравнение Бехгольда}),$$

где H — капиллярное натяжение, измеряемое в сантиметрах водяного столба; d и r — диаметр и радиус капилляра, σ — поверхностное натяжение воды, ρ — плотность воды, g — ускорение силы тяжести, $a^2 = Hr$ — постоянная капиллярности воды. При температуре около 20° и при условии, что значения H и d выражены в сантиметрах, эти уравнения дают одно и то же выражение:

$$H = \frac{0,3}{d}, \quad \text{или} \quad d = \frac{0,3}{H}.$$

В связи с тем, что приведенное уравнение справедливо только для цилиндрических капилляров, а почвенные поры имеют неправильную форму, вычисленный по этому уравнению диаметр почвенных пор называется «эффективным»,

¹ Раздел составлен при участии О. В. Шаповаловой.

или «эквивалентным», диаметром. Это значит, что почвенные поры неправильной формы по их водоудерживающей силе соответствуют цилиндрическим капиллярам данного диаметра.

Пользуясь этим уравнением, можно получить характер распределения почвенных пор по величине их эквивалентного диаметра, определив капиллярное натяжение (H), соответствующее различному содержанию воды в почве. Наиболее прямым и доступным методом является метод отсасывания воды через тонкопористую мембрану из насыщенных водой почвенных образцов, взятых с ненарушенной структурой, при последовательном увеличении натяжения водяного столба или разрежения (вакуума), которые принимаются равными капиллярному натяжению (H).

Эквивалентные диаметры пор, соответствующие различным значениям натяжения или разрежения (H), вычисляются по приведенному выше уравнению, которое при температуре около 20° получает вид:

$$d = \frac{3}{H},$$

при условии, что H выражается в сантиметрах водяного столба, а d — в миллиметрах, или же, что H выражается в долях атмосферы, а d в микронах.

Для подразделения по величине почвенных пор с эквивалентным диаметром больше 15 μ , путем отсасывания из них воды натяжением водяного столба, может быть использован капилляриметр Фишера (рис. 10). Этот прибор состоит из стеклянной воронки (1) с тонкопористой мембраной и мерной бюретки (2) емкостью 50 мл, которая соединена резиновыми трубками длиной около 2,5 м каждая с воронкой и сосудом (3) для подачи воды в капилляриметр. Воронка, бюретка и сосуд могут быть выключены кранами или зажимами. Они устанавливаются на штативах, причем воронка и сосуд закрепляются на постоянной высоте, а бюретка может быть поднята или опущена.

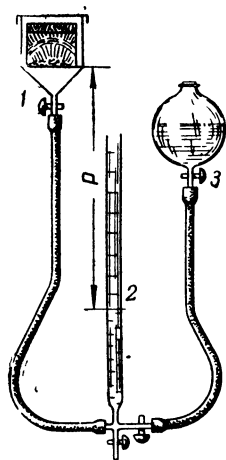


Рис 10 Капилляриметр Фишера

При проведении исследований прибор заполняют прокипяченной водой и устанавливают бюретку на такой высоте, чтобы разность уровней поверхности мембраны и зеркала воды в бюретке (P) была равна нужному значению капиллярного натяжения, выраженному в сантиметрах водяного столба. Затем накладывают на мембрану образец почвы с ненарушенной структурой, взятый специальным цилиндром объемом около 100 см^3 (диаметром и высотой около 5 см). Исследуемый образец должен быть предварительно насыщен водой и взвешен. При его взятии и подготовке необходимо помнить, что между почвой и мембраной должен быть надежный контакт. Насыщение почвенного образца можно производить на мембране капилляриметра, для чего следует поднять бюретку так, чтобы уровень воды в ней был выше поверхности мембраны, и выдержать образец при отсутствии натяжения воды в приборе до постоянного или мало изменяющегося веса (обычно для этого требуется 1—2 суток). При понижении бюретки в приборе создается обусловленное весом столба воды растягивающее напряжение или натяжение, под действием которого почвенный образец отдает часть воды и уровень воды в бюретке повышается. Поддерживая все время нужную разность уровней, оставляют почвенный образец на мембране до тех пор, пока он не перестанет отдавать воду, т. е. до установления равновесия между весом столба воды и капиллярным натяжением, удерживающим воду в почвенных порах. Крупные поры освобождаются быстрее, и равновесие наступает через 2—3 часа; для более мелких пор требуется большая продолжительность отсасывания (до суток). Объем освободившихся от воды почвенных пор определяется по уменьшению веса почвенного образца, а эквивалентные диаметры пор — по соответствующим значениям натяжения, измеряемого разностью уровней (P). Так, например, при изменении натяжения от 0,03 до 0,1 атмосферы, т. е. при увеличении разности уровней от 30 до 100 см, освобождаются от воды почвенные поры с эквивалентным диаметром от 100 до 30 μ .

Последовательно увеличивая всасывающее напряжение, т. е. понижая зеркало воды в бюретке так, чтобы разность уровней получала все большие значения, например, 15, 30, 60 и 150 см, определяют каждый раз после установления равновесия объем освободившихся от воды почвенных пор по изменению веса образца. Можно при этом взвешивать образец, снимая его с мембраны, или же, оставляя его на мем-

бране, взвешивать воронку с образцом (для чего к ней можно резиновым кольцом прикрепить ручку из проволоки). По окончании определений почвенный образец высушивают в термостате при 105° для определения объема пор, оставшихся заполненными водой. Таким образом, получают данные для подразделения почвенных пор по их эффективным размерам.

Эквивалентные поры	Группы	I	II	III	IV	V
	Ширина в свету, мм	$< 0,02$	$0,02 - 0,05$	$0,05 - 0,10$	$0,10 - 0,20$	$> 0,20$
% от объема пор, заполненного при насыщении		23,0	32,0	31,5	11,5	2,0

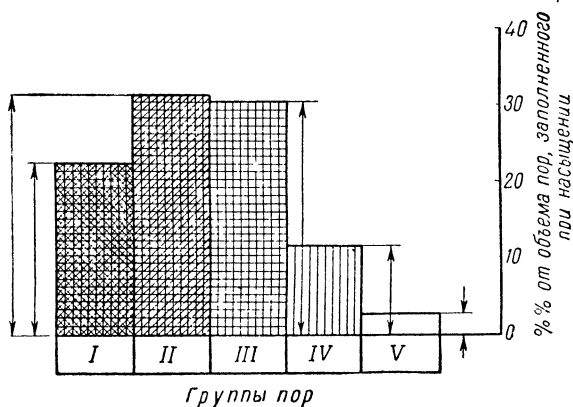


Рис. 11 Графическое изображение распределения почвенных пор по Донату.

Объемы отдельных групп почвенных пор могут быть выражены в процентах от объема почвы, от общего объема всех пор (скважности) или объема пор, заполненных при насыщении. Пример графического изображения распределения почвенных пор приведен на рисунке 11.

Так как разность уровней больше 200 см практически трудно осуществить, фишеровский капилляриметр можно рекомендовать только для подразделения относительно крупных почвенных пор (с эквивалентным диаметром больше 15μ). Определение эффективных размеров почвенных

пор с эквивалентным диаметром больше 3μ может быть произведено прибором для отсасывания воды через тонкопористые мембраны конструкции О. В. Шаповаловой (рис. 12).

В отличие от фишеровского капилляриметра, представляющего собой как бы «модель грунтовых вод», в этом приборе отсасывание воды из почвенных образцов обусловлено разрежением, которое создается насосом и контролируется ртутным манометром.

Прибор позволяет параллельно исследовать несколько почвенных образцов. Он состоит из бюхнеровских воронок с вложенными в них тонкопористыми мембранами (бактериологическими ультрафильтрами), соединенных с измерительными



Рис. 12. Вакуум-капилляриметр ВНИИГиМ.

(титровальными) бюретками емкостью по 50 мл (1, 2 и 3). Бюретки имеют внизу краны или резиновые патрубки с зажимами для опорожнения, а наверху — отростки, служащие для присоединения к вакуум-сосуду (4), к которому присоединен также ртутный манометр (5).

Между вакуум-сосудом (4) и насосом (7) вставлен трехходовой кран (6), которым всасывающий патрубок насоса может быть соединен с прибором (при включении насоса) или наружным воздухом (при выключении насоса). Все соединения должны быть строго герметичны, соединительные резиновые трубки хорошо подобраны, а стеклянные краны смазаны вазелином. Таким образом, в приборе может быть создано разрежение, достигающее почти 1 атмосферы, вследствие которого вода из почвенных образцов через

мембраны поступает в мерные бюретки. При соединении фильтров с бюретками рекомендуется вставлять в воронки снизу полоски фильтровальной бумаги, предупреждающие скопление воды в воронках. Для предотвращения испарения с наружной поверхности мембран и из почвы воронки накрывают специальными крышками или колпаками.

Объем почвенных пор, освободившихся от воды вследствие созданного в приборе разрежения, может быть определен двумя способами — по разности конечных и начальных уровней воды в мерных бюретках и взвешиванием почвенных образцов, причем второй способ является контрольным. В связи с тем, что снимать почву с мембран в процессе исследования нежелательно, взвешивание почвенных образцов рекомендуется производить перед их установкой на фильтры и после отсасывания из них воды при наибольшем значении разрежения.

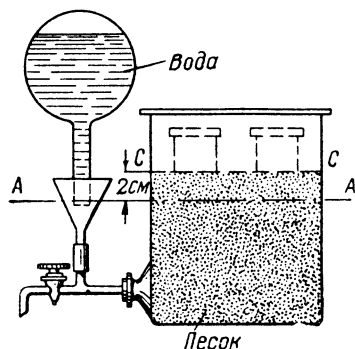


Рис. 13. Прибор для насыщения почвенных образцов водой.

Насыщение почвенных образцов с ненарушенной структурой, взятых латунными цилиндрами емкостью около 100 см^3 (высотой и диаметром около 5 см), производится в специальном сосуде с песком. Уровень воды в этом сосуде поддерживают на 2 см ниже поверхности песка с помощью мариоттовского сосуда, представляющего собой тонкогорлую колбу, опрокинутую в стеклянную воронку, которая сообщается с сосудом для насыщения образцов (рис. 13).

Почвенные образцы берут, погружая (врезая) цилиндры в почву путем надавливания на их верхний край, и, закрыв их сверху крышками, подрезают под ними почву с небольшим запасом. У взятого цилиндром образца с нижней стороны осторожно срезают лишнюю почву, стараясь обеспечить хороший контакт образцов с мембранами и сохранить, по возможности, естественное распределение пор в разрезе. Образцы устанавливают для насыщения водой на влажную поверхность песка, не вынимая их из цилиндров и подложив под каждый из них прокладки из фильтровальной

бумаги. В таком положении почвенные образцы насыщаются капиллярно в течение 2—3 суток до установления постоянного или мало изменяющегося веса.

Затем подготавливают прибор, устанавливая его сперва на первую ступень всасывающего напряжения (например, 0,05 атмосферы), для чего наливают на мембраны тонкий слой воды, приводят в действие насос и выключают его, когда разность уровней ртути в трубках манометра достигает 37 мм. Вода под действием разности давлений просачивается через фильтры в бюретки, после чего отсчеты по нижнему мениску установившихся уровней воды в бюретках записывают как исходные. Насыщенные образцы в цилиндрах, закрытых сверху крышками, взвешивают и накладывают нижними срезами на мембраны, причем обращают внимание на то, чтобы почва плотно прилегала к мембранам.

При разрежении 0,05 атмосферы от воды освобождаются почвенные поры с эквивалентным диаметром больше 60 μ и удаляемая из них через мембраны вода поступает в бюретки. Отсчеты, служащие для определения объемов освобожденных от воды почвенных пор с эквивалентным диаметром больше 60 μ по увеличению объема воды в бюретках, делают через каждый час, пока уровни воды в бюретках не установятся, что достигается обычно через несколько часов. Значения этих объемов, полученные путем вычитания начальных отсчетов из конечных, можно проверить взвешиванием образцов, однако в таких промежуточных проверках, как правило, нет необходимости.

Для определения объемов следующей группы почвенных пор устанавливают вторую ступень всасывающего напряжения, например 0,1 атмосферы, или 74 мм ртутного столба, и продолжают наблюдения за повышением уровней воды в бюретках.

После установления постоянных уровней в бюретках по разности исходных и конечных отсчетов при разрежении 0,1 атмосферы находят объем пор с эквивалентным диаметром от 60 до 30 μ .

Таким же образом при вакууме 0,3 атмосферы (222 мм ртутного столба) определяется объем пор с эквивалентным диаметром от 30 до 10 μ и при вакууме около 1 атмосферы (например, 0,95 атмосферы, или 700 мм ртутного столба) объем пор с эквивалентным диаметром от 10 до 3 μ .

Для определения объема пор с эквивалентным диаметром меньше 3 μ снятые с мембран и взвешенные почвенные пробы

высушивают в термостате при температуре 105° до постоянного веса¹.

Если объем каждой из почвенных проб равен 100 см³, то объемы почвенных пор, измеренные в кубических сантиметрах, являются также их процентным отношением к объему почвы.

Пример. Почва — суглинок; объем почвы — 100 см³; вес сухой почвы — 139,8 г; удельный вес почвы — 2,57; скважность, или пористость, почвы

$$P = 100 - \frac{139,8}{2,57} = 45,6\%.$$

Дифференциальная пористость определена путем отсасывания воды при разрежении 0,05; 0,10; 0,30; 0,95 атмосферы.

Результаты исследований представлены в таблице 24

Т а б л и ц а 24

Разрежение		Эквивалентный диаметр пор (в μ)	Объем пор (водотдача)	
в долях атмосферы	в мм ртутного столба		в см ³	в объемных процентах
0,05	38	> 60	2,1	2,1
0,10	76	60—30	3,9	3,9
0,30	228	30—10	8,9	8,9
0,95	722	10—3	11,5	11,5
		< 3	18,2 ¹	18,2
				44,6

Суммарный объем выделенных групп почвенных пор составляет 44,6%, в то время как скважность почвы равна 45,6%. Это расхождение объясняется тем, что при капиллярном насыщении образца почвы водой был заполнен не весь объем его пор. Поэтому объем пор первой группы (с эквивалентным диаметром больше 60 μ) получился преуменьшенным и должен быть исправлен, т. е. увеличен на 10% (45,6—44,6%).

Таким образом, получаются следующие окончательные результаты исследований:

¹ Вес почвы, снятой с прибора, 158,0 г, вес почвы после сушки 139,8 г, вес воды 18,2 г.

Эквивалентный диаметр пор (в μ)	Содержание пор (в объемных процентах)
>60	3,1
60—30	3,9
30—10	8,9
10—3	11,5
<3	18,2
	45,6

Для построения кривых, характеризующих распределение почвенных пор по их эффективным размерам, откладывают по оси абсцисс соответствующие принятым значениям разрежения эффек-

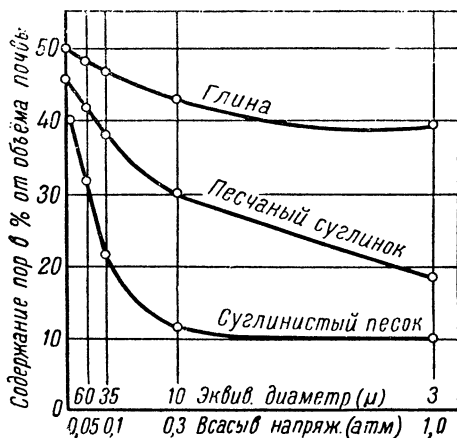


Рис. 14. Кривые, характеризующие распределение почвенных пор по эффективным размерам.

тивные или эквивалентные диаметры пор, а по оси ординат — содержание пор с эффективными размерами, не превышающие отложенные эффективные размеры. Например, отложив по оси абсцисс эквивалентный диаметр пор 60 μ , а по оси ординат соответствующее содержание пор с меньшими, чем 60 μ , эквивалентными диаметрами — 42,5% и продолжив до пересечения восстановленные из найденных точек перпендикуляры к осям ординат, получаем вторую точку кривой для суглинка (рис. 14); первая точка этой кривой находится на оси ординат и имеет ординату 45,6%, равную содержанию всех пор. Таким же образом по величине эквивалентного диаметра 30 μ и соответствующему содержанию пор 38,6% находим третью точку кривой, по эквивалентному диаметру 10 μ и содержанию пор 29,7% — четвертую точку и т. д.

Построенные аналогичным образом по результатам исследования с помощью капилляриметра кривые для глины и супеси показывают значительное различие в распределении пор у разных почв.

Глава IV

ПРЕДЕЛЬНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ ПОЧВЫ, МАКСИМАЛЬНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ И МАКСИМАЛЬНАЯ ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ ПОЧВЫ

ПРЕДЕЛЬНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ ПОЧВЫ

Способность почвы вмещать и удерживать в себе воду называется влагоемкостью почвы.

Под предельной влагоемкостью почвы понимают такое максимальное значение влажности ее, при котором вода удерживается почвой практически без стекания вниз. Таким образом, величина предельной влагоемкости является границей, позволяющей различать в почве воду неподвижную и воду, движущуюся под влиянием силы тяжести вниз, к уровню грунтовой воды. Определение конкретных величин предельной влагоемкости почвы имеет существенное значение в практике мелиорации. Зная предельную влагоемкость, можно вычислить нормы полива, при которых вода практически не будет просачиваться глубже расчетного увлажняемого слоя почвы (поливная норма $M_{\text{пол}} = W_{\text{пв}} - W_{\text{н}}$, где $W_{\text{пв}}$ — предельная влагоемкость расчетного слоя H , а $W_{\text{н}}$ — запас воды в почве перед поливом). По величине предельной влагоемкости рассчитывают промывные нормы засоленных почв (промывная норма $M_{\text{пром}} = W_{\text{пв}} - W_{\text{н}} + nW_{\text{пв}}$, где n — коэффициент, зависящий от степени засоления почвы и всех других условий промывки) и, наконец, величину водоотдачи ω переувлажненных почв определяют как $\omega = W_{\text{н}} - W_{\text{пв}}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ НАСЫПНЫХ КОЛОНН

Этот метод позволяет получать ориентировочные значения предельной влагоемкости исследуемого слоя данной почвы. В заготовленной для опыта почве предварительно определяют влажность и удельный вес почвы (последний может быть взят по справочным таблицам). Затем из отдель-

ных стеклянных колец диаметром 4—5 см и высотой 5—6 см, края которых пришлифованы, монтируют посредством склеивания полосками бумаги или резиновых колец, нарезанных из велосипедной камеры, колонну высотой около 30 см (рис. 15).

Нижний конец колонны обвязывают марлей. По высоте всей колонны наклеивают полоску миллиметровой бумаги. Объем колонны вычисляют по ее высоте и диаметру, полученные данные записывают в таблицу для вычисления результатов опыта.

Всю заготовленную для опыта почву взвешивают в коробке, а затем небольшими порциями без распыления и потерь с равномерным уплотнением загружают в колонну до высоты примерно 25 см. На наклеенной полоске из миллиметровой бумаги отмечают сверху слой почвы мощностью 15—20 см, для которого нужно определить предельную влагоемкость. Нижние же слои почвы служат для принятия воды, не удерживаемой исследуемым слоем почвы. Оставшуюся в коробке почву снова взвешивают и по разности между первым и вторым весом определяют количество почвы, взятое для заполнения колонны. Зная влажность взятой для опыта почвы, вычисляют вес сухой почвы и запас воды (A) в исследуемом слое почвы.

Вычислив по объемному и удельному весу скважность почвы, определяют суммарный объем пор в намеченном слое почвы (B). Тогда потребный объем воды для опыта будет равен $B - A$. Этот объем воды постепенно приливают на почву, поддерживая 2—3-сантиметровый слой воды на поверхности почвы. После этого верхний срез колонны накрывают стеклянной пластинкой для уменьшения испарения. Наблюдение за передвижением воды в колонне ведут до заметного потемнения почвы ниже отмеченного слоя. Из этого можно заключить, что изучаемый слой почвы удержал свойственное ему максимальное количество воды и сток ее в нижележащие слои закончился. Измерив глубину промачивания, определяют распределение воды по колонне.

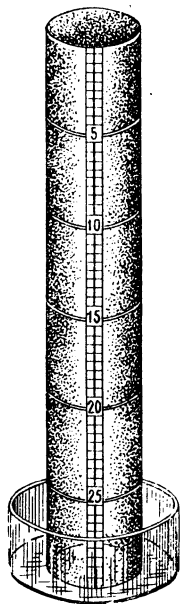


Рис. 15. Трубка из стеклянных колец.

Для этого колонну кладут горизонтально, разбирают ее на отдельные кольца, из каждого кольца, из верхней и нижней его половины, шпателем берут пробы на влажность. Результаты записывают по формам (см. стр. 99).

По полученным данным на миллиметровой бумаге строят график предельной влагоемкости, порозности и аэрации изучаемой почвы.

После составления таблиц и вычерчивания графика по приведенным формулам производится расчет:

величины поливной нормы для условий опыта,
величины промывной нормы,
величины водоотдачи почвы при исходной влажности,
соответствующей полной влагоемкости.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ МОНОЛИТОВ

Метод монолитов хотя и не воспроизводит полностью полевых условий, но во многих случаях позволяет довольно полно проследить ход изучаемого явления. В этом его преимущество перед полевым методом.

Для определения предельной влагоемкости слоя почвы мощностью 0,5—0,75 м применяют монолит от 1,5 до 2 м и более. Такой высокий монолит берут для того, чтобы избежать влияния капиллярной воды нижней части монолита на распределение влажности при состоянии предельной влагоемкости в исследуемом слое в случае, если поданная норма, смочив все вышележащие горизонты, опустится ниже и задержится на дне монолита. Тогда, в силу поверхностного натяжения, создается ток капиллярной воды, и величина предельной влагоемкости получается преувеличенной.

Другими существенными моментами являются площадь сечения и повторность взятия монолитов. Профиль естественного почвенного разреза никогда не бывает строго одинаковым в разных точках площади. Поэтому чем меньше площадь монолита, тем более случайный вариант может попасть в эксперимент. Следовательно, при выборе монолитов необходимо обращать особое внимание на типичность для данной площади выбранного монолита, на повторность (по крайней мере двойную или тройную) и, наконец, на площадь сечения монолита. Сечение, как минимум, должно быть 15×15 см. Желательно брать монолиты и больших размеров, но это создает технические неудобства. При взя-

Форма записи опыта определения предельной влагоемкости почвы

Мощность слоя почвы для определения предельной влагоемкости (в см)	Вес слоя почвы (в г)	Влаганосность почвы, взятой для опыта (в %)	Вес сухой почвы (в г)	Объем почвы в слое (в см ³)	Объемный вес (в г/см ³)	Удельный вес (в г/см ³)	Связанность (в % к объему)	Общий объем пор в слое до опыта (в см ³)	Запас воды в слое до опыта (в см ³)	Объем воды для опыта (в см ³)	Глубина промачивания (в см)

Форма записи при вычислении предельной влагоемкости

Глубина взятия пробы (в см)	№ бюкса	Тара бюкса	Тара+влажная почва (в г)	Тара+сухая почва (в г)	Количество воды в почве (в г)	Количество сухой почвы (в г)	Предельная влагоемкость	
							процент воды к весу сухой почвы	процент воды к объему почвы

тии монолитов на месте необходимо определить объемный вес их по горизонтам для вычисления скважности монолитов.

Монолиты монтируют в деревянных оправах. Для устранения пристенного стекания воды во время опыта их с четырех боковых сторон заливают слоем водонепроницаемой пластичной, но не текущей смолы. Смола должна быть вязкой консистенции, хорошо схватываться с почвой и быть не настолько разжиженной, чтобы проникать в поры почвы. Для заливки монолит помещают в оправу несколько большего сечения (на 1—2 см) и остающиеся боковые зазоры со всех четырех боковых сторон заливают смолой. Чтобы иметь возможность поддерживать определенный слой воды над почвой, деревянная оправа должна быть соответственно удлиненной; стенки ее внутри покрывают смолой, и полученный таким образом колодец служит для подачи воды. Внизу монолита укрепляют латунную сетку с отверстиями диаметром приблизительно 0,5 мм и устанавливают воронку для приема воды. Если не удастся сразу взять двухметровый монолит, то тогда один за другим по глубине надо взять два однометровых монолита и плотной пригонкой составить из них двухметровый монолит. Перед монтажом из монолита берут пробы по горизонтам и подгоризонтам, в которых определяют влажность, удельный вес, механический и агрегатный составы, максимальную гигроскопичность и другие физические показатели, а в нужных случаях и химические показатели.

Для определения скорости впитывания и глубины промачивания при заданной норме полива в монолит во время монтажа на границах каждого горизонта или через определенные равные интервалы закладывают датчики для электроизмерений. Датчики представляют собой голые алюминиевые провода, плотно соприкасающиеся с почвой на глубине 5—7 см; расстояние между проводами — 3 см, число проводов в каждом горизонте — 4. Два из них (1—3) спаяны вместе свободными концами и присоединены к одному полюсу источника тока, два других (2—4) тоже соединены и присоединены к другому полюсу.

Кроме датчиков, на границах горизонтов закладывают пьезометры — изогнутые стеклянные трубки, входящие в почву на глубину 1—1,5 см. Для предохранения пьезометров от засорения почвой их входные отверстия закрывают сеткой.

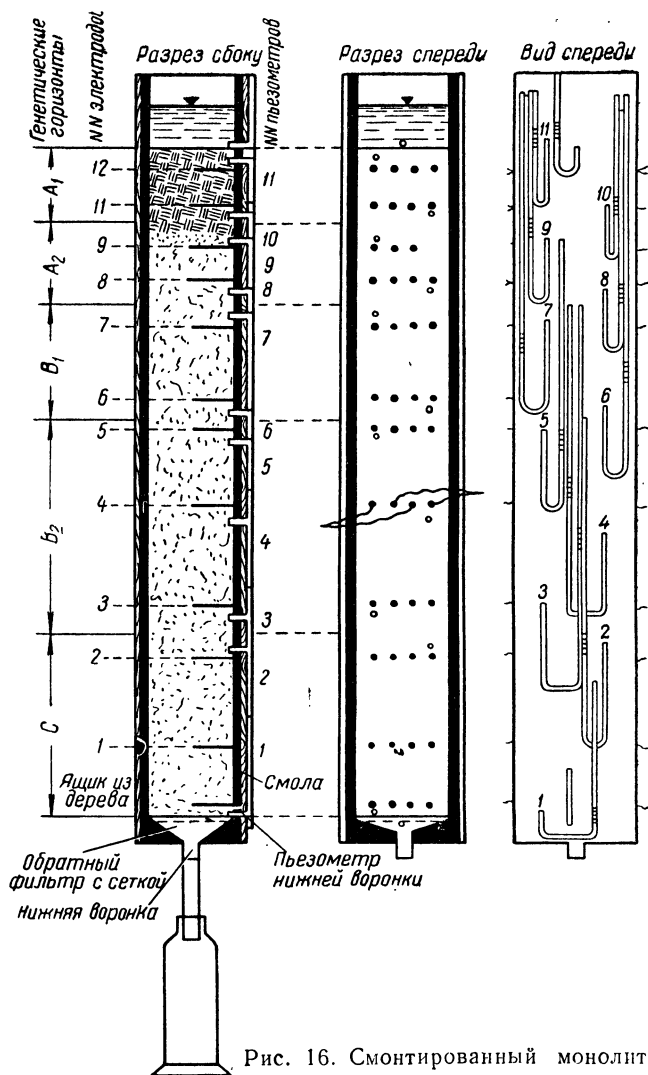


Схема смонтированного монолита показана на рисунке 16. Пьезометры, так же как и датчики, позволяют определять сроки подхода воды к сечению, характеризующемуся показаниями пьезометра, регистрируя при этом изменение гидродинамических давлений. По показаниям пьезометров можно

судить о водопроницаемости отдельных горизонтов и о исправности работы всей установки. Оборудованную таким образом колонну почвы устанавливают на подставке. Для

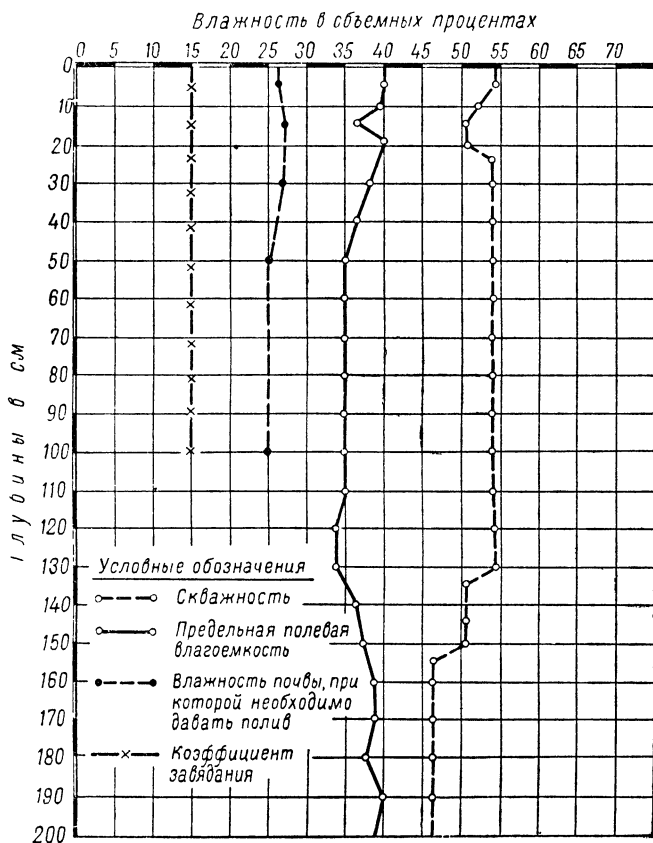


Рис 17. Показатели водных свойств мощного чернозема Курской зональной опытно-мелиоративной станции.

измерения электропроводности почвы применяют чувствительный микроамперметр с набором сопротивлений от 0,2 до 6 тыс. ом.

Методика определения на монолитах предельной влагоемкости, скорости впитывания данной нормы воды и глубины промачивания заключается в следующем. Рассчитав

скважность по отдельным горизонтам, получают общий объем пор слоя почвы, предельную влагоемкость которого требуется определить, и, вычитая из него имеющийся запас воды, определяют норму полива, при которой все поры исследуемого слоя будут заполнены водой. Налив на почву слой воды по высчитанной норме, путем частых отсчетов измеряют расход воды на впитывание и в это же время фиксируют по изменению электропроводности почвы передвижение в ней впитывающейся воды. Достаточно частые измерения электропроводности позволяют сделать заключение о моментах подхода воды к определенным горизонтам почвы.

Когда вся поданная норма впитается в почву, поверхность почвы закрывают несколькими слоями увлажненной фильтровальной бумаги, которую поддерживают все время во влажном состоянии до окончательной разборки монолита. С этого момента по изменению электропроводности почвы продолжают наблюдения за передвижением воды. Когда передвижение воды в нижележащие горизонты закончится, о чем можно судить по неизменяющейся электропроводности почвы, одну из стенок монолита вскрывают, по горизонтам берут пробы почвы на влажность и определяют величину предельной влагоемкости заданного слоя почвы.

Результаты определений влажности записывают по форме, где указывают глубину взятия пробы в сантиметрах и предельную влагоемкость в процентах к весу сухой почвы и к объему почвы.

По полученным данным на миллиметровой бумаге строят график предельной влагоемкости и скважности почвы (рис. 17).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В поле выбирают квадратную площадку в 4 м^2 , которую выравнивают горизонтально, обрабатывают так, как принято для посева намечаемой культуры, и обваловывают с внешней стороны земляными валиками высотой 30—35 см и шириной у основания 60—70 см.

На середине площадки устанавливают учетную деревянную с заостренными краями раму $1 \times 1 \text{ м}^2$ высотой 15—

¹ Параллельное определение Л. А. Разумовой предельной влагоемкости залитом площадок различных размеров в условиях Северного Кавказа и Поволжья показало, что для получения доста-

20 см и границу ее очерчивают ножом, плотно прижатым к внутренней стороне рамы. Затем раму снимают и острым ножом в почве делают углубление такой ширины, чтобы рама плотно входила в него при надавливании. Глубина вреза рамы в почву должна быть около 6—8 см.

Когда углубление вырыто, раму вдавливают в него так, чтобы стенки ее плотно соприкасались со стенками щели. С внешней стороны рамы почву утрамбовывают на расстоянии 5—6 см от стенок. Внутри квадрата у стенок почву только прижимают к ним. Вместо деревянной рамы удобнее применять раму железную.

Если рамы нет, то учетную площадку обваловывают земляными валиками.

Таким образом получают две площадки (одна внутри другой). Внутренняя служит для определения предельной влагоемкости, а внешняя является защитной, предохраняющей просачивающуюся из учетной площадки воду от растекания в стороны.

В целях предохранения структуры почвы от разрушения при поливе учетную площадку покрывают 10—15-сантиметровым слоем соломы, травы и т. п.

На подготовленную площадку и защитную полосу подают такой объем воды, которым была бы полностью насыщена почва слоем в 1 м. Для вычисления такого объема воды необходимо знать имеющийся запас воды в данном слое почвы и общую скважность этого слоя. Для приблизительных расчетов скважность различных почв будет следующей (в %):

Глинистые и тяжелосуглинистые почвы	50—45
Средние и легкие суглинки	45—40
Супесчаные почвы	40—35
Песчаные почвы	35—30

Заливку площадок начинают с того, что в защитной полосе создают слой воды высотой 5 см, а затем, или одновременно, рассчитанный объем воды подают и на учетную площадку также слоем 5 см и поддерживают до тех пор,

точно точных величин полевой влагоемкости черноземных почв в качестве стандартного размера можно брать 1 м²; для солонцов и засоленных каштановых почв площадь учетного квадрата должна быть около 4 м², соответственно этому делают и защитное обвалование. Для стекания гравитационной воды на тяжелосуглинистых почвах можно ограничиться 2—4 днями.

пока не будет израсходовано все необходимое количество воды. Когда вся вода, поданная на учетную площадку, впитается в почву, площадки (учетную и защитную) покрывают слоем соломы, сена или травы толщиной 0,5 м для предотвращения испарения. Спустя некоторое время, с момента, когда передвижение капельножидкой воды в исследуемом (метровом) слое почвы практически прекращается (на песчаных почвах равновесное состояние воды в почве наступает через сутки, на суглинистых на 2—3-и сутки и глинистых на 3—5-е сутки), изоляционный слой над учетной площадкой снимают и берут почвенные пробы на влажность на всю глубину промачивания (1,2—1,5 м).

Для этого на учетной площадке делают разрез и из каждого слоя берут пробы почвы для определения влажности (повторность трехкратная). В пробах обычным путем определяют влажность в процентах к весу сухой почвы. Почвенные пробы можно брать также и буром, для чего бурильщик становится на доски, уложенные поверх соломенного укрытия.

Одновременно с определением предельной влагоемкости почвы в некоторых случаях еще на двух площадках определяют глубину промачивания и влажность почвы до глубины промачивания при поливе нормой 500 м³ на 1 га (слой воды 5 см), 1000 м³ на 1 га (слой воды 10 см).

Эти определения делают для того, чтобы ориентировочно можно было судить о том, как распределится вода при поливах нормой 500 м³ на 1 га и 1000 м³ на 1 га. Пробы на влажность следует брать сразу после впитывания всей поданной воды и через 1 сутки. Влажность почвы, при которой следует проводить определения глубины промачивания нормой 500—1000 м³ на 1 га, для глинистых почв должна быть около 18—22%, для суглинистых 13—18%, для супесчаных 8—12% к весу сухой почвы.

Средние значения величины предельной влагоемкости для верхнего метрового слоя почвы при глубоком залегании грунтовых вод (ниже 3—4 м) приведены в таблице 25.

Оценка полученной величины предельной влагоемкости почвы производится по отношению величины ее к скважности почвы. Если предельная влагоемкость составляет 70—80% от скважности, то такое значение влагоемкости считается благоприятным для развития сельскохозяйственных растений, при 80—90% — посредственным, свыше 90% — неудовлетворительным.

Предельная влагоемкость метрового слоя почв

Почва	Мощность слоя (в см)	Предельная влагоемкость (в процентах к объему почвы)
Супесь	0—25	24±3
	25—50	22±2
	50—75	18±2
	75—100	17±2
Легкий суглинок	0—25	27±3
	25—50	26±3
	50—75	25±2
	75—100	24±2
Средний суглинок	0—25	31±3
	25—50	29±2
	50—75	28±2
	75—100	27±2
Тяжелый суглинок и глина	0—25	40±3
	25—50	36±3
	50—75	35±2
	75—100	34±2

Принимая во внимание, что наряду с другими способами полива возможно применение полива дождеванием, следует определить предельную влагоемкость слоя почвы 0—60 см и способом дождевания. Для этой цели площадку размером в 4 м² готовят, как это принято для посева орошаемой культуры. На площадке определяют влажность почвы до глубины 1 м. После этого приступают к ее дождеванию садовой лейкой. Интенсивность дождя следует применять 0,25—0,5 мм/мин при крупности капель 0,5—1 мм. Норму полива дают такую, которая насытила бы слой почвы мощностью 60 см до полной влагоемкости.

Дождевание осуществляют без образования луж. Для этого воду подают прерывисто: сначала выливают 15—20 мм, через 10—60 мин. еще 15—20 мм и т. д. до тех пор, пока не выльют все рассчитанное количество воды.

После увлажнения площадку закрывают слоем соломы толщиной 30—50 см. Для вычисления запаса воды во всем увлажненном слое почвы необходимо взять пробы на влажность через 1 сутки, 2 суток и 3 суток до глубины 1 м.

Если к этому времени передвижение воды в слое 0—60 см закончилось, то полученную влажность принимают за предельную полевую влагоемкость; если вода продолжает просачиваться, то пробы на влажность берут на пятый, а иногда и на седьмой день.

Ниже дается образец записи при определении предельной полевой влагоемкости почвы.

Полевая запись. Определение предельной влагоемкости почвы

Название разновидности почвы —
 Местоположение (относительно населенного пункта, область, край, район) —
 Площадь и форма площадки —
 Время залива (дата, время начала и конца залива) —
 Количество вылитой воды —
 Род укрытия —
 Число и время взятия почвенных проб —

В остальном записи ведутся так же, как и при определении влажности почвы.

Итоговая запись по определению предельной полевой влагоемкости должна иметь следующий вид:

Наименование почвы —
 Местоположение пункта определения —
 Время проведения залива и взятия почвенных проб —
 Площадь опытной площадки и количество вылитой при заливе воды (для учетной и защитной площадки отдельно) —

Форма записи результатов

Глубина ге- нетических горизонтов (в см)	Глубина взятия проб (в см)	Исходная влажность (среднее из трех повтор- ностей, в %)	Объемный вес (в г/см ³)	Предельная полевая влагоемкость				
				I по- втор- ность	II по- втор- ность	III го- втор- ность	средняя (в %)	
							весо- вых	объем- ных

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ ПО МЕТОДУ А. Ф. ЛЕБЕДЕВА

Принцип метода А. Ф. Лебедева основан на том, что излишек воды сверх максимальной молекулярной влагоемкости удаляют взаимодействием капиллярных и молекулярных сил между почвой и фильтровальной бумагой.

Для определения максимальной молекулярной влагоемкости почву просеивают через сито с отверстиями 0,5 мм. Из просеянной почвы берут среднюю пробу примерно 15—20 г в фарфоровую чашечку диаметром 6—7 см. В этой чашечке почву смачивают до состояния полного увлажнения и тщательно перемешивают шпателем¹. Затем берут один листок фильтровальной бумаги и сверху на него кладут металлическую пластинку толщиной 2 мм для глин и суглинков или 1 мм для супесей и песков с круглым отверстием посредине диаметром около 5 мм.

Переувлажненную почву переносят шпателем в отверстие пластинки на листик фильтровальной бумаги и разравнивают так, чтобы почвой было заполнено все отверстие пластинки. Затем пластинку убирают, и на листике остается аккуратный кружок такого же диаметра и толщины, как отверстие пластинки. Этот кружок прикрывают сверху одним листиком фильтровальной бумаги и затем почву (вместе с подстилающим и покрывающим листиками фильтровальной бумаги) помещают между 20 листиками фильтровальной бумаги с каждой стороны. Листы фильтровальной бумаги нарезают по размеру деревянных прокладок толщиной около 10 мм, между которыми зажимают листы фильтровальной бумаги с помещенной между ними почвой. Деревянные прокладки должны иметь параллельные плоскости. Заготовив таким образом 5—6 образцов почвы, их помещают под пресс и сжимают под давлением 65 кг на 1 см². Под прессом почву держат в продолжение 10 мин. Почву и фильтровальную бумагу необходимо сжать так, чтобы создать возможно полный контакт между почвой и бумагой. По окончании прессования почву быстро очищают от приставших волокон бумаги и тотчас переносят в стеклянный бюкс, предварительно взвешенный. При этом в глинистых почвах необходимо определять законченность водоотдачи, сгибая

¹ Глины с большим содержанием коллоидов следует увлажнять не водой, а водным раствором CaCl_2 (0,5 г кристаллического CaCl_2 на 1 л воды).

лепешку почвы пополам. Если она не сгибается, а ломается пополам, то водоотдача завершена. Если же лепешка сгибается пополам — это свидетельствует о незавершенности водоотдачи. В таком случае определение максимальной молекулярной влагоемкости производят заново, удлиняя время нахождения образца почвы под прессом до 30 мин., а если и этого мало — до 60 мин. Бюкс с почвой взвешивают и ставят в термостат, где высушивают до постоянного веса при температуре 105°.

В связи с тем, что очистка почвенной лепешки от фильтровальной бумаги затруднительна, лепешку удобнее формировать на кусочке батиста, шелка или другой тонкой ткани, покрывать такой же тканью и уже затем помещать между пачками фильтровальной бумаги (ткань используют многократно, промывая и просушивая после каждого использования).

Расчет максимальной молекулярной влагоемкости производят по формуле:

$$W_{\text{ммв}} = \frac{A - B}{m} 100\% ,$$

где $W_{\text{ммв}}$ — максимальная молекулярная влагоемкость (в %);

A — вес бюкса с сырой почвой;

B — вес бюкса с сухой почвой;

m — вес сухой почвы.

Так как величина максимальной молекулярной влагоемкости находится в связи с дисперсностью почвы, то по данным этой влагоемкости можно ориентировочно определять механический состав почвы (табл. 26).

Т а б л и ц а 26

Величина максимальной молекулярной влагоемкости в процентах к объему сухой почвы	Механический состав почвы
< 5	Песок, легкая супесь
5— 8	Тяжелая супесь
8—12	Легкий суглинок
12—16	Средний суглинок
16—24	Тяжелый суглинок
>24	Глина

МАКСИМАЛЬНАЯ ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ ПОЧВЫ

Способность почвы поглощать своей поверхностью (внутренней и внешней) парообразную воду из атмосферы в силу взаимно-молекулярного притяжения частиц почвы и воды называется **г и г р о с к о п и ч н о с т ь ю** почвы. Чем почва мелкоземистее, чем богаче коллоидными распыленными частицами, тем больше поверхность составляющих ее частиц и тем больше она гигроскопична.

При неполном насыщении атмосферы водяными парами (относительная влажность воздуха меньше 100%) поверхность почвенных частиц не сплошь покрывается молекулами воды, и гигроскопичность почвы в этом случае является величиной переменной, зависящей от содержания воды в атмосфере. В условиях атмосферы, насыщенной парами воды (относительная влажность воздуха 100%), поверхность почвенных частиц сплошь покрывается молекулами воды, и такое состояние влажности почвы называется **максимальной гигроскопичностью** почвы.

Определение максимальной гигроскопичности методом А. В. Николаева

Для определения максимальной гигроскопичности навеску воздушносухой почвы весом приблизительно 10 г, взятую из образца почвы, просеянного через 1-миллиметровое сито, помещают в стеклянные бюксы диаметром около 5 см и высотой 3 см. Приготовленные навески почвы из каждого горизонта (с двойной повторностью) устанавливают в эксикаторе с насыщенным раствором K_2SO_4 .

Для получения 100 мл такого раствора требуется 11—15 г K_2SO_4 . Раствор с твердыми кристаллами соли, находящийся в нижней части эксикатора, создает относительную влажность в эксикаторе, близкую к 100% (98—99%). Эксикатор плотно закрывают крышкой, шлифованные плоскости которой смазаны вазелином, и ставят в темное место с возможно меньшими колебаниями температуры. Для через три бюксы вынимают, закрывают крышками и взвешивают. Контрольные взвешивания проводят через каждые 2—3 дня, пока разность между предыдущим и последующим взвешиванием будет не более тысячных долей грамма. Последний вес принимают за окончательный.

Количество поглощенной воды определяют высушиванием образцов при температуре 105° до постоянного веса и выражают в процентах к весу сухой почвы.

Определение максимальной гигроскопичности методом Митчерлиха

Навеску воздушнssухой почвы в 30—50 г помещают в плоскую чашку, вес которой со стеклянной пришлифованной пластинкой-крышкой известен. Чашку с почвой помещают в вакуум-эксикатор.

В эксикатор наливают 100 мл 10-процентной серной кислоты, закрывают, выкачивают воздух и помещают в темное место с постоянной, по возможности, температурой. Через 2—3 дня в эксикатор медленно впускают воздух и пипеткой заменяют отработанную серную кислоту 100 мл новой, 10-процентной. Во время этой замены чашку с почвой нужно прикрыть стеклянной пластинкой. Эксикатор затем закрывают, выкачивают воздух и помещают его опять в темное пространство. Через три дня осторожно впускают в эксикатор воздух, высушенный над серной кислотой, открывают его, закрывают стеклянной пластинкой чашку с почвой и взвешивают. Затем высушивают почву и снова взвешивают. По полученным данным высчитывают максимальную гигроскопичность почвы.

Методы А. В. Николаева и Митчерлиха дают почти одинаковые результаты (табл. 27), но метод Николаева проще, более производительен и менее трудоемок.

Величина максимальной гигроскопичности, по данным В. А. Францессона, зависит от влажности почвы перед определением. С увеличением степени предварительного высушивания почвы величина максимальной гигроскопичности ее уменьшается. Он сопоставил величины максимальной гигроскопичности, полученные при насыщении влагой сырой и сухой почвы над 10- и 3-процентной серной кислотой, и сравнил полученные величины максимальной гигроскопичности с влажностью завядания. Результаты показывают, что величина максимальной гигроскопичности, определенная подсушиванием сырой почвы над 3-процентной H_2SO_4 , очень близка к значению влажности завядания. Максимальная гигроскопичность, определенная насыщением сухой почвы над 10-процентной H_2SO_4 , при умножении на эмпирически найденный коэффициент 1,5 также совпадает с влажностью завядания.

Таблица 27

Определение максимальной гигроскопичности по А. В. Николаеву
и Митчерлиху (по данным А. В. Николаева)

Почва	Глубина взятия образца (в см)	Максимальная гигроскопичность (в процентах к весу почвы)	
		по Митчерлиху	по А. В. Николаеву
Краснозем	0—10	6,57 } 6,48 } 6,46 } среднее 6,50	6,42 } 6,19 } 6,60 } среднее 6,40
	92—102	16,19 } 16,13 } 16,09 } среднее 16,14	16,25 } 16,03 } 16,16 } среднее 16,15
Тучный чернозем на лёс- совидном суглинке	0—10	11,29 } 11,11 } 10,85 } среднее 11,08	11,61 } 11,58 } 11,63 } среднее 11,61
	70—80	10,49 } 10,39 } 10,23 } среднее 10,37	11,24 } 10,81 } 11,63 } среднее 11,23
Суглинистый темный серозем на лёссе	23—30	3,81 } 3,72 } 3,68 } среднее 3,74	3,71 } 3,63 } 3,67 } среднее 3,67
	43—50	3,80 } 3,75 } 3,72 } среднее 3,76	3,72 } 3,79 } 3,81 } среднее 3,77
	93—100	3,71 } 3,84 } 3,70 } среднее 3,75	3,68 } 3,69 } 3,66 } среднее 3,68
Светлый серозем	0—10	2,60 } 2,54 } 2,54 } среднее 2,56	2,52 } 2,55 } 2,65 } среднее 2,57

Определение максимальной гигроскопичности методом В. А. Францессона

Навеску почвы в 10—15 г с влажностью выше коэффициента завядания помещают в открытый бюкс и ставят в эксикатор, на дне которого имеется 100—150 мл 3-процентной H_2SO_4 . Эксикатор помещают в термостат с возможно меньшим колебанием температуры. Регулярными ежедневными взвешиваниями определяется убыль воды в почве.

Наблюдения за изменением влажности ведут до тех пор, пока разница между предыдущим и последующим весом будет колебаться в пределах 0,01 г. Последний вес принимают за окончательный.

Серную кислоту следует менять вначале через каждые 2—3 дня, а далее, когда влажность будет колебаться в пределах, близких к 0,01 г, — через 4—5 дней. Для ориентировочной придержки, при какой исходной влажности почвы следует определить максимальную гигроскопичность по В. А. Францессону, можно использовать нижеприведенные данные (в %):

Чернозем супесчаный	12—15
Чернозем суглинистый	15—20
Чернозем глинистый	25—30
Серая лесостепная тяжелосуглинистая почва .	20—25
Подзолистая тяжелосуглинистая почва	20—25

Из данных, приведенных в табл. 28 (стр. 114), следует, что предложенный Н. А. Качинским коэффициент 1,5 для установления влажности завядания растений по максимальной гигроскопичности воздушносухой почвы, определенной по Митчерлиху над 10-процентной H_2SO_4 , дает хорошее совпадение с влажностью завядания, определенной по максимальной гигроскопичности сырой почвы над 3-процентной H_2SO_4 по В. А. Францессону.

Величина максимальной гигроскопичности сравнительно закономерно изменяется с изменением механического состава почвы, увеличиваясь от легких к тяжелым почвам. Тем не менее надо отметить колебания в величине максимальной гигроскопичности для одних и тех же почв по механическому составу. Эти колебания зависят от количества и состава поглощенных оснований и растворимых солей. Солонцеватость и наличие воднорастворимых солей сильно

**Определение максимальной гигроскопичности по Митчерлиху
и В. А. Францессону (по данным В. А. Францессона)**

Почва	Глубина взятия образца (в см)	Максимальная ги- гроскопичность (в процентах к весу почвы)		Влажность завядания (в %), опре- деленная мето- дом пророст- ков
		по Митчер- лиху (над 10-процент- ной H_2SO_4)	по В. А. Францессо- ну (над 3-процентной H_2SO_4)	
Слабосолонцеватый гли- нистый чернозем	0—20	11,87	17,11	17,80
	20—30	13,66	21,29	20,49
Слабосолонцеватый гли- нистый чернозем	0—20	11,69	16,79	17,53
	20—30	13,15	19,86	19,72
Слабоосолоделый гли- нистый чернозем	5—20	11,79	16,19	17,68
	20—30	13,08	19,25	19,12

влияют на величину максимальной гигроскопичности. На-
пример, в наших опытах засоленная глинистая почва име-
ла максимальную гигроскопичность 27,0%, после промывки
максимальная гигроскопичность этой почвы была уже 14,4%.
Засоленный тяжелый суглинок до промывки имел гигро-
скопичность 16,5%, а после удаления солей — 6,7%.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАВЯДАНИЯ РАСТЕНИЙ
МЕТОДОМ ПРОРОСТКОВ**

Наиболее достоверные (биологические) способы опреде-
ления величины коэффициента завядания основаны на том,
что выращенные в каком-либо сосуде растения оставляют
без увлажнения почвы до появления первых признаков
устойчивого завядания растений.

Метод проростков, разработанный С. И. Долговым, сво-
дится к следующему. Берут алюминиевый бюкс высотой 60—
70 мм и диаметром 35—40 мм. В бюкс помещают такое ко-

личество просеянной через миллиметровое сито почвы, которое заполняет его почти доверху (40—60 г). В бюкс до засыпки почвы необходимо вставить вертикально отрезок неширокой стеклянной трубочки, чтобы он выступал на 5 мм над бюксом. Эта трубочка облегчает увлажнение почвы при поливе (воздух из нижней части стаканчика через трубку легко выходит наружу). Затем производят полив почвы, но без излишнего переувлажнения, так как это затрудняет развитие растений и даже может привести к загниванию семян.

После этого в почву высаживают 5—6 проросших семян ячменя (ячмень используется потому, что широкие листья молодых растений ячменя дают возможность легко обнаружить начало завядания растений). До появления всходов все бюксы для предотвращения излишнего высыхания почвы полезно покрыть куском картона или плотной бумагой.

После появления всходов в каждом бюксе оставляют по три растения и держат бюксы в хорошо освещенном помещении (но не на прямом солнечном свете, чтобы предотвратить вытягивание растений).

Когда второй лист молодых растений будет больше первого (на что требуется недели две), корни растений, как показали опыты в стеклянных сосудах того же размера, уже пронизывают и оплетают всю почвенную пробу, и растения готовы к опыту. Увлажняют почву последний раз и заливают ее поверхность почти застывающей (чтобы не ожечь растений) смесью из 4 частей парафина и 1 части технического вазелина (по весу). Отверстие стеклянной трубочки затыкают ватой.

Обработанные таким образом бюксы с растениями помещают в затененное от прямого солнечного света место и оставляют там до появления первых признаков завядания.

При осмотре, который проводится утром, днем и вечером, отбирают бюксы с поникшими (подвядшими) листьями и помещают их в какой-либо плотный ящик с влажной атмосферой.

Для этого в ящик ставят широкий кристаллизатор с водой или смоченными опилками; на дно ящика можно вместо этого поместить сильно увлажненные опилки или мох. В таком положении бюксы оставляют на ночь. Если к утру растения восстанавливают тургор своих листьев, то их вновь по-

мещают на несколько часов на открытое место, до появления признаков завядания, после чего бюкс с растениями опять переносят в затененную камеру с насыщенной водяными парами атмосферой для определения устойчивости завядания, которое считается достигнутым, если растения в течение ночи не восстанавливают тургор своих листьев.

Когда состояние устойчивого завядания растений достигнуто, в тех же бюксах определяют влажность почвы. Для этого из них извлекают почвенный комок, что удается довольно легко, так как почва при иссушении ее корнями растения несколько уменьшает свой объем. Верхнюю часть почвенного образца высотой 1—2 см вместе с парафиновой коркой и остатками семян удаляют; всю остальную почвенную пробу крошат и высыпают в тот же бюкс, в котором и определяют влажность.

Определение влажности устойчивого завядания осуществляют в пяти повторностях. Среднее значение влажности из всех пяти повторностей и является почвенной влажностью устойчивого завядания растений, или просто влажностью завядания.

Можно употреблять сосуды и больших размеров (чайные стаканы, небольшие консервные банки и т. д.). На стеклянные сосуды необходимо сделать цилиндрические чехлы из светонепроницаемой бумаги. Поверхность почвы в таких сосудах покрывают пропарафинированным картонным кружком с пятью-семью 0,5-сантиметровыми отверстиями для посадки семян. В каждое отверстие высаживают по два хорошо проросших семени, после появления всходов одно растение удаляют. Развитие растений в этих случаях продолжается до 3—4-го листа. Парафиново-вазелиновой смесью заливают только зазоры между кружком и стенками сосудов и отверстия с растениями.

Устойчивость завядания, как и в первом случае, определяют помещением растения в ящик с увлажненной атмосферой.

Из каждого сосуда почвенные пробы для определения влажности берут с двойной повторностью, вследствие чего число повторных сосудов может быть сокращено до четырех или даже трех.

Запись полученных результатов определения почвенной влажности в момент наступления устойчивого завядания растений удобно проводить по следующей форме.

Место определения _____
 Семена высажены (дата) _____ Последний полив (дата) _____
 Устойчивое завядание (дата) _____
 Число и сорт растений _____ Определял _____
 Род и объем сосуда _____

Характеристика почвенного образца (№ разреза, назва- ние почвы, глубина взятия образца и т. п.)	Влажность завядания (в %)					
	повторности					среднее
	I	II	III	IV	V	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Эквивалент влажности почвы — это выраженное в процентах отношение веса воды, которую почва удерживает при воздействии центробежной силы, в 1000 раз превышающей гравитационное ускорение, к весу сухой почвы.

Если подвергнуть влажную почву центрифугированию, то она сначала будет отдавать свободную воду, а затем уже некоторую часть физически связанной воды. Опытами было установлено, что при центрифугировании с ускорением, в 360 000 раз превышающим гравитационную постоянную ($g=981$ см/сек²), из почвы удаляется практически вся вода, кроме воды, соответствующей максимальной гигроскопичности. При центрифугировании с ускорением 50 000—70 000 g в почве остается вода, соответствующая максимальной молекулярной влагоемкости.

Ввиду технической трудности применения столь сильного центрифугирования, в практике применяют центрифугирование с ускорением 1000 g в течение 40 мин. Очевидно, что после такого центрифугирования в почве остается не только вся физически связанная вода, но и часть свободной. Эту оставшуюся воду и называют эквивалентной влажностью почвы.

Значение эквивалентной влажности почвы, по данным американских исследователей, очень близко совпадает с

влажностью почвы, соответствующей предельной влагоемкости почвы.

Веймейер и Гедриксон приводят экспериментальные данные, характеризующие отношение между предельной влагоемкостью и эквивалентной влажностью. Приведенные цифры показывают, что это отношение для верхних горизонтов почв больше единицы, что вполне соответствует повышенной величине предельной влагоемкости для верхнего слоя почвы; ниже это соотношение более или менее близко к единице.

Статистической обработкой результатов многочисленных опытов установлено, что значение эквивалентной влажности почвы, деленное на 1,84, дает приближенную величину коэффициента завядания.

Определение эквивалентной влажности почвы производится на стандартных центрифугах. Ввиду того, что определяемая величина зависит от веса взятой почвы, толщины ее слоя и продолжительности центрифугирования, необходимо для получения сравнимых результатов строго придерживаться определенной методики.

Методика определения эквивалентной влажности почвы на стандартной центрифуге. Воздушносухую почву просеивают через 2-миллиметровое сито и берут из нее навеску в 30—31 г. Навеску почвы помещают в специальный патрон, представляющий собой четырехугольную металлическую коробочку с сетчатым дном (дно перед загрузкой почвой тщательно покрывают четырехугольным листом фильтровальной бумаги). Легким постукиванием доводят толщину слоя почвы в коробочке до 1 см и закрывают ее крышкой. Таким же образом заполняют и другие коробочки. Подготовленную серию коробочек ставят в кристаллизатор или чашки, наполненные водой слоем 2—3 мм, для насыщения ею почвы. В кристаллизаторе необходимо поддерживать постоянный слой воды. Насыщение продолжают до тех пор, пока поверхность образца не будет полностью увлажнена, после чего патроны вынимают из воды и оставляют на несколько минут для стекания избыточной воды. Затем патроны устанавливают в центрифугу и в течение 5 мин. доводят ее скорость до 2400 оборотов в минуту, что дает ускорение силы тяжести 1000 g. С момента установления указанной скорости образцы подвергают центрифугированию в течение 40 мин., потом замедляют ход центрифуги в течение 5 мин. и останавливают ее. Вынимают коробочки, берут шпателем на всю

глубину слоя почвы в коробочке пробу весом 20—25 г для определения влажности, затем кладут ее в предварительно взвешенный бюкс и определяют влажность высушиванием.

Коэффициент завядания ($W_{кз}$) подсчитывают по формуле:

$$W_{кз} = \frac{\text{эквивалентная влажность}}{1,84}.$$

Запись результатов определения эквивалентной влажности

№ патрона с почвой	№ бюкса	Тара бюкса	Тара + почва после центрифугирования (в г)	Тара + высу- шенная поч- ва (в г)	Процент вла- ги к сухой почве	Эквивалент- ная влаж- ность (в %)	Коэффициент завядания (в %)

Глава V

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЫ

В процессе гравитационного движения поступающей с поверхности почвы воды по порам почвы следует различать две фазы: фазу впитывания и фазу фильтрации.

Под в п и т ы в а н и е м понимают последовательное заполнение просачивающейся водой свободных пор фильтрующей толщи почвы. Движение воды происходит под влиянием градиента напора и под влиянием сил капиллярных менисков, возникающих на границе смачивания и действующих в ту же сторону, т. е. вниз.

Под ф и л ь т р а ц и е й понимают движение воды вниз по порам почвы, уже совершенно заполненным водой. Оно происходит только под влиянием градиента напора. Для данной толщи почвы начало фазы фильтрации определяется моментом, когда вода начинает вытекать из этой толщи.

Скорость впитывания, так же как и скорость фильтрации, весьма изменчива во времени и зависит прежде всего от изменения длины пути в разные моменты впитывания и от динамичности во времени агрегатного состояния фильтрующей почвенной массы. Поэтому процессы впитывания и фильтрации воды характеризуются некоторыми кривыми. Для получения таких кривых в лабораторных опытах можно брать:

дисперсную систему неизменного агрегатного состояния — песок той или иной крупности;

систему изменчивого агрегатного состояния — суглинистую почву той или иной степени структурности.

В качестве фильтрующей жидкости можно взять воду или солевой раствор, которые в течение опыта можно заменять друг другом. Варьируя таким образом, можно получить кривые впитывания и кривые фильтрации различных типов. Кривые впитывания и кривые фильтрации в ла-

боратории вычерчивают по данным опыта, проведенного с колонкой, заполненной избранным почвенным материалом или на монолите.

ВПИТЫВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ В НЕСВЯЗНОЙ ПОЧВЕ НАРУШЕННОГО СЛОЖЕНИЯ

Опыт с колонкой почвы нарушенного сложения осуществляется следующим образом. Супесчаную или песчаную почву, просеянную через 1—3-миллиметровое сито, загружают до высоты 15 см в стеклянный цилиндр диаметром 4—5 см с сетчатым дном, которое прикрывают кружком фильтровальной бумаги. На наружной стороне цилиндра вертикально наклеивают полоску миллиметровой бумаги.

Загрузку производят с таким расчетом, чтобы плотность по всему заполненному объему была равномерной и объемный вес почвы равнялся приблизительно 1,4—1,5 г/см³. Для получения равномерной плотности почвы цилиндр необходимо загружать послойно (слоями примерно по 3 см) с легкой утрамбовкой. Затем измеряют объем насыпанной почвы (высота h и диаметр цилиндра d) и ее вес (прямым взвешиванием). Приняв средний для данной почвы удельный вес, необходимо вычислить ее скажность.

Приготовленный цилиндр с почвой устанавливают на воронке (рис. 18), которую до половины высоты наполняют галькой или крупным песком для обеспечения устойчивости цилиндра. Цилиндр и воронку укрепляют на штативе.

Поверхность почвы покрывают кружком фильтровальной бумаги или присыпают грубым песком (слоем около

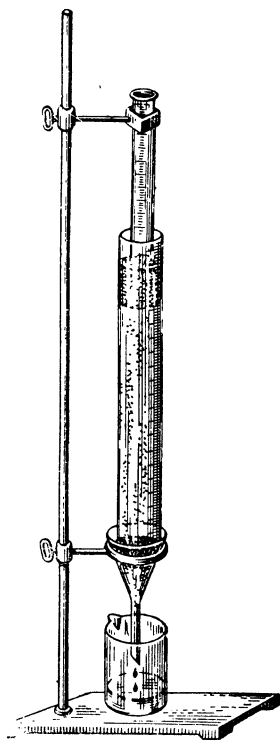


Рис. 18. Установка для изучения впитывания и фильтрации воды.

1 см). Над колонкой устанавливают постоянный напор воды в 2—3 см. Для этого наполняют водой мерный цилиндр на 100—150 мл и ставят его вверх дном так, чтобы края были на 2—3 см выше поверхности почвы в колонке. После установления напора воды бумагу убирают и замечают время начала впитывания. Под воронку ставят стакан для учета фильтрующейся воды.

С момента начала опыта через каждые 5—10 мин., смотря по быстроте впитывания, проводят отсчет расхода воды по понижению его горизонта в мерном цилиндре и одновременно записывают глубину промачивания. До момента появления фильтрата в нижнем конце трубки (это конец фазы впитывания) необходимо провести не менее пяти отсчетов расхода воды и глубины промачивания (табл. 29).

Т а б л и ц а 29

Почва	Время (в мин)	Общий расход воды (в см ³)	Площадь пог реч- ного сече- ния (в см ²)	Напор воды (в см)	Расход воды че- рез 1 см ² (в см ³)	Скорость впитывания. Коэффициент фильтрации (см/мин)
Легкий су- глинок	В п и т ы в а н и е					$V_{\text{впит}}$
	3	60	20,20	2,0	2,97	0,990
	10	98	20,20	2,0	4,85	0,485
	14,5	117	20,20	2,0	5,79	0,403
	19,5	137	20,20	2,0	6,78	0,348
	24,5	154	20,20	2,0	7,62	0,311
	29,5	165	20,20	2,0	8,17	0,277
	34,5	182	20,20	2,0	9,00	0,261
	39,5	196	20,20	2,0	9,70	0,245
	44,5	208	20,20	2,0	10,20	0,232
	49,5	220	20,20	2,0	10,90	0,220
	Ф и л ь т р а ц и я п р и $J=1,165$					$K_{\text{ф}}$
	59,5	224	20,20	2,0	12,10	0,189
	99,5	328	20,20	2,0	16,30	0,152
	114,5	373	20,20	2,0	18,50	0,150
	134,5	409	20,20	2,0	20,20	0,140

После начала фильтрации напор воды над колонкой необходимо поддерживать на том же уровне и фильтрационный расход определить 5—6 раз тем же способом.

Результаты наблюдения обрабатывают следующим образом. Для каждого интервала времени вычисляют сред-

нюю скорость впитывания и фильтрации по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q}{St} \text{ см/мин,}$$

где Q — расход воды (в мл), замеренный в цилиндре за время t (в мин.)

S — площадь опытного цилиндра (в см²).

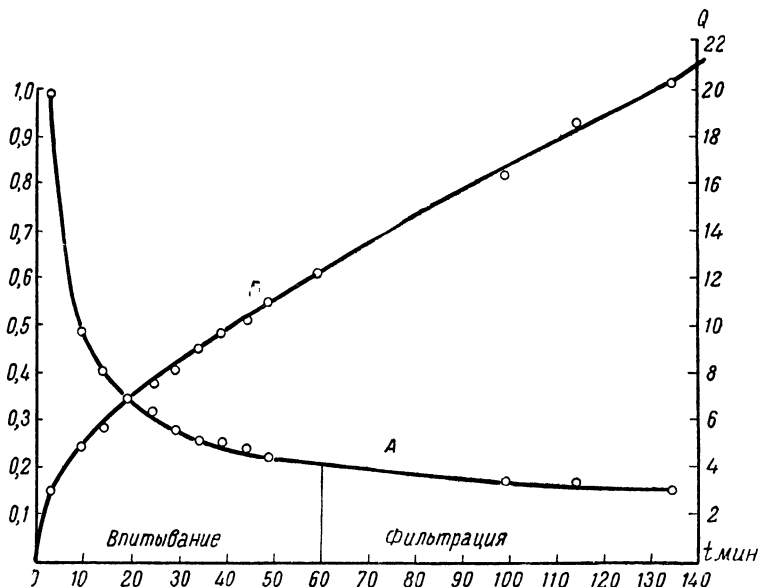


Рис. 19. Кривые впитывания и фильтрации.

Из средних скоростей вычисляют для каждого интервала времени скорость впитывания и коэффициент фильтрации $V_{\text{впит}}$ и $K_{\text{ф}}$.

Полученные величины $V_{\text{впит}}$ и $K_{\text{ф}}$ наносят на координатную сетку, где по оси ординат откладывают $V_{\text{впит}}$ и $K_{\text{ф}}$, а по оси абсцисс — время. По полученным точкам проводят плавную кривую (рис. 19, А).

Величина скорости впитывания $V_{\text{впит}}$ в любой момент времени t связана с величиной начального коэффициента фильтрации $K_{\text{ф}0}$ следующим выражением (по А. Н. Костякову);

$$V_{\text{впит}} = K_{\text{ф}0} \left(\frac{T}{t} \right)^{\alpha},$$

где $V_{\text{впит}}$ — скорость впитывания в момент времени t ;
 K_{ϕ_0} — начальный коэффициент фильтрации по Дарси;
 T — момент начала фильтрации;
 α — показатель степени, характеризующий динамику скорости впитывания;
 t — время от начала опыта.

В приведенном выражении α определяют графически.

Графический способ определения α . На миллиметровой бумаге по оси ординат откладывают логарифмы скорости впитывания, а по оси абсцисс логарифмы времени. Через полученные точки проводят

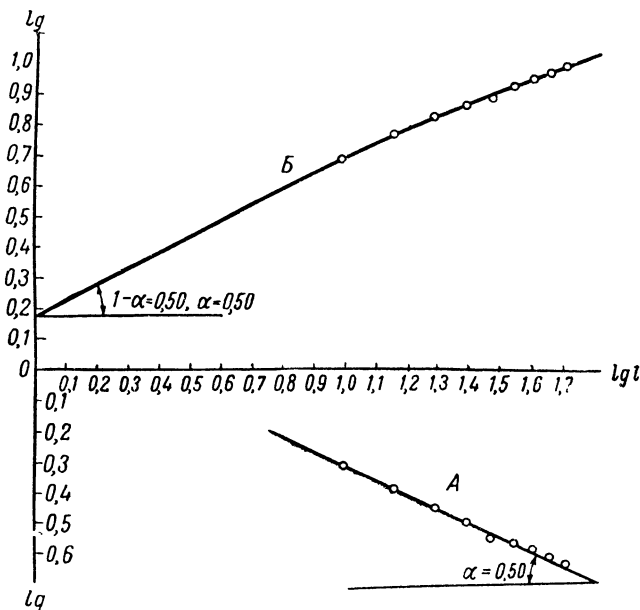


Рис 20 Графическое определение α

прямую до пересечения с осью ординат. Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс дает величину α . Из чертежа (рис 20, А) видно, что α равняется 0,5. Можно также определить α , откладывая на миллиметровой бумаге по оси ординат логарифмы расходов воды, а по оси абсцисс логарифмы времени. Через полученные точки проводят прямую до пересечения с осью ординат. Отрезок от точки пересечения прямой с осью ординат дает логарифм среднего расхода впитывания за первую единицу времени (минуту), а тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс — величину $(1-\alpha)$.

Из рисунка 20 видно, что тангенс угла равен 0,5, следовательно, $1 - \alpha = 0,5$, откуда $\alpha = 0,5$.

По данным прямых отсчетов объемов впитавшейся воды за разные интервалы времени строят кумуляционную (суммарную) кривую объема впитывания (рис. 19, Б). Эта кривая, перечисленная в кубические метры на 1 га, показывает, сколько времени поливная вода должна находиться на поле для того, чтобы в почву впиталась заданная поливная норма.

ВПИТЫВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ В СВЯЗНОЙ ПОЧВЕ НЕНАРУШЕННОГО СЛОЖЕНИЯ

Опыт проводится на цилиндрическом монолите суглинистой почвы, который вырезают ножом из имеющегося образца ненарушенного сложения.

Монолит с боков бинтуют марлевым бинтом, слегка пропитанным минеральным маслом, и парафинируют. Парафинирование заключается в погружении забинтованного монолита в расплавленную смесь парафина, воска, канифоли и смолы, взятых в соотношениях 4:3:1:1. Эти вещества растапливаются порознь, после чего сливаются вместе. Погружение производят несколько раз — перед очередным погружением смесь на монолите должна затвердеть.

У запарафинированного монолита срезают верхнюю и нижнюю части для обнажения почвы.

На монолит надевают цилиндр из оцинкованного железа или парафинированного картона (рис. 21). Зазор между монолитом и цилиндром заделывают влажной перемятой глиной, но при этом в верхней части зазора должна остаться канав-

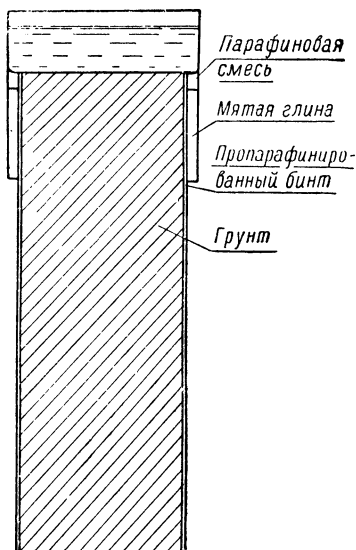


Рис. 21. Запарафинированный монолит.

ка, которую аккуратно заливают расплавленной парафиновой смесью.

Подготовленный таким образом монолит устанавливают на воронке или поддоне из оцинкованного железа с отверстием так же, как это делается в предыдущем опыте. В дальнейшем опыт проводится так же, как и предыдущий.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ТРУБКОЙ СПЕЦГЕО

Трубка Спецгео позволяет определять коэффициент фильтрации почв ненарушенной структуры в условиях постоянного градиента напора, равного единице.

Трубка (рис. 22) состоит из металлического полого цилиндра (1) диаметром 5—6 см и высотой 11—12 см, нижний край его скошен и остро заточен. Снизу цилиндр имеет съемное дырчатое дно (2), покрытое мелкой сеткой (3), а сверху он закрывается крышкой (4). В эту крышку вставляется мерный стеклянный цилиндр (5) горлышком вниз, объемом 150—180 мл. Дырчатое дно и крышка имеют резиновые прокладки (6) для обеспечения водонепроницаемости соединений.

При определении коэффициента фильтрации суглинистых и глинистых почв доставленный в лабораторию монолит вскрывают и на свежеочищенную поверхность его устанавливают цилиндр (1). Острым ножом обрезают монолит так, чтобы получился столбик почвы на 1—1,5 мм больше внутреннего диаметра цилиндра. По мере обрезки монолита на формирующийся столбик постепенно надевают цилиндр, срезая лишнюю почву острыми краями цилиндра. Таким образом, в цилиндр на всю высоту вводится столбик почвы. После этого нижнюю часть столбика срезают вровень с краями цилиндра и на него надевают дно и крышку.

Заправленный цилиндр устанавливают в батарейную банку и постепенно насыщают почву водой снизу до появления водной пленки сверху почвы.

После этого цилиндр с почвой закрепляют в штативе, заполняют водой мерный цилиндр и, быстро опрокинув его, укрепляют в верхней крышке. Суженное горлышко должно быть на 1—2 мм выше поверхности почвы. Сразу же начинается поступление воды из мерного цилиндра в почву. Толщина слоя воды над почвой автоматически поддерживается в пределах 1—2 мм. Если в мерный стеклянный сосуд

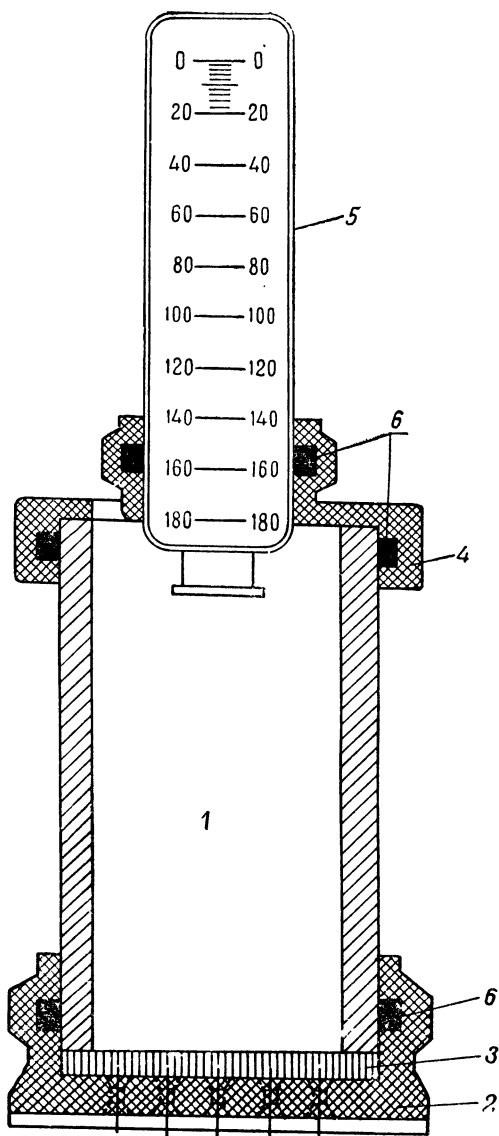


Рис. 22. Трубка Спецгео.

прорываются крупные пузырьки воздуха, необходимо приблизить горлышко мерного цилиндра к поверхности почвы так, чтобы в этот цилиндр поступали небольшие пузырьки. Как только будет отрегулирована подача воды из мерного цилиндра (мариоттова сосуда), начинают наблюдать за расходом воды по шкале, нанесенной на стеклянном цилиндре, отсчитывая время по секундомеру через каждые 1—10 мин., в зависимости от водопроницаемости исследуемой почвы.

Коэффициент фильтрации определяют так, как это было описано выше. Градиент напора принимают за единицу. Для облегчения расчетов на некоторых мерных цилиндрах имеется вторая шкала, соответствующая отношению расхода воды к площади поперечного сечения почвы.

При определении коэффициента фильтрации песков в металлический цилиндр насыпают песок и проводят наблюдения при условии рыхлого сложения песка в цилиндре и максимального уплотнения его. Для этого цилиндр наполняют слоями по 1—2 см и уплотняют каждый слой легким трамбованием при предварительном увлажнении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВПИТЫВАНИЯ ВОДЫ И КОНТУРОВ ПРОМАЧИВАНИЯ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Изучение скорости впитывания воды в почву и контуров промачивания почвы в полевых условиях проводят на площадках, подготовленных соответственно способу полива.

Для полевых исследований водопроницаемости различных слоев почвенного профиля, например для расчетов потерь воды на фильтрацию из мелкой оросительной сети, обычно применяют метод «заливаемых квадратов». При этом удобно пользоваться квадратными металлическими рамами следующего размера: внутренняя — 30×30 см, внешняя — 50×50 см. Высота квадратов должна составлять 15—20 см. Эти квадраты врезают в почву на глубину 5—10 см.

Внешнюю раму применяют для защиты от растекания просачивающейся воды. Вода на поверхность почвы внутри квадратов подается слоем 5—10 см. Чтобы определить количество впитавшейся воды, делают несколько замеров слоя воды во внутреннем квадрате через определенные промежутки времени. Обычно эти промежутки в начале опыта составляют 5 мин., затем 15—30 мин., так, чтобы уровень воды изменялся в пределах не более 1 см. После каждого отсчета

уровень воды доводится до первоначального. Точность отсчета ± 1 мм водяного столба. Опыт повторяют (обычно 2—3 раза) до получения сравнительно постоянного значения скорости впитывания: продолжительность наблюдений на песчаных и супесчаных почвах 2—3 часа, суглинистых 4—6 час. и глинистых 7—10 час. В процессе опыта необходимо следить за тем, чтобы толщина слоя воды в защитном квадрате соответствовала толщине слоя воды в учетном квадрате с точностью $\pm 0,5$ см.

При изучении скорости впитывания воды в почву и глубины промачивания для расчетов и осуществления поверхностных поливов и дождевания исследования проводят соответственно следующим способом подачи воды: 1) сплошным слоем (напуск по полосам, затопление), 2) по бороздам и 3) дождеванием. Так как при поливах по бороздам скорость впитывания воды в почву и распределение ее в корнеобитаемом слое зависят от размера борозды (глубины и ширины), а также от степени наполнения ее водой, наблюдения желательно вести применительно к нескольким типам борозд, например: глубокой узкой борозды глубиной 18—20 см и шириной поверху 35—40 см; глубокой широкой борозды глубиной 18—20 см и шириной поверху 40—50 см; мелкой узкой борозды глубиной 10—14 см и шириной поверху 30—40 см. Глубокие борозды должны наполняться водой на $\frac{3}{4}$ и на $\frac{1}{4}$ глубины, соответственно поливам большой и малой поливной струей.

Исследования водопроницаемости почвы применительно к поливу напуском и затоплением проводят на горизонтальных площадках. Площадки следует закладывать применительно к данной культуре и соответствующей ей агротехнике, а опыты проводить в условиях той влажности почвы, при которой даются поливы в производстве, т. е. при 65—75% предельной влагоемкости расчетного слоя почвы. При исследовании новых районов опыты приходится проводить иногда на неосвоенных площадях. В этих случаях необходимо подготовить опытную площадку: рыхление на глубину вспашки и предварительное увлажнение, если влажность почвы слишком низка. Для этого перед рыхлением почвы на ее поверхность подают (лучше всего дождеванием) количество воды, необходимое для промачивания метрового слоя, после чего опытную площадку оставляют на некоторое время открытой для подсыхания почвы до нужной влажности.

После окончания наблюдения (впитывание всей воды) определяют глубину промачивания и распределение влаги в промоченной толще почвы. Это достигается сопоставлением послойного распределения влажности до опыта и через 1—3 суток после подачи воды (в последнем случае площадки укрывают от испарения). Пробы берут буром.

При изучении скорости впитывания воды и контуров промачивания почвы при тех или других способах полива время опыта определяется продолжительностью впитывания изучаемых поливных норм. При этом целесообразно принимать следующие расчетные значения поливных норм: $m_1=200 \text{ м}^3$ на 1 га; $m_2=500 \text{ м}^3$ на 1 га; $m_3=750 \text{ м}^3$ на 1 га; $m_4=1000 \text{ м}^3$ на 1 га; $m_5=1500 \text{ м}^3$ на 1 га, испытывая при дождевании и бороздковом поливе первые, а при напуске — последние из перечисленных норм.

Этим размером поливных норм при поливе напуском и дождеванием будет соответствовать слой воды $h_1=2 \text{ см}$, $h_2=5 \text{ см}$, $h_3=7,5 \text{ см}$, $h_4=10 \text{ см}$ и $h_5=15 \text{ см}$. При поливе по бороздам расчет количества воды, которое необходимо подать в каждую модель борозды, проводится по формуле:

$$Q = \frac{mla}{10\,000} \text{ м}^3,$$

где Q — количество воды, подаваемое в каждую борозду (в м^3);

m — поливная норма (в м^3 на 1 га);

l — длина опытной борозды (в м);

a — расстояние между осями опытных борозд (в м).

Для определения скорости впитывания и контуров промачивания при поливе по бороздам нарезают три или пять борозд заданной глубины и ширины, длиной 3 м с необходимым расстоянием между ними. Крайние борозды служат защитой от растекания воды в стороны, а внутренние являются учетными. По длине учетных борозды выделяют при помощи железных щитков учетные части длиной 2 м и концевые защитные участки борозд.

Все борозды следует быстро заполнять водой, поддерживая в дальнейшем заданный уровень.

Контуров промачивания почвы определяют или зарисовкой, если их можно увидеть на почвенном разрезе, или по данным влажности почвы. Зарисовку контуров производят на следующий день после подачи воды. Площадки после подачи воды закрывают от испарения, а разрез делают не-

посредственно перед определением контура промачивания почвы. Для зарисовки контура на стенку разреза накладывают координатную сетку со сторонами квадратов 5 или 10 см.

Для наблюдения за динамикой контуров промачивания во время подачи воды поперек борозд до начала опыта выкапывают траншею глубиной 1,0—1,3 м и шириной 0,7—0,8 м. Вертикальные стенки ее хорошо зачищают. Со стороны вертикального среза траншеи борозду ограничивают стеклом, плотно пригнанным к почвенному разрезу.

Определение скорости впитывания воды при дождевании необходимо для выявления величины допустимой интенсивности дождя, обеспечивающей достаточно высокую производительность полива и в то же время удовлетворяющей агротехническим требованиям, предъявляемым к качеству дождя,— сохранение комковатой структуры почвы, увлажнение почвы на достаточную глубину, отсутствие поверхностного стока и т. д.

Методы определения скорости впитывания воды в почву при дождевании еще недостаточно разработаны. Почвенномелиоративной лабораторией ВНИИГиМ предложен метод определения допустимой интенсивности дождя по данным наблюдений за появлением луж при различной интенсивности дождя. При этом в качестве предельной величины принимается интенсивность, при которой быстро увеличивается продолжительность полива без появления луж, сохраняется почвенная структура и увеличивается глубина промачивания почв (до 1 м и более)

Технически такое определение может быть выполнено при дождевании любой имеющейся установкой или машиной, лучше короткоструйного действия. Дождевательные насадки регулируются на подачу дождя различной интенсивности, что легко может быть достигнуто применением шайб-вкладышей с различным диаметром отверстия. Применительно к различной интенсивности дождя на поверхности почвы устанавливают дождемерные сосуды для замера фактической интенсивности дождя. Последняя определяется по формуле:

$$I = \frac{10V}{Ft} \text{ мм/мин,}$$

где I — интенсивность дождя (в мм/мин);

V — объем воды в дождемерном сосуде (в см³);

F — площадь дождемерного сосуда (в см²);

t — продолжительность дождевания (в мин.).

Одновременно с учетом интенсивности дождя производят замер диаметра капель над каждым дождемером. В этих же точках ведут наблюдения за началом появления небольших луж. Метод наиболее применим для малоуклонных площадей.

Результаты наблюдений записывают по форме.

Почва	Диаметр капель (в мм)	Продолжитель- ность дождева- ния без появле- ния луж (в мин.)	Объем воды в дождемер- ном сосуде (в см ³ ; $F=200 \text{ см}^2$)	Интенсив- ность дождя (в мм/мин)

Кривая, построенная по этим данным, приведена на рисунке 23. Допустимая интенсивность дождя составляет 0,9 мм/мин.

При отсутствии дождевальной машины и достаточного количества воды для проведения опыта определение допу-

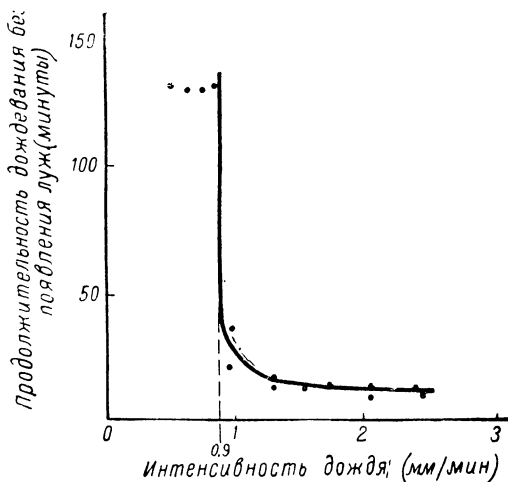


Рис. 23. Кривая зависимости продолжительности дождения без появления луж от интенсивности дождя.

стимой интенсивности дождя может быть проведено с помощью специально смонтированной небольшой установки, например в виде небольшого резервуара для воды, снабженного несколькими водоотводящими трубками с разбрызги-

вающими насадками. Для создания необходимого давления может быть использован воздушный насос.

Обработка и анализ полученного материала. Полученные данные по впитыванию воды в почву используют для определения суммарного количества впитавшейся воды (m) и средней скорости впитывания ($V_{\text{ср}}$) для нескольких моментов времени (10—15):

$$\frac{m}{t} = V_{\text{ср}}.$$

Результаты наносят на график: по оси ординат откладывают $V_{\text{ср}}$, а по оси абсцисс — время. На этот же график наносят суммарное количество впитавшейся воды.

Проф. А. Н. Костяков предложил выражать впитывание в почву через среднюю скорость впитывания ($V_{\text{ср}}$) от начала полива до данного момента времени:

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_1}{(1-\alpha) t^\alpha} = \frac{V_0}{t^\alpha},$$

где V_1 — скорость впитывания в конце первой единицы времени (секунды, минуты, часа);

t — время впитывания (секунды, минуты, часы);

α — показатель степени, характеризующий динамичность впитывания воды в почву и свойства почв;

V_0 — средняя скорость впитывания воды в почву за первую единицу времени.

Определять значение α и V_0 можно графическим и аналитическим способом. Графическое определение α и V_0 производится на логарифмической сетке, где по оси абсцисс откладывается значение $\lg t$, а по оси ординат $\lg V_{\text{ср}}$. Пересечение прямой с осью ординат дает значение $\lg V_0$, а тангенс угла наклона ее к оси абсцисс дает α .

Аналитическое определение производится по формуле:

$$\alpha = \frac{\lg V_n - \lg V_m}{\lg t_m - \lg t_n},$$

где V_n и V_m — средние скорости впитывания предыдущего и последующего наблюдений;

t_n и t_m — время от начала полива, соответствующее этим наблюдениям. Промежутков времени следут брать не менее 5—7 и для них выводить среднее.

При изучении скорости впитывания воды, подаваемой по бороздам, важно знать не только величину слоя впитавшейся воды, как это делают при моделировании полива за-

топлением, но и контуры впитывания воды в почву и толщину в разных точках смоченного периметра борозды. Можно условно принять, что в борозде данного типа впитывание воды в каждый момент времени происходит пропорционально живому сечению борозды, и тогда определение среднего слоя и средних скоростей впитывания воды будет производиться по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q}{l \rho t},$$

где Q — количество воды, впитавшейся в борозду;

l — длина опытной борозды;

ρ — живое сечение борозды;

t — время впитывания воды в борозду.

Анализируя опытные данные по скорости впитывания воды в почву, можно отметить, что скорость впитывания зависит от ряда физических свойств почвы и прежде всего от ее механического и микроагрегатного состава, ее структурности, скважности, пронизывания корневыми ходами и пр. значительное влияние оказывает на скорость впитывания воды в почву химический состав почвы: количество и состав растворимых солей, степень насыщенности почв одно-, двух- и многовалентными катионами. Например, в засоленных почвах скорость впитывания воды значительно выше, чем в незасоленных. Особенное значение имеет солонцеватость почвы; в этом случае скорость впитывания может быть очень малой. Скорость впитывания во влажной и сухой почве также будет различна.

Чтобы получить полное представление о скорости впитывания воды в почву, нельзя ограничиться единичными определениями этой величины. Скорость впитывания динамична и периодически меняется, поэтому ее необходимо определять при разных значениях влажности.

Почвы по скорости впитывания с точки зрения орошения можно разделить на три группы:

1) почвы, имеющие среднюю скорость впитывания больше 0,15 м за первый час наблюдения (почвы значительной водопроницаемости);

2) почвы, имеющие среднюю скорость впитывания меньше 0,15 м, но больше 0,05 м за первый час наблюдения (почвы средней водопроницаемости);

3) почвы, имеющие среднюю скорость впитывания менее 0,05 м за первый час наблюдения (почвы слабой водопроницаемости).

Коэффициент α обычно изменяется в пределах от 0,3 до 0,8 в зависимости от водно-физических и других свойств почвы. Обычно чем легче механический и микроагрегатный состав почвы и меньше ее влажность перед опытом, тем значения коэффициента α меньше, т. е. кривая впитывания воды имеет более пологий характер.

Т а б л и ц а 30

Характеристика впитывания воды для некоторых почв Заволжья и Прикаспийской низменности (по данным К. Н. Шишкова)

Почва	Средняя скорость впитывания за первый час (в см/час)	Коэффициент α
Солонец солончаковатый тяжелосуглинистый	0,069	0,840
Светлокаштановая солонцеватая среднесуглинистая	0,122	0,335
Лугово-каштановая слабосолонцеватая тяжелосуглинистая	0,170	0,466
Луговая остепняющаяся осолодевшая глубокосолончаковатая лиманная тяжелосуглинистая	0,073	0,404
Бурая солончаковатая тяжелосуглинистая	0,098	0,354
Бурая солонцеватая супесчаная	0,197	0,259
Лугово-бурая сильно осолодевшая тяжелосуглинистая	0,120	0,510

При проектировании бороздкового полива и подготовке поля к такому поливу необходимо учитывать, что на почвах значительной водопроницаемости контуры увлажнения при поливах по бороздам получаются узкими, вытянутыми книзу. Чтобы сделать контуры увлажнения более широкими, следует применять мелкие широкие борозды или глубокие борозды с большой поливной струей. На почвах тяжелых слабопроницаемых контуры увлажнения, наоборот, получаются широкими и располагаются близко к поверхности почвы. В этом случае глубокое промачивание почвы достигается применением глубоких узких борозд с небольшой поливной струей.

Для установления расстояний между бороздами используют данные по ширине контуров промачивания. При этом исходят, с одной стороны, из требований агротехники дан-

ной культуры и, с другой стороны, из задачи, чтобы контуры увлажнения, образованные отдельными бороздами, смыкались между собой в слое, где в данный момент вегетации растений находится основная масса корней.

Длина борозы наиболее точно может быть установлена наблюдениями за впитыванием воды и скоростью продвижения воды в бороздах различной длины, отвечающей применяемым в производстве размерам. Однако при обследовании новых площадей, где нет возможности проводить такие опыты, можно использовать данные по скорости впитывания воды из борозд, полученные на небольших площадках. При этом следует пользоваться скоростями впитывания воды из борозд, аналогичных тем, для которых производится расчет.

А. Н. Костяков связывает длину борозды с показателями впитывания воды в почву следующими формулами:

$$l = \frac{q \cdot 3600t}{0,0001Ma}; \quad t = \left(\frac{Ma}{10\,000} \right)^{\frac{1}{\alpha}},$$

где l — длина борозды (в м);

q — расход воды в борозду (в м³/сек);

M — поливная норма (в м³ на 1 га);

a — расстояние между бороздами (в м);

t — продолжительность полива (в час.);

α — показатель степени, характеризующий кривую впитывания.

Зная высоту заполняющего борозду слоя воды, расход ее (q) можно определить, исходя из значений гидравлического радиуса (R) и уклона местности (i), по формулам:

$$q = \omega v; \quad v = c \sqrt{Ri}; \quad R = \frac{\omega}{p},$$

где ω — живое сечение борозды (в м²);

v — скорость движения воды в голове борозды (не должна превышать 0,1 — 0,2 м/сек);

c — коэффициент, зависящий от степени шероховатости и глубины борозды;

p — смоченный периметр (в м).

Пример расчета длины борозды. Глубокая узкая борозда, полив без сброса небольшой поливной струей. Уклон борозды $i=0,005$.

Показатель степени, характеризующий скорость впитывания воды из борозды аналогичного размера и наполнения $\alpha=0,5$.

Расход воды в борозду, определенный расчетом, $q=0,425$ л/сек.
Продолжительность полива (t) нормой $M=700$ м³ на 1 га при расстоянии между бороздами $a=0,7$ м:

$$t = \left(\frac{Ma}{10\,000} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = 2,2 \text{ часа}$$

$$\text{Длина борозды } l = \frac{q \cdot 3600 \cdot t}{M \cdot a} = 69 \text{ м}$$

Иногда приходится давать качественную характеристику водопроницаемости генетических горизонтов почвы. В этом случае отрывают разрез и одну из стенок его делают ступенчатой, размещая горизонтальные ступени соответственно интересующим слоям. В горизонтальные площадки врезают на глубину 5 см по два-три латунных или алюминиевых цилиндра диаметром 5—7 см и высотой 10—15 см. В цилиндрах создают постоянный напор воды (например, сосудами Мариотта) 4—9 см. Наблюдения за впитыванием воды осуществляют либо путем отсчета впитывания воды через определенные интервалы времени, либо путем отсчета времени, в течение которого впитываются определенные объемы воды. Продолжительность наблюдений 30 мин — 1 час в зависимости от водопроницаемости почвы.

Этим методом сравнительно легко выявляются слои почв относительно меньшей или большей фильтрационной способности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОЧВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Метод откачки из скважины (по Н. Н. Биндеману)

Этот метод применим для определения коэффициента фильтрации водоносных горизонтов почв и дает наиболее точные значения его. Для определения коэффициента фильтрации методом откачки закладывают скважину на необходимую глубину и производят откачку воды. При этом ведут наблюдения за расходом воды (дебитом) при данном установившемся понижении уровня ее в скважине. Обычно, кроме этой скважины, закладывают по радиусу еще створ наблюдательных скважин, в которых определяют степень понижения уровня воды при откачке ее из центральной скважины.

Откачка из скважин в однородных водоносных почвах. Дно скважины доведено до водоупора: а) в условиях напорных вод.

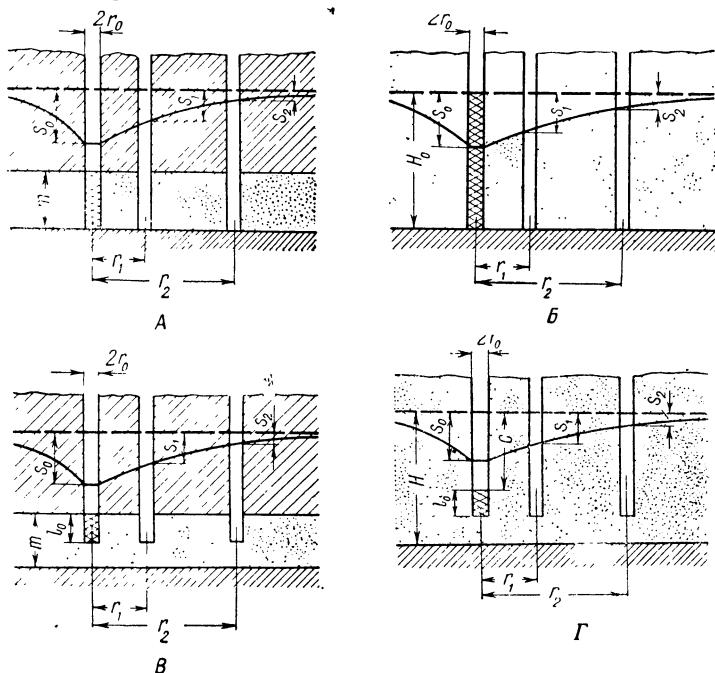


Рис. 24. Схема определения коэффициента фильтрации грунта методом откачек.

При использовании одной наблюдательной скважины (рис. 24, А).

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right)}{2\pi m (S_0 - S_1)},$$

где K — коэффициент фильтрации;
 Q — дебит скважины;
 r_1 — расстояние между центральной и наблюдательной скважинами;
 r_0 — радиус водоприемной трубы скважины;
 m — мощность водоносного пласта;
 S_0 и S_1 — понижение уровня воды в центральной и наблюдательной скважинах.

При использовании двух наблюдательных скважин:

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi m (S_1 - S_2)},$$

где r_2 — расстояние от центральной до второй наблюдательной скважины;

S_2 — понижение уровня воды во второй наблюдательной скважине.

При отсутствии наблюдательных скважин:

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{R}{r_0} \right)}{2\pi m S_0}.$$

В этом случае необходимо узнать установившийся радиус депрессивной воронки понижения пьезометрического напора воды R ;

б) в условиях безнапорных вод.

При использовании одной наблюдательной скважины (рис. 24, Б).

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right)}{\pi (S_0 - S_1) (2H - S_0 - S_1)},$$

где H — мощность водоносного слоя до откачки.

При двух наблюдательных скважинах:

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{\pi (S_1 - S_2) (2H - S_1 - S_2)}.$$

При отсутствии наблюдательных скважин:

$$K = \frac{Q \ln \left(\frac{R}{r_0} \right)}{\pi S_0 (2H - S_0)}.$$

Дно скважины до водоупора не доведено: а) в условиях напорных вод.

Длина водоприемной части трубы составляет не более 0,3 мощности водоносного слоя (рис. 24, В).

При одной наблюдательной скважине:

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 S_1} \ln \frac{l_0}{r_1},$$

где l_0 — длина водоприемной части трубы в скважине.

При двух наблюдательных скважинах:

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 (S_1 - S_2)} \operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_2},$$

где arsh — обозначение гиперболического арксинуса, величина которого определяется по математическим таблицам.

При этом водоприемная часть труб в наблюдательных скважинах должна быть $\leq l_0$. Расстояние до наблюдательных скважин не должно превышать 0,3 от мощности водоносного пласта.

При отсутствии наблюдательных скважин:

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 S_0} \ln \frac{\alpha l_0}{r_0},$$

где α — коэффициент от 1,32 до 1,60 (величина его на результат определения отражается мало и можно принять его для всех случаев 1,45);

б) в условиях безнапорных вод.

При затопленном фильтре водоприемной части трубы в скважине (рис 24, Г).

При двух наблюдательных скважинах и расположении фильтра в верхней части водоносного пласта:

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 (S_1 - S_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_2} \right).$$

При двух наблюдательных скважинах и длине фильтра более половины мощности водоносного слоя:

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 (S_1 - S_2)} \left[\operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_2} - \frac{l_0}{m} \left(\operatorname{arsh} \frac{m}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{m}{r_2} \right) + \frac{l_0}{m} \ln \frac{r_2}{r_1} \right].$$

При отсутствии наблюдательных скважин и при нахождении фильтра в верхней половине водоносного слоя:

$$K = 0,183 \frac{Q}{l_0 S_0} \left(B - 2 \lg \frac{r_0}{C} \right),$$

где C — расстояние от статического уровня воды до верхнего конца фильтра;

B — определяется в зависимости от соотношения

$$\frac{C + l_0}{C} \text{ по графику (рис. 25).}$$

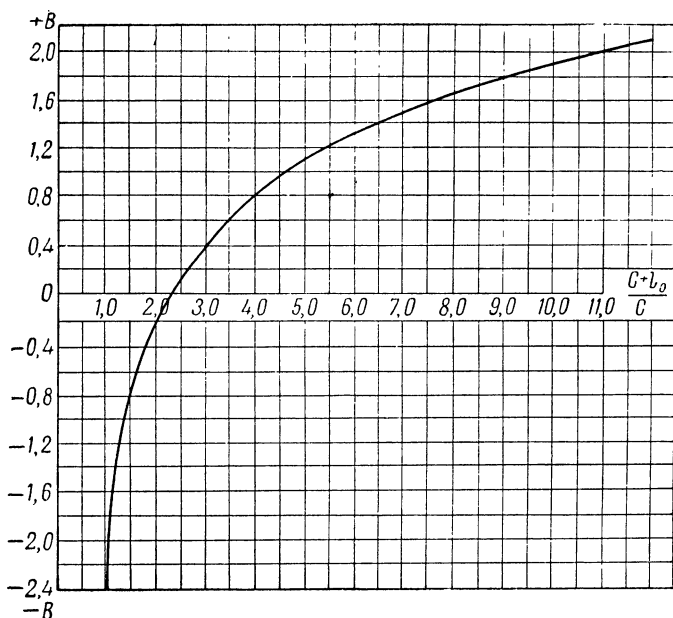


Рис. 25.

Если же $l_0 > \frac{m}{2}$, то

$$K = 0,366 \frac{Q}{S_0} \left(\frac{1}{B + D} \right),$$

где

$$B = \frac{h_1}{\frac{1}{2\bar{h}_1} \left(2 \lg \frac{4h_1}{r_0} - A_1 \right) - \lg \frac{4h_1}{R}},$$

$$D = \frac{h_2}{\frac{1}{2\bar{h}_2} \left(2 \lg \frac{4h_2}{r_0} - A_2 \right) - \lg \frac{4h_2}{R}},$$

где h_1 — расстояние от середины фильтра до статического уровня;

h_2 — расстояние от середины фильтра до подошвы водоносного слоя;

A_1 и A_2 — безразмерные величины, определяемые по графику (рис. 26) в зависимости от отношений

$$\bar{h}_1 = \frac{0,5l_0}{h_1} \quad \text{и} \quad \bar{h}_2 = \frac{0,5l_0}{h_2}.$$

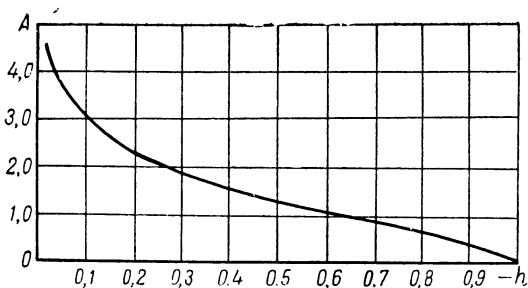


Рис. 26.

Откачки из скважин в неоднородных водоносных почвах.

Если водоносный слой слагается тонкими слоями почвы и подстилающих пород, то можно принимать движение воды в более водопроницаемых слоях напорным и определять коэффициент фильтрации этих, относительно более водопроницаемых слоев так, как его определяют в однородных почвогрунтах в условиях напорных вод. В случаях, когда скважина до водоупора не доведена, за величину мощности водоносного слоя принимают длину фильтра скважины.

Если водоносные слои являются сравнительно мощными горизонтами почвы и подстилающих пород, то определяют коэффициент фильтрации по отдельным горизонтам. Для этого используют короткие фильтры, которые размещают в середине исследуемых горизонтов. Расчеты ведут по следующим формулам:

при двух наблюдательных скважинах

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 (S_1 - S_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l_0}{2r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l_0}{2r_2} \right);$$

при одной наблюдательной скважине

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 S_1} \operatorname{arsh} \frac{l_0}{2r_1};$$

при отсутствии наблюдательных скважин

$$K = \frac{Q}{2\pi l_0 S_0} \ln \frac{0,66l_0}{r_0}.$$

Метод налива в скважины

Сущность метода заключается в наливе воды в скважину, что повышает уровень воды в ней, и в наблюдении за расходом наливаемой воды. Лучшие результаты получаются

при наличии расположенных по радиусу наблюдательных скважин, в которых определяют степень повышения уровня воды при постоянной высоте превышения уровня воды в центральной скважине.

Коэффициент фильтрации рассчитывают по формулам для определения его методом откачек — в формулах вместо понижения уровня воды в скважинах ставится величина повышения этих уровней.

Метод налива воды в скважину особенно пригоден для определения коэффициента фильтрации неводонасыщенных горизонтов почвы и подстилающих пород.

Если скважина доведена до водоупорного слоя, то коэффициент фильтрации определяют по соответствующим формулам для откачек, заменяя в них величину понижения уровня воды на величину повышения его.

Если же под дном скважины находятся водопроницаемые слои (но не водонасыщенные), то значение коэффициента фильтрации рассчитывают по зависимости:

$$K = 0,423 \frac{Q}{l_0^2} \lg \frac{2l_0}{r_0}.$$

Зависимость применима при условии: $12,5 < \frac{l_0}{r_0} < 50$ и при поливах в короткие интервалы.

Метод заполнения скважины водой

Метод заполнения скважин водой основан на том, что после вычерпывания воды из скважины первоначальный уровень воды восстанавливается в ней тем скорее, чем больше величина коэффициента фильтрации водоносной породы.

Для количественной связи между скоростью наполнения скважины водой и коэффициентом фильтрации было предложено несколько формул.

Для практических целей можно применять следующую формулу:

$$K = m \frac{r^2 (H-r)}{H^2} \frac{\lg \frac{y_0}{y_t}}{t} = m \frac{r^2 (H-r) \operatorname{tg} \alpha}{H^2}.$$

В этой формуле K обозначает, как и прежде, коэффициент фильтрации, но в сантиметрах в минуту; r — радиус буровой скважины в сантиметрах. Значение коэффициента m

в зависимости от радиуса скважины берется из следующих данных:

Радиус скважины (в см)	2	5	10	15	20	25
Значение m	5,14	4,03	3,17	2,68	2,35	2,11

Для радиусов промежуточной величины значения m находят интерполяцией; H — начальная (или равновесная) высота стояния уровня грунтовых вод над дном скважины (в см); y_0 и y_t — недостатки заполнения скважины водой по сравнению с начальной (до вычерпывания) высотой стоя-

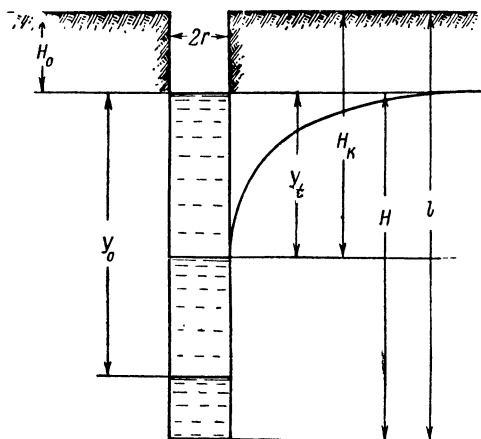


Рис. 27. Схема определения коэффициента фильтрации грунта по скорости заполнения скважины.

ния в начале опыта (при $T=0$) и спустя t минут (рис. 27). Недостатки заполнения также удобнее выражать в сантиметрах.

Определение коэффициента фильтрации проводится следующим образом.

На выбранной для испытания площадке с типичными для данных условий почвами, грунтами, растительностью, мезо- и микрорельефом закладывают буром две или три скважины на расстоянии нескольких метров друг от друга, заглубленные под уровень грунтовых вод на 25—50 или более сантиметров.

Желательно, чтобы бур имел диаметр 10—15 см. После этого оставляют скважины на 2—3 часа, а иногда, при медленном заполнении их водой, и на ночь для установления равновесного уровня воды глубина которого измеряется (H_0)

Затем производят вычерпывание воды из скважины. Для этой цели очень удобна изображенная на рисунке 28 клапанная водочерпалка, хотя вычерпывание можно произвести и любой консервной банкой.

Правда, в последнем случае вычерпывание оказывается неудобным и менее полным, а главное то, что при нем нельзя избежать некоторого разрушения стенок скважины, влияние которого на получаемые результаты трудно учесть. Еще до вычерпывания воды из скважины рядом с ней устанавливают уровнемер¹, который состоит из деревянной стойки с кронштейном и привинченным к нему блоком (рис. 29). Через последний перекинута пропарафинированная нить с привешенным к ней поплавком и грузом с указателем. Веса последних должны быть подобраны так, чтобы они хорошо натягивали и в то же время вес поплавка (пропарафинированный кусок дерева с грузиком в нижней части) должен быть настолько больше веса груза, чтобы свободно преодолевалось трение блока в оси и передвигался груз с указателем.

После того как из скважины вычерпана вода, быстро опускают в скважину поплавок и отмечают положение указателя на шкале. Следует иметь в виду, что при погружении поплавка в воду уровень ее в скважине несколько поднимается на величину, равную частному от деления разности в весах (в г) поплавка (P_1) и груза с указателем (P_2) на площадь поперечного сечения (S) скважины (в кв. см). После этого через каждую минуту или полминуты проводят отсчеты положения указателя на шкале уровнемера.

Если скорость подъема воды мала, то отсчеты производят через большие промежутки времени (так, чтобы изменение уровня между отсчетами составляло 1—2 см). Отсчеты с точностью до одной десятой сантиметра производят до тех пор, пока разность $y_0 - y_1$ не превысит по крайней мере трех четвертей H (см. рис. 27).

Глубина скважины l может быть замерена по величине последнего заглубления бура при закладке скважины или,

¹ При отсутствии уровнемера глубину до уровня воды в скважине можно измерить обычными способами (рейкой, рулеткой с грузиком и т. д.).

еще лучше, специальным замером после проведения измерений. Когда уровень воды в скважине начнет изменяться слабо, делают последний отсчет по шкале, быстро вынима-

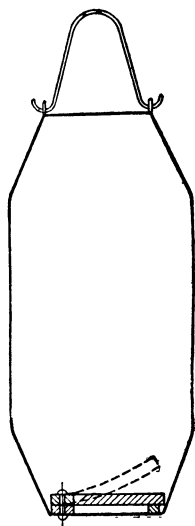


Рис. 28. Клапанная водочерпалка.

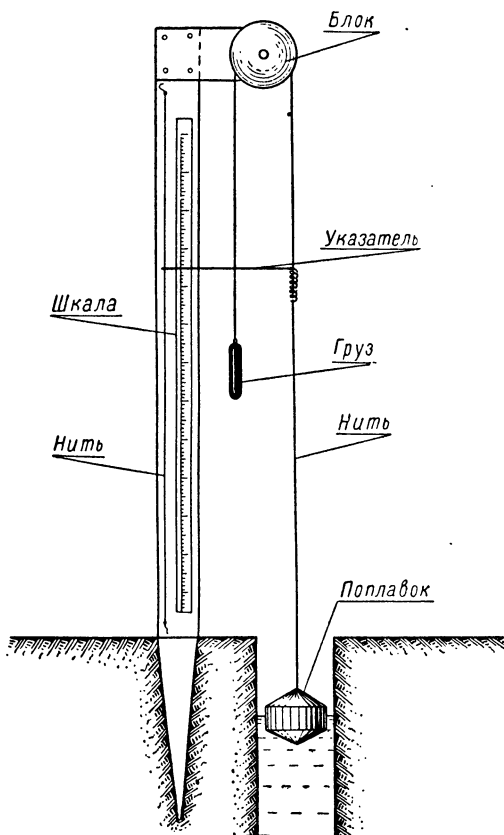


Рис. 29. Уровнемер.

ют поплавков и замеряют уровень грунтовой воды в конце опыта (H_k).

После этого зачерпывают из скважины воду и быстро измеряют ее температуру.

В случае необходимости, через несколько часов, убедившись в равновесии достигнутого уровня, замеряют и его

(H_0). Последние три глубины (l , H_K и H_0) замеряют от ребра, вбитого в край скважины колышка. После этих замеров определяют также температуру грунтовой воды.

В результате опыта:

$$H = l - H_0;$$

$$y_K = H_K - H_0 - \frac{P_1 - P_2}{S}.$$

После этого значения y от нулевого до предпоследнего могут быть подсчитаны по формуле:

$$y_l = y_K + (h_K - h_l),$$

где h — отсчеты по шкале уровнемера.

Все значения y записывают столбиком (так же, как и значения h при проведении полевого опыта). Затем подсчитывают и записывают значения $\frac{y_0}{y_t}$; $\lg \frac{y_0}{y_t}$ и, на-

конец, $\lg \frac{y_0}{y_t} = \lg \frac{y_0}{y_t}$ (все эти расчеты могут быть проведены по логарифмической линейке).

Значения $\lg \alpha$ должны быть более или менее постоянны, и в этом первый критерий правильности проведенного опыта и полученных результатов. Вычисления коэффициента фильтрации ведут по формуле $K = m \frac{r^2 (H - r) \lg \alpha}{H^2}$, подставляя в нее среднее значение $\lg \alpha$.

Для определения среднего значения $\lg \alpha$ складывают все значения t и все значения $\lg \frac{y_0}{y_t}$.

В эти суммы не включают начальные и конечные отсчеты, если подсчитанные для них значения $\lg \alpha$ сильно отличаются от характерного для данного опыта значения $\lg \alpha$.

Среднее значение $\lg \alpha$ получается делением суммы $\lg \frac{y_0}{y_t}$ на сумму t :

$$\lg \alpha = \frac{\sum \lg \frac{y_0}{y_t}}{\sum t}.$$

Образец записи при определении коэффициента горизонтальной фильтрации по скорости заполнения скважины водой приведен ниже.

Полевая запись

Расположение по отношению к ближайшему населенному пункту
 Название почвы и характеристика водоносной толщи
 Рельеф (мезо- и микро-). Дата измерения
 Температура воды
 Радиус скважины $r=6,5$ см
 1 скважина. Глубина скважины $l=135,5$ см
 Поправка на поплавок $\Delta h = 1,2$ см

Время в часах и минутах t	Отсчет по шкале h (в см)	Время в часах и минутах t	Отсчет по шкале h (в см)
9,45	35,9	9,54	42,9
9,46	36,7	10,01	44,2
9,48	38,4	10,06	47,0
9,50	40,0	10,36	59,3
9,52	41,5	11,06	63,9

Глубина стояния уровня воды в конце опыта: $H_{\text{к}}=100,5$ см.
 Равновесный уровень грунтовых вод: $H_0=95,0$ см.

Таблица 31

Камеральная запись

№ разреза _____
 Температура воды _____
 Радиус скважины _____
 Фамилия измеряющего _____
 Дата измерения _____

Время в минутах от начала замеров	Незаполненность скважины (y) (в см)	Отношение $\frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t} = \lg \alpha$	Примечание
0	32,3	—	—	—	Глубина скважины (l) 135,5 см
1	31,5	1,02	0,009	0,0090	Глубина стояния уровня воды в конце опыта ($H_{\text{к}}$) 100,5 см
3	29,8	1,08	0,034	0,0113	
5	28,2	1,14	0,057	0,0114	
7	26,7	1,21	0,083	0,0118	

Время в минутах от начала замеров	Незаполненность скважины (y) (в см)	Отношение $\frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t} = \frac{y_0}{t} = \lg \alpha$	Примечание
9	25,3	1,28	0,107	0,0119	Равновесный уровень воды (H_0) 95 см Поправка на поплавок (Δh) 1,2 см $\Sigma \lg \frac{y_0}{y_t} = \frac{2,038}{184} = 0,011$ Радиус скважины 6,5 см. Водоносная толща ($L - H_0 = H$) = 40,5 см
11	24,0	1,35	0,130	0,0118	
16	21,2	1,52	0,182	0,0113	
51	8,9	3,63	0,560	0,0109	
81	4,3	7,50	0,876	0,0108	
$\Sigma t = 184$		$\Sigma \lg \frac{y_0}{y_t} = 2,038$			

Коэффициент горизонтальной фильтрации:

$$\frac{3,77 \cdot 6,5^2 (40,5 - 6,5) \cdot 0,0111}{1640} = 0,0367 \text{ см/мин.}$$

При приведении к температуре 10° получаем:

$$K_{10} = \frac{0,367}{0,7 + 0,03 \cdot 8,5} = \frac{0,367}{0,949} = 0,387 \text{ мм/мин.}$$

Коэффициент скорости фильтрации. Для прогнозирования возможности размыва почвогрунтов или скорости выноса растворимых компонентов их необходимо знать коэффициент скорости фильтрации. Этим коэффициентом называется скорость движения воды в активных порах или трещинах породы при гидравлическом градиенте, равном единице:

$$K_v = \frac{K_{\Phi}}{P_{\text{акт}}},$$

где K_v — коэффициент скорости фильтрации;

K_{Φ} — коэффициент фильтрации;

$P_{\text{акт}}$ — активная пористость (скважность) в долях единицы.

Глава VI

ХАРАКТЕРИСТИКА КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Капиллярные явления в почвах обусловлены наличием в них пор, которые, соприкасаясь между собой, создают капиллярные цепочки переменных диаметров.

Для разных почв эти капиллярные цепочки различны не только по количеству, но и по качеству, т. е. по характеру связей между собой, диаметрам, устойчивости во времени и пр.

Характер порозности каждой почвы в сильной степени зависит от ее механического и агрегатного состава, а так как агрегатное состояние изменчиво во времени, то изменяются и капиллярные свойства почв.

Почвенные капилляры не являются простыми цилиндрическими, поэтому капиллярные явления в почвах только в общем виде подчиняются законам, выведенным для простых цилиндрических капилляров.

Методы расчета капиллярных свойств почвы на основе характеристики ее механического состава остаются пока условными и недостаточно проверенными. Поэтому для характеристики капиллярных свойств каждой отдельной почвы необходимо получить прямые экспериментальные данные.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Задача лабораторных занятий состоит в том, чтобы познакомиться учащегося с основными закономерностями капиллярных явлений в почвах:

1) высотой и скоростью капиллярного поднятия воды в почвах в зависимости от их механического и агрегатного состава;

2) распределением воды в зоне капиллярного поднятия;

3) изменением капиллярных свойств почвы под влиянием диспергирующих и коагулирующих почву растворов солей.

В соответствии с этими задачами опыты ставят с песком и суглинками различного агрегатного состояния:

1) песок — вода, 2) суглинок — вода, 3) суглинок — NaOH, 4) суглинок — CaCl_2 .

В качестве соли, диспергирующей агрегаты, берут NaOH в концентрации около 0,004 *n*, а в качестве соли, обеспечивающей устойчивость агрегатов и коагуляцию тонких частиц, — раствор CaCl_2 в концентрации около электролитического порога (более точно концентрация обеих солей для выбранных почв предварительно подбирается преподавателем).

Все опыты проводятся следующим образом: стеклянную трубку длиной 75—100 см и диаметром 1—1,2 см, обвязанную с одного конца марлей, загружают воздушносухой почвой, просеянной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, по возможности с одинаковой плотностью, например 1,4 г/см³. Для этого предварительно измеряют объем трубки и отвешивают необходимое количество почвы, которое вычисляют по равенству $A=1,4 \cdot v$, где *A* — количество почвы, *v* — объем трубки.

Отвешенное количество почвы через воронку для порошков переносят непрерывной струей в трубку и уплотняют постукиванием. После этого трубку закрепляют вертикально в штативе и под нее подводят стакан или чашку Петри, в которую наливают воду или солевой раствор так, чтобы жидкость покрывала нижний конец трубки слоем в 1—2 мм.

Заметив момент соприкосновения почвы с жидкостью, через определенные интервалы времени отмечают высоту поднятия жидкости, фиксируемую по видимой границе смачивания почвы.

Отсчеты ведут или по миллиметровой бумажной полоске, наклеенной сверху на трубку, или прикладыванием к трубке метра.

При каждом отсчете на трубке делают отметку восковым карандашом.

Наблюдения за высотой капиллярного поднятия воды в почве записывают по следующей форме.

Месяц и число	Часы на- блюдений	Интерва- лы наблю- дений (в мин.)	Общая вы- сота подня- тия воды (в см)	Высота под- нятия воды за данный интервал вре- мени (в см)	Скорость поднятия (в см/мин)
1	2	3	4	5	6

В первый период наблюдений, когда капиллярное поднятие идет быстро, отсчеты проводят через 3—5 мин., по мере уменьшения скорости поднятия воды интервалы увеличивают до 10, 20 мин. и т. д. Так как капиллярное поднятие воды не заканчивается за время одного занятия, то трубки оставляют на 5—6 дней (с добавлением жидкости в чашки) и отсчеты проводят один-два раза в сутки.

По окончании опыта определяют распределение влажности почвы по всей высоте капиллярной зоны. Для этого трубку надпиливают напильником и разламывают на участки: 5 см от нижнего конца трубки, 5 см от верхней части зоны капиллярного поднятия, а всю оставшуюся промежуточную зону разрезают на 4—5 (или большее количество) равных частей. Почву каждого отрезка переносят в сушильный бюкс и обычным (весовым) способом определяют влажность образца. Влажность в весовых процентах перечисляют на объемные проценты, используя для этого данные объемного веса почвы, полученные при набивке трубки.

Обработка результатов наблюдений. По результатам наблюдений строят графики:

1) интегральную кривую высоты капиллярного поднятия в зависимости от времени (см. таблицу выше, графа 4),

2) кривую скоростей капиллярного поднятия в зависимости от времени (см. таблицу выше, графа 6);

3) кривую распределения влаги в почве в зависимости от высоты капиллярного поднятия. Эту кривую строят в весовых и объемных процентах. Кроме того, на графике проводят линию общей порозности опытной колонны.

Порозность вычисляют из заданной в опыте плотности и среднего для данной почвы удельного веса.

Если для опытных почв имеются данные по механическому и агрегатному составу, то желательно дополнительно рассчитать высоту капиллярного поднятия по формуле:

$$H = \frac{6(1-P)\sigma}{P\rho g d_w},$$

где H — наибольшая высота капиллярного поднятия в почве (в см);

P — скважность;

σ — поверхностное натяжение около 73 дин/см;

g — ускорение силы тяжести 981 см/сек²;

ρ — плотность воды;

d_w — активный диаметр по Козени (в см).

Это же можно определить и по следующей формуле, принимая $H=0,02S$:

$$S = \sum_1^n \frac{6n_i}{\sqrt{d_{i+1} d_{i_n}}},$$

где S — удельная поверхность;

n_i — процентное содержание i фракции;

d_{i+1} и d_{i_n} — предельные диаметры, ограничивающие фракцию порядка i .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ ПРИ ПОМОЩИ КАПИЛЛЯРИМЕТРА

Принцип действия капилляриметра основан на способности почвогрунта, капилляры которого заполнены водой, выдерживать вакуум. Величина этого вакуума близко соответствует высоте капиллярного поднятия воды.

Для этих целей часто применяют капилляриметр С. В. Астапова — Г. Н. Коломенского. Рабочей частью этого капилляриметра (рис. 30) является стеклянный цилиндр 1 высотой 20 см и диаметром 4—6 см. Нижний конец цилиндра закрыт резиновой или пропарафинированной корковой пробкой 2, в которой имеются два отверстия — центральное и периферическое. В центральное отверстие вставлена металлическая или стеклянная трубка 3 диаметром 0,5—1 см, соединяющаяся резиновой трубкой через тройник 4 со стеклянной трубкой шкалы 13 — таким образом образуется U-образный манометр. Боковой отросток тройника 4 через другой тройник 5 соединяется с тубусом бутылки 6 при помощи ре-

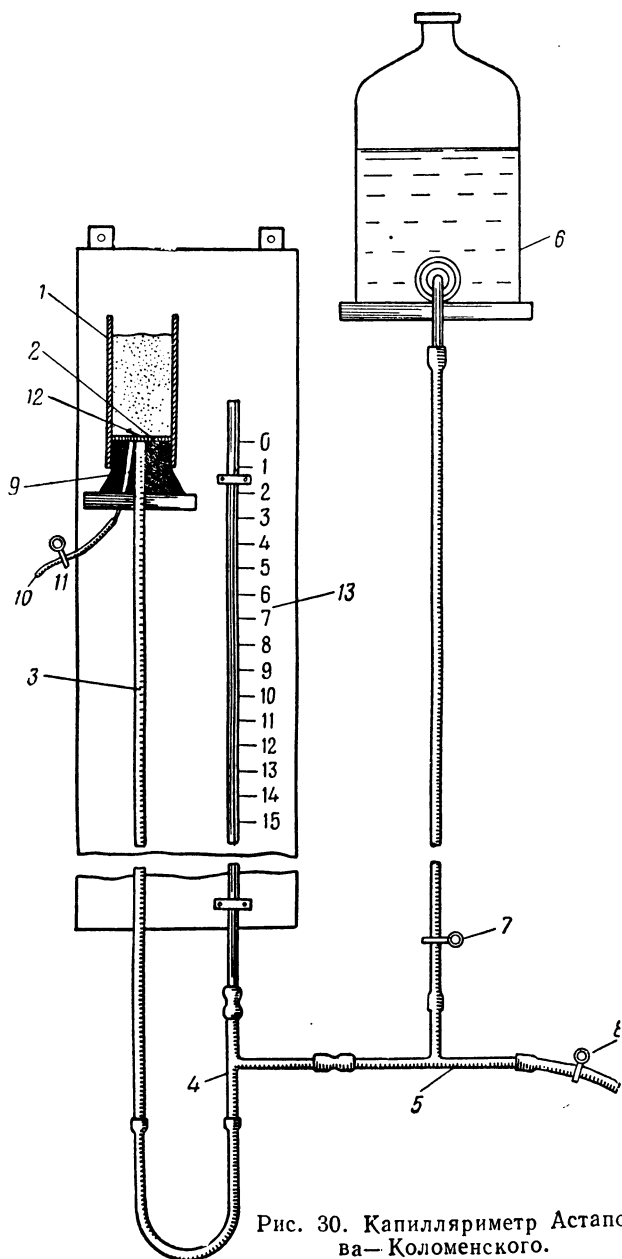


Рис. 30. Капилляриметр Астапова—Коломенского.

зиновой трубки с винтовым зажимом 7. На свободный конец тройника 5 надета резиновая трубка с винтовым зажимом 8. В периферическое отверстие пробки 2 вставлена тонкая стеклянная трубочка 9, соединенная с резиновой трубкой 10 с винтовым зажимом 11. Через эту трубочку выходит воздух при подведении к исследуемому образцу воды. Над резиновой пробкой в цилиндре помещается кружок из тонкой сетки 12.

Для определения высоты капиллярного поднятия вырезают цилиндр почвогрунта высотой 8 см и такого диаметра, чтобы он входил в стеклянный цилиндр с небольшим зазором. Остающийся зазор между почвогрунтом и внутренними стенками цилиндра заливают расплавленным парафином. Открывают зажимы 11 и 7 (зажим 8 закрыт) и насыщают почвогрунт водой до появления на поверхности его водяной пленки. При этом по появлении в трубочке 9 воды зажим 11 закрывают.

После насыщения почвогрунта водой подачу ее прекращают, закрывая зажим 7, и, медленно открывая зажим 8, наблюдают (по шкале 13) за постепенным понижением уровня воды в правой манометрической трубке. Это понижение происходит до определенного момента, после которого уровень воды в манометрической трубке останавливается и в дальнейшем может подниматься вверх при отрыве воды в левой трубке манометра от почвогрунта. Обычно перед отрывом воды от почвогрунта на сетке в манометрической трубке появляется значительное количество пузырьков воздуха.

В момент остановки уровня воды делают отсчет по шкале, что и дает величину высоты капиллярного поднятия воды.

Определение высоты капиллярного поднятия воды повторяют несколько раз и за окончательный результат берут среднее значение.

Цилиндр испытуемого почвогрунта не должен иметь в себе некапиллярных скважин — червоточин, корневых ходов и пр. В противном случае вырезают новый цилиндр.

В капилляриметре можно определять высоту капиллярного поднятия воды и для почвогрунтов нарушенной структуры, насыпая образец почвогрунта в стеклянный цилиндр при легком уплотнении. Для правильной работы прибора необходимо обеспечить герметичность всех соединений и совмещение нуля шкалы с уровнем сетки над пробкой.

Лучшие результаты капилляриметр дает для почвогрунтов глинистых, суглинистых и супесчаных.

Для песчаных разностей величину капиллярного поднятия воды можно определить таким путем только в самых крупных порах, т. к. результаты получаются заниженными.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В полевых условиях при изучении капиллярного передвижения воды и солевых растворов основной практический интерес представляет передвижение их вверх. Влияние сезонного колебания уровня грунтовых вод резко сказывается на распределении солей в почве. С падением уровня грунтовых вод значительная часть солей, растворенных в свободной воде, удерживается почвой и свободная вода постепенно обедняется солями; при повышении уровня она обогащается ими. Состав и количество солей в почвенном растворе значительно отличаются от состава и количества их в свободной воде или от солевых выпотов на поверхности почвы.

При залегании уровня грунтовых вод на глубине 1,5—1,75 м и ниже от поверхности и соответствующем механическом и агрегатном составе почвы капиллярные токи воды могут достигать поверхности почвы и испаряться. Если грунтовые воды пресные, то такие явления полезны, так как восходящие капиллярные токи воды перехватываются корнями растений и используются ими. При засоленных грунтовых водах это приводит к засолению верхних горизонтов почвы, так как вода испаряется, а принесенные с ней соли остаются.

Для определения высоты капиллярного поднятия пользуются следующими приемами.

а. Определение высоты капиллярного поднятия воды в почве по распределению влажности. Высоту капиллярного поднятия воды и солевых растворов в поле узнают посредством определения влажности почвы в скважине или на стенке почвенного разреза, начиная от грунтовой воды до поверхности почвы. Для этого в поле закладывают шурф до уровня грунтовой воды (при залегании последней на глубине не более 3—4 м).

По северной стороне стенки шурфа делают морфологическое описание разреза. Затем берут пробы из каждого горизонта или слоя для определения влажности.

В однородных слоях с маломеняющейся влажностью почвы пробы берут через каждые 20—30 см. В слоях неоднородных или с заметно меняющейся влажностью пробы берут через 5—10 см в соответствии с границами слоев или горизонтов.

Полученные результаты определения влажности (в весовых процентах) от уровня грунтовых вод до поверхности почвы наносят на график, где по оси ординат откладывают глубину от поверхности до уровня грунтовых вод, а на оси абсцисс — влажность. На этот же график наносят значения максимальной молекулярной влагоемкости различных горизонтов почвы. Все нижние слои почвы, для которых влажность оказалась больше максимальной молекулярной влагоемкости, можно считать находящимися в зоне интенсивного капиллярного подъема. Точку пересечения на графике линии полученной влажности с линией максимальной молекулярной влагоемкости ориентировочно считают за максимальную высоту интенсивного капиллярного поднятия.

б. Для ориентировочной оценки высоты интенсивного капиллярного поднятия воды в почве может быть также использован метод капиллярной каймы. Этот метод легко может быть использован при закладке почвенных шурфов до грунтовых вод. Летом и осенью до сильных дождей верхняя граница капиллярной каймы хорошо заметна на стенке разреза во время описания или на другой день после закладки шурфа. При этом методе необходимо замерить и записать глубину верхней границы капиллярной каймы и глубину залегания уровня грунтовых вод. Этот метод характеризует капиллярные свойства лишь той толщи, в которой проходит капиллярная кайма, т. е. почву или грунт у верхней границы каймы.

Две вышеупомянутые глубины могут быть зафиксированы бурением с послойным определением влажности грунта и вычерчиванием затем по полученным данным изменения влажности почвы по глубине.

в. Метод почвенной стенки состоит в сравнении распределения влажности по вертикальной стенке свежевырытого почвенного разреза и по той же стенке спустя один-два дня. Те части почвенной толщи, в пределах

которых осуществляется интенсивный капиллярный подъем, не покажут значительных изменений влажности. Более же высокие части почвенной толщи покажут резкое уменьшение влажности.

Практически это осуществляется следующим образом: почвенный разрез закладывают так, чтобы «голова» его была обращена на юг. Почвенный разрез используют для обычного описания и изучения строения его и оставляют на одни-двое суток. После этого рано утром берут послойно с восточной стенки почвенного разреза пробы почвы для определения в них влажности. Особенно подробно следует брать эти пробы около видимой верхней границы капиллярной каймы. Затем зачищают эту стенку разреза на 10—20 см и вновь по тем же слоям берут почвенные пробы. Определив обычным способом влажность и построив по полученным результатам графики распределения ее в почвенной толще, определяют максимальную высоту интенсивного капиллярного подъема грунтовой воды по самой глубокой точке заметного расхождения влажности зачищенной и подсушенной стенки почвенного разреза.

г. Метод искусственного уровня грунтовых вод. В случае глубокого залегания грунтовых вод скорость и высота капиллярного поднятия может быть определена путем создания искусственного уровня грунтовых вод. Для этого в шурфе, например на глубине 1,5—2 м, дно уплотняют трамбовкой и на нем поддерживают слой воды в 10 см. Для опыта берут грунтовую воду из ближайшего колодца или скважины. С момента создания слоя воды проводят наблюдения за высотой и скоростью капиллярного поднятия.

Вода в шурфе поддерживается на первоначальном уровне. Наблюдения за высотой и скоростью поднятия воды ведут в первый день через час, а затем раз в сутки до конца опыта. Когда опыт закончится, следует определить и вычислить распределение влажности снизу до верха шурфа.

Метод искусственного уровня грунтовых вод можно осуществлять и следующим образом. В шурфе, например на глубине 1,5—2 м, в одной из стенок подкапывают нишу площадью в горизонтальном направлении приблизительно $0,5 \times 0,5$ м и высотой 5—10 см. В нишу закладывают металлический поддон, наполненный крупным песком, плотно соприкасающимся со сводом ниши в стенке шурфа. В поддон наливают воду до полного насыщения песка.

Для поддержания постоянного уровня воды в поддоне пользуются сосудом Мариотта. Стенка шурфа, у основания которой заложен поддон, должна быть вертикальной и гладко зачищенной; к ней прикрепляют линейку с миллиметровыми делениями так, чтобы нуль ее соответствовал поверхности песка в поддоне.

С момента подведения воды учитывают расход воды, скорость и высоту капиллярного поднятия. Вода из поддона распространяется не только вверх, но и в стороны, и на поверхности увлажняемой стенки вскоре после начала опыта появится мокрое пятно. Пятно это по мере увлажнения будет увеличиваться, поэтому параллельно с наблюдениями за скоростью поднятия воды вверх следует через 10—15 час. отмечать видимую границу распространения влажности в стороны замерами линейкой или рулеткой. По этим замерам тщательно зарисовывают смачиваемую зону. Все зарисовки нужно нумеровать, а по окончании опыта нанести в определенном масштабе на миллиметровую бумагу.

По результатам наблюдений строится график, где по оси абсцисс откладывается время (в час.), а по оси ординат снизу вверх высота капиллярного поднятия (в см).

Глава VII

ИЗМЕРЕНИЕ ВСАСЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ pF ВОДЫ В ПОЧВЕ¹

ИЗМЕРЕНИЕ ВСАСЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ

Исследователям давно известен факт, что почва обладает способностью капиллярного всасывания воды, обусловленного силами поверхностного натяжения пленок, окружающих почвенные частицы, и что всасывающая сила почвы изменяется в зависимости от содержания влаги.

Величина всасывающей способности почвы, являющейся функцией влажности почвы, может служить показателем степени увлажнения, высоты капиллярного поднятия воды, скорости впитывания воды, диагностирования поливов и решения ряда других вопросов почвенной гидрологии.

Принцип действия прибора для определения величины всасывающей силы почвы состоит в том, что при помещении в почву наполненного водой сосуда с пористыми стенками вода переходит из него в почву до тех пор, пока не установится равновесие между величиной всасывающей силы почвы при данной ее влажности и отрицательным давлением в приборе. Изменение отрицательного давления внутри прибора обусловлено отсасыванием из него воды почвой. Величина отрицательного давления внутри прибора выражается в показаниях U-образного манометра, присоединенного к прибору или вакуумметра. При последующем уменьшении влажности почвы из сосуда переходит в почву еще некоторое количество воды, как раз в таком размере, который необходим для изменения давления в сосуде, соответствующего изменению влажности в окружающей почве. При увлажнении почвы вода поступает из нее в сосуд, уменьшая соответствующим образом давление в сосуде и, следовательно, показания манометра.

¹ Глава составлена при участии М. В. Преображенской, К. Н. Шишкова и О. В. Шаповаловой.

В 1924 г. этот принцип был применен В. Г. Корневым для измерения «всасывающей силы почвы» как степени способности почвы удерживать воду против осмотического давления корней растений.

С развитием более ясного представления о физических закономерностях, лежащих в основе явления «всасывания» почвой воды из пористого сосуда, это свойство почвы стало связываться с характером почвенной влаги, ее распределением в почвенных порах, что привело к появлению таких терминов, как капиллярный потенциал, потенциал давления, давление всасывания и пр., а для прибора, измеряющего эту величину, названий: капиллярный потенциометр, почвенный влагомер, тензиометр. Последнее название в наибольшей мере характеризует функцию прибора как измерителя капиллярного натяжения почвенной воды.

Предельной теоретической амплитудой действия тензиометра является изменение давления от нуля до 1 атмосферы, в то время как влажности почвы, близкой к коэффициенту завядания, соответствует величина водоудерживающей силы до 16 атмосфер.

Нельзя не видеть громадной разницы в величинах давления, поддающихся измерению тензиометрами, и тех, которые соответствуют всему диапазону изменений доступной влаги. Однако из ряда имеющихся данных следует, что приблизительно 85 процентам значений влажности, при которых нормально протекает жизнь растений, соответствует натяжение до 1 атмосферы; увеличение натяжения до 16 атмосфер происходит на сравнительно коротком отрезке интервала влажности вблизи точки завядания.

Таким образом, имеется возможность использовать тензиометр на достаточно большом отрезке влажности почвы, доступной для растений, — от предельной полевой влагоемкости почвы до влажности, близкой к коэффициенту завядания.

Наличие гистерезисного эффекта снижает пределы использования тензиометров. Однако отрицательная роль его может быть исключена, если использовать тензиометры для наблюдения за влажностью почвы в пределах одного какого-либо процесса — увлажнения или высушивания — при соответствующей тарировке приборов.

Использование тензиометрических показаний затрудняется также вследствие зависимости этих показаний от температурных условий. Эта зависимость определяется, с одной стороны, изменением величины отрицательных давлений в по-

чвенной воде при изменении температуры почвы, с другой, — изменением объема частей прибора.

Ричардс указывает, что при данном строении и влажности почвы имеется пропорциональность между натяжением почвенной воды и поверхностным натяжением, поэтому поправка на влияние температуры для показателей натяжения должна иметь ту же величину, что и для поверхностного натяжения. В другой работе автор иллюстрирует суточные изменения величины натяжения почвенной воды и дает формулу, связывающую величину натяжения с температурой почвы:

$$A = \frac{dh}{dt} = v + \frac{d(V - m_w - \rho_{H_2O})}{dt},$$

где h — высота ртутной колонки;

A — площадь пористой поверхности сосуда;

v — скорость движения воды через стенки сосуда;

m_w — масса внутри сосуда;

ρ_{H_2O} — плотность воды;

V — емкость сосуда.

Пользуясь этой формулой и располагая кривыми зависимости натяжения от влажности почвы, можно ввести поправки на колебания температуры.

Использование тензиометров. Несмотря на наличие отмеченных затруднений при получении правильных тензиометрических показаний о натяжении почвенной влаги, в настоящее время в литературе описан большой опыт ряда исследователей, свидетельствующий о возможности успешного использования тензиометров для решения ряда вопросов, связанных с динамикой почвенной влажности. А. Т. Морозов применил тензиометры в полевых условиях для изучения процессов передвижения воды при бороздном поливе, подпочвенном орошении и проведении опытов по фильтрации. К. Н. Шишкв успешно использовал тензиометры для изучения динамики влажности почвы и диагностирования сроков полива в Саратовской, Ростовской, Курской и Московской областях.

Многочисленные материалы показывают, что тензиометры могут быть полезными при анализе процесса просачивания воды в нижележащие слои почвы, при изучении явлений фильтрации из прудов и водоемов.

Мор применил тензиометры для лабораторного изучения водопроводимости почв в условиях отсутствия насыщения

почвы водой и для установления этим методом зависимости водопроводимости от величины исходной влажности почвы.

Конструкции тензиометров. В 1936 г. Ричардс описал три основных типа тензиометров: указывающий, регистрирующий и дифференциальный. Регистрирующий тензиометр отличается от первого типа применением самозаписывающего вакуумного манометра для записи показаний натяжений. В дифференциальном тензиометре имеется два пористых сосуда, каждый из которых соединен с одной из ветвей манометра. Разность уровней ртути в обеих трубках манометра соответствует разности отрицательных давлений в точках помещения того и другого сосуда. Такого рода тензиометр наиболее удобен для изучения процесса передвижения воды в почве, облегчая установление размеров и направления градиентов натяжения почвенной воды, а тем самым и установление направления передвижения воды. Необходимым условием для правильной работы таких тензиометров должно быть относительно близкое расположение пористых сосудов с тем, чтобы в промежутке между ними не было изменения направления градиента давления.

Пористый сосуд тензиометра наряду с хорошей водопроводимостью пористых стенок должен иметь прежде всего слабую проницаемость для воздуха при заполнении сосуда водой. Тензиометр может удовлетворительно работать при условии, когда он при испытании выдерживает вакуум в 0,85—0,90 атмосферы. В противном случае воздух прорывается в прибор и нарушает его показания.

Испытание фильтра прибора на воздухопроницаемость легко может быть проведено путем наблюдения той величины вакуума, при которой воздух начинает входить в тензиометрический сосуд, погруженный в воду и соединенный с вакуум-насосом.

Однако даже в том случае, если стенки-фильтры прибора непроницаемы для воздуха в пределах вакуума в 0,85—0,90 атмосферы и все соединения прибора плотно держат вакуум, все же накопление воздуха в приборе не будет исключено. Если при увлажнении почвы отрицательное давление в ней будет меньше разрежения в сосуде, вода начнет из почвы поступать в сосуд. Но вода содержит воздух, и в процессе высыхания почвы этот воздух, под влиянием увеличения вакуума над водой, будет из нее выходить в освобождающееся от воды пространство. Для того чтобы оказавшийся в системе воздух не мог повлиять на показания

манометра, в приборе устраивают специальное приспособление, называемое воздухоуловителем, который представляет собой стеклянный цилиндрический резервуар с пробкой на конце пористого сосуда (обычно это трубка того же диаметра, что и сосуд).

Появившийся в системе воздух поднимается к верхнему концу воздухоуловителя, где он может быть обнаружен и удален. При хорошо держащих вакуум соединениях и высоких качествах пористого материала в отношении пропускания воздуха удалять воздух приходится не менее одного раза в неделю. Обычно удаление воздуха из прибора приурочивают к моментам полива или выпадению осадков.

В целях предотвращения попадания воздуха в тензиометр необходимо принимать ряд мер: заполнять его прокипяченной водой, соединения делать возможно более короткими и употреблять для них проверенные вакуумные трубки.

Перед употреблением прибор должен быть проверен на вакуумустойчивость. Проверка состоит в наблюдении за постоянством уровня ртути в манометре при максимальном разрежении (обычно 0,85 атмосферы), достигаемом или отсасыванием со стороны верхнего конца воздухоуловителя, или испарением с поверхности пористого сосуда.

В целях предотвращения отложения солей в порах сосуда тензиометр необходимо заполнять дистиллированной водой. Для удаления воздуха, попавшего в систему, в воздухоуловителе нужно вынуть пробку и заполнить воздушное пространство водой.

Манометры для измерения вакуума в сосудах могут употребляться разной конструкции. Более точные показания дает трубочный; положительные результаты были получены и при употреблении круглых вакуумных манометров Бурдона, имеющих большую прочность по сравнению с первыми.

Манометрическая шкала может быть градуирована в единицах ртутного или водного столба. Рекомендуются употреблять диаметр манометрической трубки приблизительно около 1,5 мм. Меньший диаметр требует особой чистоты ртути и трубки, чтобы избежать ошибки в показаниях, а также введения поправки на капиллярную депрессию. Большой диаметр связан с уменьшением точности показаний вследствие увеличения вредного пространства.

В тех случаях, когда показания тензиометра должны быть выражены в величинах влажности почвы, необходима

предварительная тарировка приборов. Применяются полевой и лабораторный способы тарировки тензиометров.

Тарировка в полевых условиях проводится путем одновременного наблюдения за показаниями тензиометра, установленного на данную глубину на полевой деланке, и влажностью почвы. Влажность почвы определяется весовым методом на пробах, взятых небольшим буром (1—2 см в диаметре) вблизи тензиометра, на расстоянии не более 30—45 см от него.

Лабораторный метод тарировки может осуществляться следующим образом. Тензиометр помещают в сосуд с насыщенной почвой и производят наблюдения за его показаниями в различные моменты испарения воды с поверхности почвы (влажность устанавливают по весу сосуда с почвой).

При монтаже прибора особое внимание должно быть обращено на то, чтобы система хорошо сохраняла вакуум, имела высокую прочность, необходимую для работы в поле, и была устроена так, чтобы прибор можно было легко заполнить водой. В то же время все соединения, а также дополнительные части, служащие для обнаружения и удаления воздуха из прибора, должны быть выполнены с таким расчетом, чтобы свести до минимума влияние температурных колебаний (путем соответствующего уменьшения размеров воздухоуловителя соединительных трубок, выбором термоустойчивого материала для соединения).

Тензиометр, разработанный и рекомендуемый Ричардсом для полевых условий, состоит из следующих частей.

Пористый сосуд слегка конусообразной формы соединяется через медную соединительную трубку с воздухоуловителем, представляющим собой стеклянную трубку с пробкой на конце. От медной трубки между пористым сосудом и воздухоуловителем отходит узкая медная трубочка, ведущая к манометру. Вся переходная часть от пористого сосуда к воздухоуловителю заключена в стальной цилиндр и прикреплена к нему винтами. Это обеспечивает высокую прочность прибора. Применяются два варианта этой части прибора с манометром. В одном из них пористый сосуд, воздухоуловитель и манометр расположены на одной оси; манометр монтируется на штанге из швеллерного железа, приваренной к верхней части стальной трубы. В другом варианте манометр укрепляется на деревянной стойке, вбитой в землю рядом с местом расположения пористого сосуда. Манометр применяется с одной ветвью, опущенной в резервуар с рту-

тью, или типа Бурдона. Манометрические стойки рекомендуется окрашивать в белый цвет для уменьшения влияния

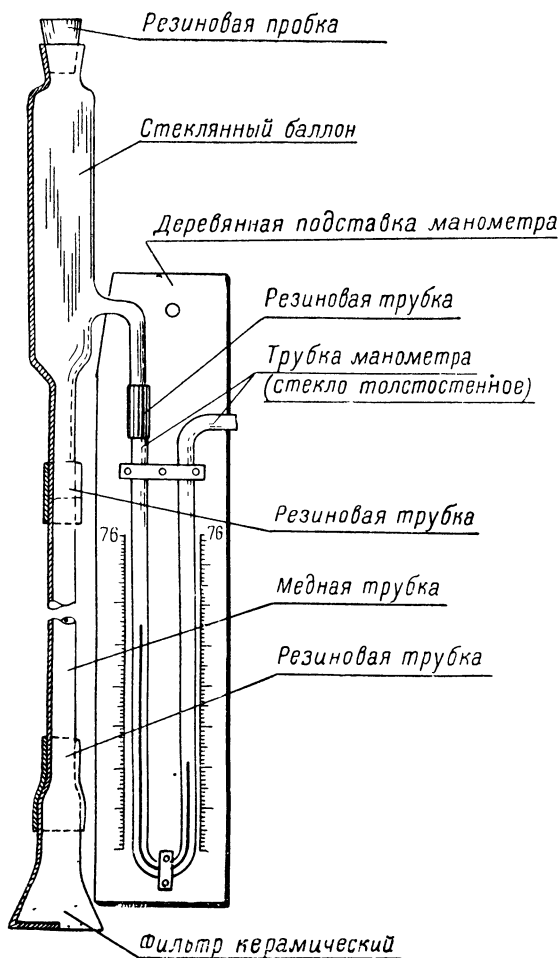


Рис. 31. Схема тензиометра.

солнечных лучей (полезно устанавливать манометры в специальные защитные будки). На воздухоуловитель, из тех же соображений, следует надевать алюминиевые или деревянные колпачки.

Прибор, собранный в лаборатории, испытанный на герметичность вакуумной системы и протарированный, переносят на полевой участок и вставляют в отверстия, проделанные буром такого же или несколько меньшего диаметра, чем диаметр пористого сосуда. Во избежание возможного просачивания воды вдоль стенок трубки зазор между ними и почвой плотно заполняют землей.

Тензиометры описанной конструкции могут быть установлены на глубину до 4,5 м.

Определение влажности почвы тензиометром К. Н. Шишкова

Тензиометр К. Н. Шишкова применяется для наблюдений за динамикой влажности почвы в корнеобитаемом слое. Этот прибор прост по конструкции, надежен в работе, несложен в обращении и обеспечивает немедленное получение значений влажности почвы непосредственно в поле.

Тензиометр состоит из следующих частей (см. рис. 31): а) фильтра керамического с диаметром пор 1—1,5 микрона, обеспечивающего вакуумустойчивость при разрежениях до одной атмосферы и дающего возможность воде свободно проходить через поры при соприкосновении его с почвой; б) латунной или медной трубки внутреннего диаметра от 8 до 12 мм, служащей для соединения фильтра со стеклянным баллоном. Длина трубки определяется глубиной установки тензиометра в почве; в) стеклянного баллона (воздухоуловителя) высотой 100 мм, диаметром 24 мм, имеющего сверху отверстие для заполнения прибора водой и выпуска из него воздуха. Верхнее отверстие баллона закрывается резиновой пробкой. В нижней части баллона имеются два отростка для соединения его с медной трубкой и манометром; г) ртутного манометра, состоящего из стеклянной трубки внутреннего диаметра 1,5 мм, U-образно изогнутой. На шкале манометра нанесены деления через 1 мм.

Принцип действия прибора. Прибор заполняется водой, керамический фильтр его помещается в почве и плотно соприкасается с ней.

После введения керамического фильтра в почву, вода из прибора через пористое дно фильтра переходит в почву до тех пор, пока не установится равновесие между величиной всасывающей силы почвы и отрицательным давлением внутри прибора, измеряемым показанием ртутного манометра

или вакуумметра. Последующие изменения влажности почвы в пределах от капиллярной влагоемкости и до израсходования почвой 80—90% доступной растениям воды, отражаясь на всасывающей способности почвы, регистрируются показаниями манометра прибора.

Истинный отсчет значения величины всасывающей силы почвы получается путем вычитания из отсчета манометра его поправки или точки нуля. Поправка характеризует величину отрицательного давления в приборе, не связанную с проявлением всасывающей силы почвы, а зависящую от давления водяного столба прибора.

Для перевода показаний прибора в значения влажности истинные отсчеты всасывающей силы почвы по манометру тарируются с эквивалентными величинами влажности, определенной весовым методом в полевых или лабораторных условиях.

Определение точки нуля тензиометра. Точкой нуля тензиометра называют величину отрицательного давления при соприкосновении фильтра прибора с водой. Эту величину со знаком + отнимают от показаний манометра, когда фильтр помещен в почву.

Собранный влагомер укрепляют на штативе в вертикальном положении. На свободный конец манометрической трубки надевают резиновую трубку с воронкой на конце и заполняют трубку водой. Затем воронку опускают на уровень края манометрической трубки, наливают в нее 20 г очищенной ртути и поднимают воронку с ртутью вверх. При этом ртуть заполняет манометрическую трубку. Высота ртути в коленях манометра должна составлять 38 см.

После этого через верхние отверстия баллона наливают прокипяченную воду, которая должна соприкоснуться с ртутью манометра.

Если между водой и столбиком ртути окажутся пузырьки воздуха, то их удаляют, для чего к баллону присоединяют вакуум-насос.

Для определения точки нуля прибора фильтр тензиометра соприкасают с водой, доливают баллон до верха водой и плотно закрывают резиновой пробкой. Через некоторое время уровни ртути в обоих коленях манометра устанавливаются. После этого производят отсчеты установившихся уровней ртути в обоих коленях по шкале с точностью до 1 мм и записывают в таблицу по следующей форме.

Дата	№ тензиометра	Отсчет манометра ртутного столба (в см)		Разность (в см ртутного столба) между отсчетами 1-го и 2-го колена манометра	Точка нуля (поправка)
		1-е колено	2-е колено		

При измерении влажности почвы точку нуля тензиометра (поправку) каждый раз необходимо вычитать из разностей уровней ртути в манометре как величину, не связанную с сосущей силой почвы.

Проверка вакуумустойчивости фильтра. Собранный и приготовленный для работы прибор вешают на стенку и дают воде испаряться через поверхность керамического фильтра. По мере испарения в приборе создается отрицательное давление (натяжение), которое и измеряется манометром прибора. Исправный прибор должен показать величину отрицательного давления 0,85 атмосферы, или 646 мм ртутного столба. Если прибор не выдерживает этого разрежения, то последовательной проверкой его частей определяют деталь, не выдерживающую отрицательного давления, и заменяют ее.

Тарировка тензиометра. Между влажностью почвы и соответствующим ей отрицательным давлением существует корреляционная зависимость, обычно выражаемая эмпирической формулой: $W = \frac{b}{x+a} + c$, где W — влажность почвы (в %); x — показанное тензиометром отрицательное давление с поправкой на точку нуля, выраженное в миллиметрах ртутного столба, a , b и c — параметры уравнения. Кривая, отвечающая данному уравнению, является гиперболой, причем величина значения W приближается к величине c , в то время как x возрастает за пределы измерений. Величина c представляет собой количество неусвояемой растениями воды в почве.

Для определения влажности почвы с помощью тензиометра необходимо определить зависимость между влажностью почвы и показаниями тензиометра, отвечающими заданной влажности. Определение этой зависимости, или тари-

рование прибора, можно проводить как в полевых, так и в лабораторных условиях. Для лабораторной тарировки берут в металлический бачок размером $20 \times 20 \times 15$ см монолит почвы с ненарушенной структурой, влажность которой определяли или собираются определить тензиометром. Определяют вес сухой почвы монолита, находящегося в ящике. Насыщают монолит водой до предельной влагоемкости и выполняют тарирование следующим образом:

1) определяют вес монолита с тарой взвешиванием с точностью до 1 г;

2) в монолите буром делают скважину на глубину 10 см для установки фильтра тензиометра;

3) устанавливают тензиометр (он предварительно должен быть проверен на вакуумустойчивость) и укрепляют манометр на металлической подставке;

4) почвой, вынутой из скважины, заделывают скважину;

5) взвешивают монолит с тензиометром для определения веса тензиометра с подставкой;

б) записывают отсчеты манометра по форме:

№ монолита		
Дата		
Вес монолита с тарой и тензиометром (в г)		
Вес тары и тензиометра (в г)		
Вес сухого монолита с тарой и тензиометром		
Вес сухой почвы монолита (в г)		
Количество воды в монолите (в г)		
Процент влажности почвы		
Отсчеты манометра	1-е колено	
	2-е колено	
Разность отсчетов манометра		
Поправка прибора		
Отрицательное давление (натяжение в сантиметрах ртутного столба)		

7) для ускорения испарения воды из монолита поверхность его обогревают электрическим рефлектором или обдувают вентилятором;

8) ежедневно утром взвешивают монолит с тензиометром для определения количества испарившейся воды и записывают показания тензиометра.

В результате наблюдения получают величины отрицательного давления и соответствующие им значения влажности. Тарировку делают в двукратной повторности. На мил-

лиметровой бумаге вычерчивают график зависимости между отрицательным давлением и влажностью.

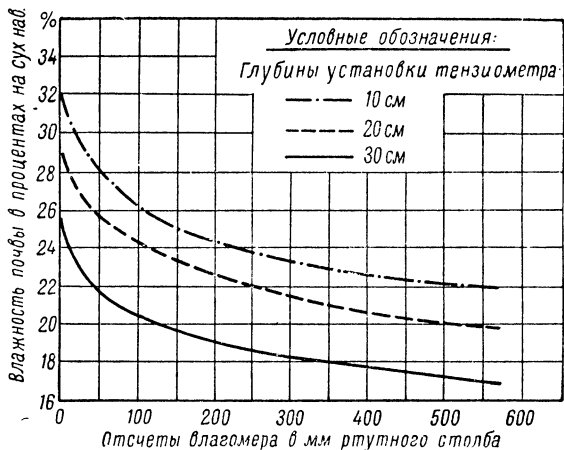


Рис. 32. Кривые зависимости между показаниями тензиометров и влажностью почвы орошаемого участка ВНИИГиМ (отсчеты тензиометра в мм ртутного столба).

Для этого по оси x откладывают в масштабе величины отрицательного давления в сантиметрах ртутного столба,

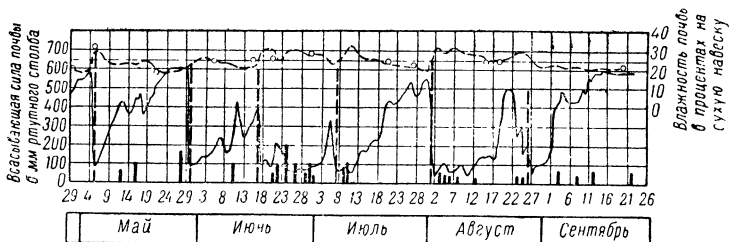


Рис. 33. Динамика всасывающей силы и влажности почвы на глубине 20 см на участке многолетней травосмеси (клевер+тимофеевка) первого года пользования при поливах дождеванием.

Сплошная зигзагообразная линия обозначает всасывающую силу почвы; пунктирная—влажность почвы в процентах на сухую навеску по влагомерам; кружочки—влажность почвы по весовым определениям; вертикальные столбики—осадки в мм; вертикальные пунктирные линии—поливы в мм.

а по оси W — влажность почвы в процентах к весу абсолютно сухой почвы. Полученный график дает возможность пе-

реводить измеренное отрицательное давление в эквивалентное значение влажности. Образец тарифовочной кривой приведен на рисунке 32.

Проведенные в почвенно-мелиоративной лаборатории ВНИИГиМ исследования показали хорошие качества тензиометра для измерения водного режима почвы.

Определение тензиометром промачивания почвы при разных способах полива и момента капиллярного насыщения почвы

Для решения задачи выполняют следующие работы:

1) взвешивают с точностью до 1 г монолит с установленным тензиометром и измеряют величину отрицательного давления, соответствующего влажности почвы;

2) измеряют площадь сечения монолита и вычисляют количество воды для увлажнения монолита из расчета поливной нормы;

3) выливают вычисленное количество воды на поверхность монолита напуском или дождеванием и следят за показаниями манометра;

4) изменения в показаниях манометра покажут, что вода дошла до зоны заложения фильтра тензиометра;

5) момент установления ртути в манометре на точке нуля тензиометра определит капиллярное насыщение почвы.

Установка тензиометра в поле. Глубина закладки керамического фильтра тензиометра определяется характером исследования. Например, при изучении динамики влажности корнеобитаемого слоя почвы под овощными культурами эти фильтры устанавливают на глубинах 10, 20, 30 и 50 см при расстоянии между трубками влагомера около 30 см.

Для установки влагомера буром диаметром немного более диаметра фильтра влагомера пробуривают скважину на необходимую глубину. Затем в скважину опускают деревянный стержень (палку) такого же диаметра в нижней части, где она имеет срез, нормальный к оси. Осторожным вращательным движением стержня выравнивают дно скважины. В подготовленную таким образом скважину вводят трубку влагомера до соприкосновения фильтра с дном ее и притирают фильтр к дну скважины, осторожно поворачивая трубку из стороны в сторону. После этого скважину послойно засыпают вынутой при бурении землей, которую слегка

утрамбовывают по мере заполнения скважины. При засыпке следует стремиться к тому, чтобы засыпающая земля укладывалась соответственно генетическим горизонтам почвы.

Сзади манометрической шкалы установленного влагомера забивают на глубину 25—30 см рейку, к которой при помощи шурупов прикрепляют манометрическую шкалу.

После установки влагомера воздухоуловитель полностью заливают кипяченой водой.

В процессе работы тензиометра при достижении высоких степеней вакуума в баллон воздухоуловителя проникает воздух. Его необходимо периодически удалять из прибора доливанием в баллон кипяченой воды. Эту операцию желательно проводить, когда наберется около 3 см³ воздуха, и приурочивать ее к поливам или дождям, когда почва становится влажной.

Определение pF воды в почве

Многие исследователи за рубежом предлагают характеризовать водоудерживающую силу почвы не отдельными константами (эквивалентом влажности, максимальной молекулярной влагоемкостью, максимальной гигроскопичностью и др.), а всей кривой, дающей зависимость между влажностью почвы и ее водоудерживающей силой.

Ввиду того, что водоудерживающая сила почвы изменяется в больших пределах, достигая при низкой влажности почвы величин порядка нескольких тысяч атмосфер, для выражения этой зависимости Скофильд предложил ввести символ pF . Значения pF представляют собой десятичные логарифмы выраженной в сантиметрах высоты водяного столба, свободная энергия которого, измеряемая по шкале тяжести (F), эквивалентна водоудерживающей силе, соответствующей той или иной влажности почвы. Применение шкалы pF , основанной на свободной энергии столба жидкости вместо его давления, освобождает от необходимости учитывать плотность жидкости и позволяет применять вместо воды другие жидкости, для которых значения pF также будут равняться десятичным логарифмам высоты их столба, выраженной в сантиметрах. При построении кривых pF по оси абсцисс откладывают процентные величины влажности, а по оси ординат соответствующие им значения pF (точки кривой получаются на пересечении перпендикуляров, восстановленных к осям координат в соответствующих точках).

Для одной и той же влажности почвы, в зависимости от происхождения этой влажности, главным образом от того, получена ли она путем обезвоживания более влажной почвы или, напротив, путем насыщения водой более сухой почвы, получаются два различных значения водоудерживающей или всасывающей силы почвы. Таким образом, для условий высыхания и увлажнения почвы получаются две кривые, расхождение которых называется явлением гистерезиса; это расхождение уменьшается при увеличении продолжительности высушивания или насыщения почвы.

Для получения значений pF меньше 3 предлагают изменять влажность почвы непосредственным отсасыванием воды из почвы через тонкопористую мембрану с помощью разрежения (вакуума), измеряемого манометром и принимаемого равным величине свободной энергии. Значения pF от 3 до 4,4 определяют по понижению точки замерзания воды в почве. Значения pF от 4,15 и выше до предельного значения 7 (для абсолютно сухой почвы) вычисляют по

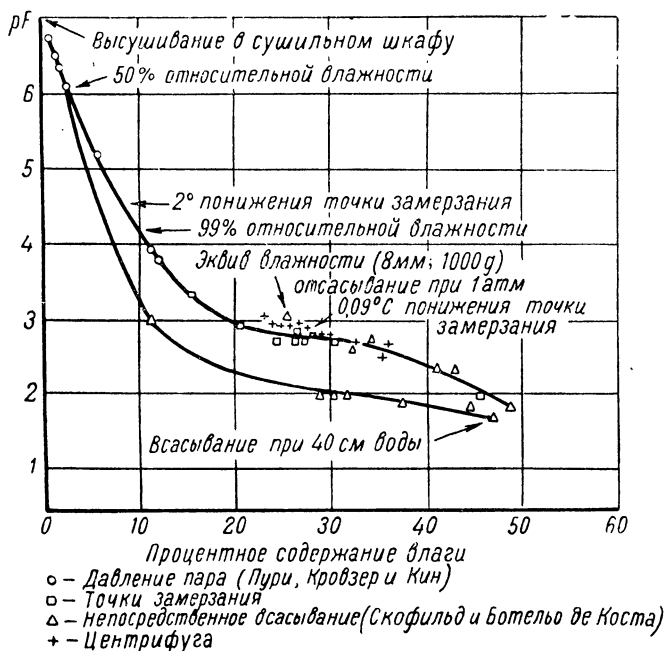


Рис. 34. Кривые pF воды в почве, построенные для образца почвы с делянки под травой (суглинок, Ротамстедская опытная станция).

давлению водяного пара, в зависимости от которого устанавливается та или иная влажность почвы. Полученные таким образом три части кривой pF условно объединяют, предполагая, что они выражают одну непрерывную зависимость. Зависимость между влажностью почвы и ее водоудерживающей силой устанавливают иногда путем центрифугирования и отсасывания влаги из почвы калиброванными пористыми пластинками. На рисунках 34 и 35 приведены кривые pF суглинистых почв, построенные для условий иссушения (верхние) и насыщения (нижние).

Скофильд считает ошибочным вычисление влажности, являющейся нижним пределом доступного для растений содержания воды в почве и называемой коэффициентом завядания, по эквиваленту

влажности или максимальной гигроскопичности с помощью переводных коэффициентов, одинаковых для всех почв. Он указывает, что при одной и той же силе всасывания воды из почвы корнями растений отношение коэффициента завядания к эквиваленту влажности будет определяться видом кривой pF данной почвы для условий ее высы-

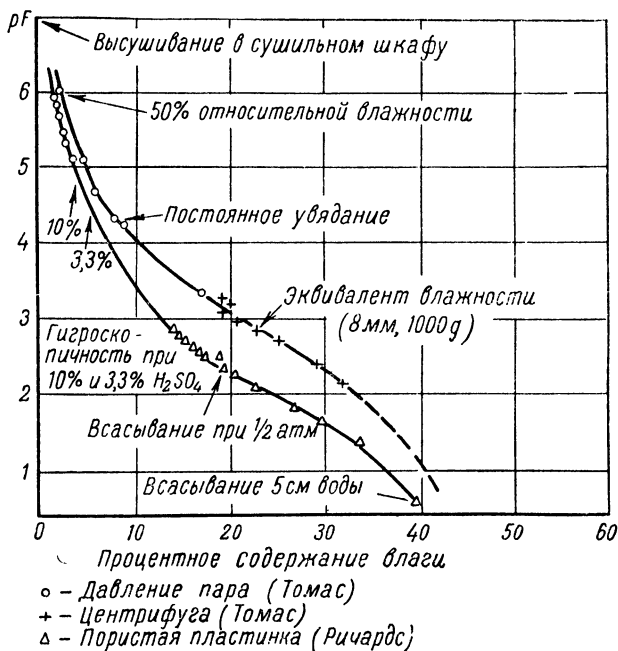


Рис. 35. Кривые pF воды для глинки.

хания, а отношение его к максимальной гигроскопичности, кроме того, еще отклонением кривой высыхания от кривой насыщения. Для нахождения коэффициента завядания Скофильд предлагает принять значение pF равным 4,2 и находить влажность, соответствующую этому значению pF для условий высыхания почвы, непосредственным определением или по кривой pF данной почвы для условий высыхания, построенной по другим точкам.

Определение pF методом отсасывания. Определение pF методом непосредственного отсасывания воды из почвы через тонкопористую мембрану, проницаемую для воды, но не пропускающую во влажном состоянии воздух, производят по способу Скофильда и Ботельо де Коста следующим образом.

В бюхнеровскую воронку поверх ее перегородки с отверстиями вкладывают простой бумажный фильтр, предварительно покрытый суспензией тонкого ила слоем около 1 мм. Затем в воронку

помещают образец почвы, насыщенной до полной влагоемкости, который распределяют равномерным слоем толщиной в несколько миллиметров, и устанавливают воронку на пробке в колбу Бунзена, снабженную манометром и соединенную с насосом для разрежения воздуха.

Следует отметить, что такое простейшее оборудование для определения величины pF методом отсасывания не обеспечивает сохранения структуры исследуемой почвы и необходимой точности исследований.

Создавая различное разрежение в колбе, получают, в результате отсасывания воды из почвенного образца через воронку, соответствующие значения влажности почвы, которые определяют обычным способом (высушиванием части образца в сушильном шкафу). Выражая разрежение в сантиметрах высоты водяного столба (H), находят $pF = \lg H$. Так как предельному разрежению около 1 атмосферы соответствует высота водяного столба около 1000 см, предельное значение pF , определяемое таким способом, равно $\lg 1000$, т. е. 3.

Продолжительность определения зависит от того, как скоро установится постоянная влажность почвенного образца, практически до 24 часов при pF меньше 2 и до 48 часов при pF от 2 до 3.

Определив значения влажности почвы, соответствующие нескольким значениям разрежения (от трех до пяти значений), получают точки нижней части кривой pF для условий высыхания почвы.

Значения pF для кривой насыщения могут быть получены путем насыщения водой сухой почвы при определенном разрежении. Для этого пользуются тем же оборудованием, наливая воду для насыщения почвы в колбу Бунзена в таком количестве, чтобы она заполняла носик воронки при опрокидывании колбы с воронкой и почвой. Воронку предварительно закрывают резиновой пробкой так, чтобы почва при опрокидывании воронки не высыпалась, а воздух из почвы при ее насыщении водой мог бы свободно выходить.

Определение pF по понижению точки замерзания воды в почве. Определение показателя водоудерживающей силы почвы pF по понижению точки замерзания воды в почве основано на зависимости между степенью связанности почвенной воды при различной влажности почвы и температурой ее замерзания. Принимается, что разность свободной энергии воды в чистом виде и воды, связанной почвой, выраженная по Скофилду в сантиметрах высоты водяного столба (H), свободная энергия которого эквивалентна этой разности, прямо пропорциональна понижению точки замерзания воды в почве. Таким образом, определяя температуру замерзания почвы при различной ее влажности, получают данные для вычисления значений H и соответствующих значений pF .

Значения pF , определяемые этим способом с целью построения кривой pF для условий обезвоживания почвы, рекомендуется получать, ограничиваясь пределами 3 (значение pF , соответствующее понижению точки замерзания воды в почве на $0,09^\circ$) и 4,4 (значение pF , соответствующее понижению точки замерзания на 2°). Почвенные образцы при таких определениях практически могут иметь влажность от предела отсасывания воды до гигроскопичности, получаемой в результате подсушивания над 3-процентным раствором H_2SO_4 .

При нахождении точек кривой pF воды в данной почве по понижению температуры замерзания из почвенных образцов с различ-

ной в указанных пределах влажностью, выдержанных предварительно в течение двух суток в бюксах для равномерного распределения в них влаги, берут по две навески в 10—15 г каждая. Одна навеска используется для определения точки замерзания воды в почве, другая — для определения влажности почвы обычным способом (высушиванием в сушильном шкафу). Оба определения можно проводить параллельно; кроме того, следует сделать контрольное определение влажности первой навески после определения температуры замерзания воды в ней.

Определение точки замерзания проводится криоскопическим методом. Прибор, в котором производят определение (криоскоп), состоит из сосуда с охлаждающей смесью, широкой пробирки, укрепленной в крышке сосуда, и обыкновенной пробирки, вставленной на пробке в широкую пробирку. В узкую пробирку вставляется на пробке бекмановский термометр (с делениями 0,01°), а в сосуд с охлаждающей смесью обычный термометр (с делениями 0,1°).

Определение точки замерзания воды в почве заключается в следующем: 1) наружный сосуд криоскопа и какой-нибудь другой широкогорлый сосуд (например, широкогорлую коническую колбу) наполняют охлаждающей смесью, состоящей из снега или толченого льда, посыпанных поваренной солью (NaCl) в таком количестве, чтобы температура смеси была около—3°; 2) навеску почвы (10—15 г) с определенной влажностью помещают в узкую пробирку криоскопа и закрывают пробирку пробкой с вставленным в нее бекмановским термометром. При этом шарик термометра погружают в почву, которую плотно обжимают вокруг него; 3) пробирку с почвой и термометром погружают в сосуд с охлаждающей смесью и охлаждают до температуры ниже 0° (примерно до половины ожидаемого понижения точки замерзания); 4) пробирку с почвой и термометром вынимают из охлаждающей смеси, быстро вытирают снаружи и устанавливают на пробке в широкую пробирку криоскопа. Здесь окруженная воздушной изоляцией почва постепенно переохлаждается до температуры примерно на 1° ниже ожидаемой точки замерзания; 5) отрывистым, коротким вращением термометра в почве вызывают замерзание переохлажденной воды и продолжают наблюдать за показаниями термометра. В процессе замерзания воды за счет выделения скрытой теплоты температура почвы поднимается, а затем, по окончании замерзания, начинает снова опускаться. Наивысшая температура, показанная термометром в течение этого процесса, фиксируется как точка замерзания воды в почве. Наблюдения за поднятием и началом опускания ртути в бекмановском термометре ведутся через укрепленную на нем лупу.

При массовых определениях образцы почвы помещают в пробирки, в которых будет производиться определение, и устанавливают в сосуд с ледяной водой ($t = 0^\circ$). Определение точки замерзания воды в почве упрощается, а точность определения повышается, если охлаждающая смесь имеет температуру, близкую к температуре замерзания воды в почве. Для регулирования температуры охлаждающей смеси устанавливают рядом с криоскопом, несколько выше его, два сосуда: один с водой комнатной температуры (15—18°), второй с охлаждающей смесью температуры —7 или —8°, приготовленной из снега или льда путем добавления поваренной соли. Из обоих сосудов вода по сифонам может быть подана в наружный сосуд криоскопа и по третьему сифону сливается наружу. Таким

образом, температуру охлаждающей смеси можно регулировать и поддерживать в процессе замерзания близкой к температуре почвы (например, на $0,5^\circ$ ниже показаний бекмановского термометра). При таком приспособлении нет надобности в отдельном сосуде с охлаждающей смесью для предварительного охлаждения почвы. Пробирка с почвой и бекмановским термометром сразу устанавливается в широкую пробирку криоскопа и охлаждается до нужной температуры. Как только температура почвы понизится до намеченного значения, вызывается замерзание почвы, в продолжение которого температуру охлаждающей смеси постепенно изменяют приливанием по сифонам теплой и холодной воды, поддерживая ее точно на $0,5^\circ$ ниже показаний бекмановского термометра. Вследствие очень медленного повышения температуры почвы этот процесс проходит спокойно и без переохлаждения почвы. Поэтому наивысшее показание бекмановского термометра в таком случае более точно соответствует точке замерзания воды в почве.

Определив поочередно точки замерзания для всех взятых образцов почвы с различной влажностью, находят значения pF по уравнению:

$$pF = \lg H = \lg \frac{L_j}{Tg} t = \lg \frac{L_j}{Tg} + \lg t,$$

где H — высота столба жидкости, в данном случае воды, эквивалентная водоудерживающей силе почвы и выраженная в сантиметрах;

T — абсолютная температура (в $^\circ$);

g — гравитационное ускорение ($981 \text{ эрг. г}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$);

L_j — скрытая теплота замерзания жидкости (для воды $3,360 \cdot 10^9 \text{ эрг. г}^{-1}$);

t — понижение точки замерзания воды (в $^\circ$).

Для воды $pF \approx 4,1 + \lg t$.

Подставив в это выражение найденные понижения точки замерзания воды во взятых образцах почвы t_1, t_2, t_3 и т. д., получают соответствующие значения показателя водоудерживающей силы pF_1, pF_2, pF_3 и т. д.

Откладывая по оси абсцисс понижения влажности почвенных образцов, выраженные в процентах (r_1, r_2, r_3 и т. д.), а по оси ординат соответствующие значения показателя водоудерживающей силы (pF_1, pF_2, pF_3 и т. д.), находят точки кривой pF воды в данной почве.

Пример. Для определения взяты образцы почвы с влажностью в процентах к весу сухой почвы:

$$r_1 = 21,8; \quad r_2 = 15,6; \quad r_3 = 13,1; \quad r_4 = 9,2.$$

Соответствующие понижения точки замерзания воды в почве:

$$t_1 = 0,13^\circ; \quad t_2 = 0,20^\circ; \quad t_3 = 0,56^\circ; \quad t_4 = 1,53^\circ.$$

Вычисленные значения pF :

$$pF_1 = 4,1 + \lg 0,13 = 4,1 + \bar{1},114 = 3,21;$$

$$pF_2 = 4,1 + \lg 0,20 = 4,1 + \bar{1},301 = 3,40;$$

$$pF_3 = 4,1 + \lg 0,56 = 4,1 + \bar{1},748 = 3,85;$$

$$pF_4 = 4,1 + \lg 1,53 = 4,1 + 0,181 = 4,28.$$

Отложив по оси абсцисс первое значение влажности $r_1=21,8\%$, а по оси ординат соответствующее значение показателя водоудерживающей силы почвы $pF_1=3,21$, восстанавливают в найденных точках перпендикуляры к осям координат; пересечение перпендикуляров дает первую точку кривой. Таким же образом по r_2 и pF_2 находят вторую точку кривой, по r_3 и pF_3 третью, по r_4 и pF_4 четвертую.

Кривая pF воды в данной почве для условий ее высыхания, построенная по этим точкам, показана на рисунке 36.

Значение коэффициента завядания для данной почвы находят следующим образом: на оси ординат откладывают значение $pF=4,2$, в найденной точке восстанавливают перпендикуляр к оси ординат до пересечения с кривой и из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс; на оси абсцисс получается по шкале влажности величина коэффициента завядания.

Для практических занятий желательно распределить образцы почвы по группам студентов (из 3 — 5 человек каждая) так, чтобы в результате проведенных каждой группой определений была построена кривая pF для данной почвенной разности, причем каждый студент должен самостоятельно определить точку замерзания для одного почвенного образца. Таким образом, следует получить по группам кривые pF для различных (например, по механическому составу) почв и затем сопоставить эти кривые.

Определение pF по давлению водяного пара над почвой. Для определения высоких значений pF (начиная от 4,15 и выше) может быть использована зависимость между влажностью почвы и равновесным давлением водяного пара над ней. Значения влажности, соответствующие для данной почвы определенному давлению водяного пара, могут быть получены путем насыщения или высушивания навески почвы в эксикаторе с определенным давлением водяного пара или, что то же самое, с определенной относительной влажностью воздуха при условии постоянства температуры (обычно 20°).

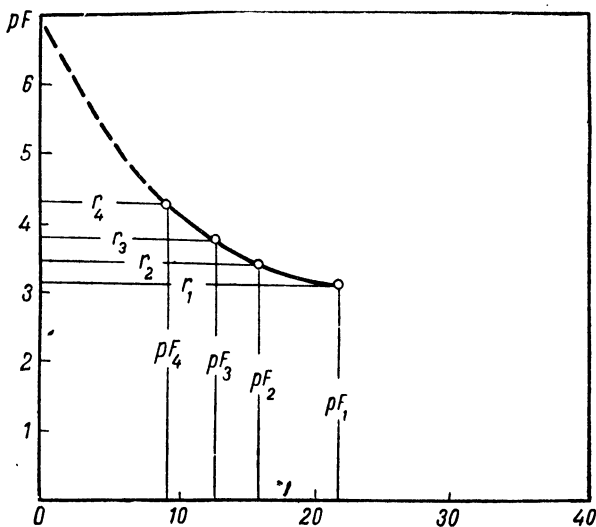
Для поддержания в эксикаторе определенного давления водяного пара удобно пользоваться рядом Обермиллера, состоящим из насыщенных растворов солей, которые дают в замкнутом пространстве при температуре 20° следующие равновесные значения относительной влажности воздуха (табл. 32).

Для получения точек кривой насыщения навески абсолютно сухой почвы (10—15 г) помещают в боксы и выдерживают в эксикаторах

Таблица 32

Насыщенные растворы солей	K_2SO_4	$Na_2CO_3 + 10H_2O$	KCl	NaCl	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2$	$K_2CO_3 + 2H_2O$	$CaCl_2 + 6H_2O$
Относительная влажность воздуха (в %)	98	92	86	75	65	55	45	35

с различным давлением водяного пара до постоянной или мало изменяющейся влажности (в течение нескольких суток). Кривая pF для условий высыхания почвы получается путем высушивания в эксикаторах с различным давлением водяного пара образцов почвы с влажностью, несколько большей, чем ожидаемая.



r — Влажность почвы

○ — Точки кривой pF , определенные по понижению точки заморзания воды в почве

Рис. 36. Кривая pF воды по понижению температуры заморзания воды в почве.

Значения pF , соответствующие при определенной температуре определенным значениям относительной влажности воздуха, вычисляются по уравнению:

$$pF = \lg H = \lg \left(-\frac{RT}{Mg} \ln \frac{h}{100} \right) = \lg \left(2,303 \frac{RT}{Mg} \right) \left(\lg \frac{100}{h} \right) = \\ = \lg 2,303 \frac{RT}{Mg} + \lg (2 - \lg h),$$

где H — высота столба жидкости в сантиметрах, эквивалентная водоудерживающей силе почвы;

R — газовая постоянная $8,315 \cdot 10^7$ эрг. моль $^{-1}$ C $^{-1}$;

T — абсолютная температура (в °);

M — молекулярный вес жидкости в фазе пара (для воды 18,02 г моль $^{-1}$).

g — гравитационное ускорение (981 эрг. г $^{-1}$ ·см $^{-1}$);

h — относительная влажность воздуха (в %).

Для воды при 20° $pF = 6,5 + \lg(2 - \lg h)$.

Глава VIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СМАЧИВАНИЯ, ПЛАСТИЧНОСТИ ПОЧВЫ И ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СМАЧИВАНИЯ ПОЧВЫ ПО МЕТОДУ П. И. АНДРИАНОВА

При смачивании твердого тела жидкостью происходит выделение тепла, которое называется *теплотой смачивания*. Теплота смачивания зависит от удельной поверхности смачиваемых тел и количества содержащихся в них органических веществ. Теплота смачивания почвы тем выше, чем больше содержится в почве глинистых веществ и гумуса, чем больше ее удельная поверхность.

Теплоту смачивания твердых тел измеряют в калориметрах разных конструкций; наиболее удобным является калориметр Андрианова.

Калориметр Андрианова (рис. 37) состоит из двух цилиндров: нижнего *а*, в который насыпают почву, и верхнего *б*, в который наливается вода. Верхний цилиндр в виде пробки закрывает нижний и изолирует почву от внешнего воздуха.

В дно верхнего цилиндра входят два хорошо шлифованных конусообразных стержня. Один из них, будучи приподнят, дает возможность воде из верхнего цилиндра вылиться в нижний. К другому стержню прикреплена маленькая мешалка из стальной проволоки для перемешивания воды с почвой. В центре верхнего цилиндра находится закрытая снизу трубка для термометра Бекмана. Трубка доходит почти до дна нижнего цилиндра и хорошо соприкасается с почвой.

Калориметр укреплен с помощью эбонитового кружка в особом держателе, который помещается в водяном термостате.

Прибор конструкции П. И. Андрианова имеет сразу два калориметра № 1 и № 2, помещенных в одном общем водяном термостате диаметром 25 см и высотой около 18 см. Выделяющееся при смачивании почвы тепло будет погло-

щаться самим калориметром, поэтому необходимо знать теплоемкость калориметра и погруженной части термометра.

Определение теплоемкости калориметра. Металлические части калориметра взвешивают и полученный вес умножают на 0,0917 (удельная теплоемкость латуни, так как металлические части калориметра сделаны из латуни).

Затем определяют объем части ртутного термометра, погруженной во внутреннюю трубку калориметра. Для этого погружают термометр на определенную глубину в узкий мерный цилиндр с водой, имеющий цену деления 0,1—0,2 мл (можно воспользоваться градуированной бюреткой). Полученный объем умножают на 0,46 (теплоемкость стекла).

Техника определения теплоты смачивания сводится к следующему. В стеклянный бюкс берут 10 г воз-



Рис. 37. Колориметр П. И. Андрианова.

душно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, и сушат ее в термостате при температуре 105—110° до постоянного веса. Затем почву охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Взвешенную почву из бюкса осторожно переносят в нижний металлический цилиндр калориметра. По разности весов бюкса с почвой и пустого устанавливают вес высыпанной почвы. Верхний цилиндр с пробками и мешалкой навинчивают на нижний цилиндр. В верхний цилиндр калориметра вливают 10 мл дистиллированной воды для последующего смачивания почвы.

После того как прибор собран и заряжен, ему дают постоять 10 мин., а затем определяют величину поправки калориметра на потери тепла через лучеиспускание. Так как температура калориметра до и после смачивания почвы раз-

лично, то соответственно будет изменяться и величина лучеиспускания.

Величину начальной и конечной радиации устанавливают путем ряда отсчетов показаний термометра. Обычно десяти ежеминутных отсчетов достаточно для получения установившейся величины тепловой радиации. Необходимо, чтобы она была не больше $0,01^{\circ}$ в 1 мин.; это легко достигается близостью температуры калориметра и окружающей среды, т. е. воздуха в комнате.

Последние отсчеты делают особенно тщательно, так как они принимаются за исходную величину при последующем определении теплоты смачивания почвы.

Затем осторожно вынимают стержень, и вода, поступая в нижний цилиндр калориметра, смачивает почву. Для равномерности смачивания ее перемешивают мешалкой.

Повышение температуры при смачивании почвы и после фиксируется ежеминутными отсчетами на термометре Бекмана. Отсчеты проводятся до тех пор, пока не будет зафиксирован максимум температуры, а затем ее снижение. Когда падение температуры с каждым отсчетом станет равномерным, опыт заканчивают.

Т а б л и ц а 33

Пример наблюдения за теплотой смачивания почвы

Время (в мин.)	Изменение темпера- туры до смачива- ния почвы в течение 10 мин.	Разница темпера- тур	Повыше- ние тем- пературы после сма- чивания почвы	Разница темпера- тур	Измене- ние тем- пературы в течение 10 мин. после максиму- ма	Разница темпера- тур
1	0,85		1,00		1,94	
2	0,85		1,38		1,93	
3	0,85		1,70		1,90	
4	0,85	-0,85	1,85	-1,94	1,86	-1,94
5	0,83	-0,80	1,92	-0,80	1,85	-1,72
6	0,83	0,05	1,94	1,14	1,82	0,22
7	0,83				1,78	
8	0,82				1,77	
9	0,80				1,73	
10	0,80	Вес почвы=9,4312 г			1,72	

После измерения теплоты смачивания почву из калориметра выбрасывают, калориметр моют, тщательно вытирают и сушат.

Теплота смачивания некоторых почв (по П. И. Андрианову)¹

Почва	Глубина (в см)	Теплота смачивания (в кал.)
Выщелоченный чернозем	0—15	3,71
Выщелоченный чернозем	33—43	3,80
Выщелоченный чернозем	48—58	4,05
Чернозем II	0—15	7,83
Чернозем III	0—15	5,34
Каштановая почва	5—20	2,39
Каштановая почва	82—92	1,52
Подзолисто-глинистые почвы	2—12	1,42
Торфянистая почва	2—12	11,72
Песчаная почва	0—15	0,24
Песчаная почва	70—80	0,54

Результат определения теплоты смачивания рассчитывают по формуле:

$$Q = \frac{(k + MC + mc)(At + At')}{m},$$

где Q — теплота смачивания в калориях на 1 г вещества;

k — теплоемкость калориметра;

MC — теплоемкость 10 мл $H_2O = 10$ калорий;

mc — теплоемкость почвы 0,2 калории;

m — масса почвы;

At' — средние изменения температуры в калориметре до смачивания и после смачивания почвы:

$$At' = \{[(t - t_0) + (t_1 - t_2)] : 2 \cdot 10\} \cdot t_3,$$

где At — величина температурного скачка;

t — температура в момент начала определения;

t_0 — температура после 10-минутного отсчета на термометре Бекмана;

¹ Исследованиями П. И. Андрианова установлено, что точность определения теплоты смачивания зависит от постоянства температуры, при которой производится определение. Поэтому измерять теплоту смачивания необходимо при одной и той же температуре. Если измерения проводятся при различных температурах, то нужно вводить поправки для приведения результатов измерений к одной температуре. Величина поправок должна определяться экспериментально. Использование при определении теплоты смачивания почв ультратермостата дает наиболее точные результаты.

- t_1 — температура, отмечаемая в момент максимума после смачивания почвы;
 t_2 — температура после 10-минутного отсчета на термометре Бекмана после смачивания почвы;
 t_3 — время повышения температуры от начала смачивания почвы до максимума.

Применение данных теплоты смачивания в практике.
 При устройстве дренажа в заболоченных почвах расстояние между дренажными трубами при глубине их заложения 1,25 м выражается формулой Янерта:

$$E = 30 - 10,96 \sqrt[3]{W_w},$$

где E — расстояние между дренажными трубами (в м);
 W_w — теплота смачивания (в мкал/г).

Показатели теплоты смачивания применяются также при оценке устойчивости кротовых дрен, устроенных в минеральных заболоченных почвах. Проф. Янерт считает, что почва пригодна к осушению кротовинами, если теплота смачивания ее оказывается не менее 4 мкал/г при условии, что отношение

$$\frac{\text{содержание фракций} < 0,02 \text{ мм (в \%)} }{\text{теплота смачивания (мкал/г)}} \leq 8$$

Исследованиями ВНИИГиМ (М. Н. Глотов, С. В. Астапов) установлено, что кротовые дрены устойчивы от размывания, если теплота смачивания этих грунтов 4,0 мкал/г и выше при указанном соотношении, равном 6,4; недостаточно устойчивые, если теплота смачивания около 3,5 мкал/г при указанном соотношении от 5 до 10; грунты неустойчивы — теплота смачивания 2,0 мкал/г и ниже при соотношении более 10,5.

Определение пластичности почвы

Глинистые и суглинистые почвы при определенном проценте влажности оказываются в пластичном состоянии. В таком состоянии они под действием внешнего давления принимают различную форму, которая сохраняется и после устранения давления.

Пластичность глинистых и суглинистых почв обуславливается прежде всего их механическим, химическим, минера-

логическим составом и содержанием органических коллоидов. Кроме того, она зависит от химического состава воды, увлажняющей почвы. Существует прямая связь между пластичностью, механическим составом и дисперсностью почв: чем тяжелее почвы по механическому составу, чем выше их дисперсность, тем большей пластичностью они обладают.

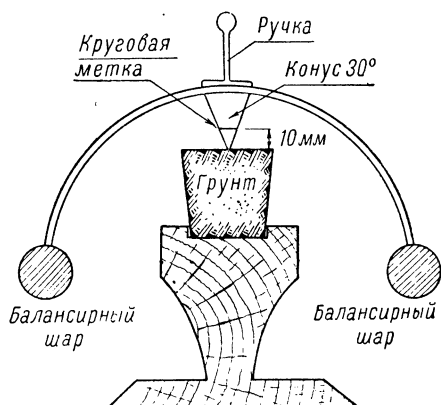


Рис. 38. Балансирный конус А. М. Васильева.

Пластичность почв является важным показателем, характеризующим их строительные свойства.

Границы интервала влажности, соответствующей пластическому состоянию грунта, определяются:

а) нижней границей текучести, при которой почва, помещенная в чашку и разделенная V-образным разрезом на две части, сливается в нижней части разреза от определенного числа ударов по дну чашки;

б) нижней границей пластичности, или границей раскатывания, при которой почва раскатывается в жгутики диаметром 3 мм и длиной 8—10 мм.

Разность между нижней границей текучести и нижней границей пластичности (выраженную в процентах) называют числом пластичности (по Аттербергу), которым и характеризуются пластические свойства почв.

Уже из приведенных выше формулировок границ текучести и пластичности почв можно судить, насколько необъек-

тивные признаки, определяющие эти границы. Это обусловлено несовершенством методики их определения.

В настоящее время в почвенных и грунтовых лабораториях для этих целей пользуются методом и прибором, предложенным А. М. Васильевым (рис. 38).

Определение нижней границы (предела) текучести¹ почвы (по методу А. М. Васильева)

Принцип метода состоит в том, что граница между текучим и пластичным состоянием почвы устанавливается погружением конуса впределенной формы и веса в увлажненную почвенную массу на глубину 10 мм.

Угол конуса 30° , вес 76 г.

Воздушносухую, просеянную через сито с отверстиями в 0,5 мм почву разводят водой до состояния густой пасты, хорошо перемешивают и выдерживают в закрытом сосуде с водяными парами в течение одних суток. Затем почвенную массу загружают плотным слоем в 3—4 см в небольшую чашечку вровень с ее краями.

После этого к поверхности почвенной массы в чашечке подносят конус, слегка смазанный вазелином, держа его за ручку двумя пальцами. Когда острие конуса коснется поверхности почвенной массы, пальцы разжимают и конус под влиянием собственного веса погружается в нее.

Если конус погрузился менее чем на 10 мм, что видно по метке, нанесенной на его поверхности, то это означает, что консистенция почвенной массы еще не достигла искомой границы. В этом случае к массе добавляют немного воды, тщательно перемешивают и повторяют определение. При достижении массой консистенции искомой границы конус погружается на 10 мм.

Операцию погружения конуса повторяют несколько раз (минимум три), а затем из чашечки берут пробу почвы для определения ее влажности.

Расхождение между параллельными определениями нижней границы текучести не должно превышать 3%.

¹ Нижняя граница текучести почвы является одновременно и верхним пределом пластичности.

Определение нижней границы пластичности почвы

Сущность этого определения заключается в раскатывании почвенной массы в жгутики.

В большинстве лабораторий за стандарт при раскатывании жгутика принята длина его 8—10 мм, а диаметр 3 мм.

Техника определения границы пластичности сводится к следующему: почвенную массу, приготовленную из воздушносухой почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 0,5 мм, и увлажненную водой до пластического состояния, хорошо переминают руками до однородной массы.

Затем берут часть однородной массы и раскатывают ее на стекле в жгутик диаметром 3 мм. После этого раскатанную массу почвы собирают в комок, снова раскатывают и так продолжают до тех пор, пока жгутики из почвы не станут в процессе раскатывания крошиться на куски длиной по 8—10 мм. Это будет указывать на достижение границы пластичности. Для определения влажности почвы, соответствующей этому состоянию, набирают примерно около 10 таких кусочков и определяют в них влажность. Определение повторяют в новых порциях той же почвы 3 раза.

Расхождение между повторными определениями границы пластичности допустимо до 2%.

В таблице 35 приведены показатели пластичности некоторых почвогрунтов (по П. А. Земятченскому).

Т а б л и ц а 35

Название грунта и место взятия пробы	Число пла- стичности по Аттер- бергу	Примечание
Глуховская каолинитовая глина	30,4—30	Глины высшей пла- стичности
Огнеупорная глина, стан- ция «Лизовики», као- лин {	18,5 15,3 12,5	{ Глины средней пла- стичности
Станция «Волноваха», каолин {	5,0 3,0	{ Глины непластичные
Хутор Яунцена, каолин	4,6	

Практическое использование характерных влажностей. Границы и число пластичности широко используются в инженерно-геологической практике для:

- 1) классификации глинистых пород;
- 2) приблизительной оценки их прочности, в частности сопротивляемости нагрузке;
- 3) приблизительного определения характеристик других, более важных свойств этих пород — сжимаемости, водопроницаемости и других на основании эмпирически установленных коррелятивных зависимостей.

Для классификации чаще всего используют число пластичности (табл. 36).

Т а б л и ц а 36

Классификация пород по числу пластичности
(по В. А. Приклонскому)

Класс грунта	Название грунта	Число пластичности
I	Высокопластичные (глины)	> 17
II	Пластичные (суглинки)	17—7
III	Слабопластичные (супеси)	7—0
IV	Непластичные (пески)	0

Наибольшее практическое значение для оценки прочности глинистых пород при взаимодействии их с водой имеет изучение: 1) консистенции, понимаемой как степень подвижности частиц грунта при сопротивляемости его внешним усилиям; 2) пластичных свойств, приобретенных ими при определенном содержании воды и при определенных условиях; 3) набухания; 4) размокания; 5) усадки.

Т а б л и ц а 37

Классификация консистенции глинистых пород на основании сравнения естественной влажности с пределами пластичности
(В. А. Приклонский)

Консистенция	Условные обозначения	Влажность грунта в естественном состоянии
Твердая	$W < W_p$	Меньше нижнего предела пластичности
Пластичная	$W_p < W < W_f$	Больше нижнего, но меньше верхнего предела пластичности
Текучая	$W > W_f$	Больше верхнего предела пластичности

где W — естественная влажность; W_p — нижний предел пластичности; W_f — верхний предел пластичности.

Для характеристики этих свойств применяется ряд показателей, методы определения которых описаны выше. Некоторые из этих показателей определяются только на нарушенных, перемятых образцах, другие могут быть получены как для нарушенных, так и для ненарушенных образцов.

Для определения консистенции грунта пользуются прямыми и косвенными методами. Из косвенных методов наиболее распространенным является сравнение влажности грунта в естественном состоянии с пределами его пластичности (табл. 37).

Прямое определение консистенции. Прямые способы определения консистенции, имеющие значительно большую практическую ценность, чем рассмотренные косвенные, основаны на измерении сопротивления породы вдавливанию металлического стержня, конуса или штампа. Таким образом, они дают непосредственное представление о прочности и деформируемости породы.

Вдавливание можно проводить:

1) в полевых условиях, непосредственно в шурфах и других выработках;

2) в лабораторных условиях на отдельных образцах, причем образцы в зависимости от цели исследования могут быть нарушенного и ненарушенного сложения.

В качестве величины, характеризующей сопротивляемость породы вдавливанию, принимают глубину вдавливания при определенной нагрузке или усилие, необходимое для вдавливания стержня или конуса на определенную глубину.

Определение просадочности грунтов

Просадками называют процессы оседания, проваливания грунтов, возникающие под влиянием их собственного веса в результате обильного увлажнения при орошении или промачивании из проведенных в таких грунтах оросительных каналов.

Причиной просадок является смачивание грунтов водой, что приводит к уменьшению коэффициента трения между частицами грунта, и последующее уплотнение грунта за счет высокой пористости.

Просадку грунтов следует отличать от дополнительной осадки, которая возникает при уплотнении грунта под влиянием дополнительных давлений от сооружений.

Просадкам подвержены главным образом лёссы и лёссовидные суглинки, являющиеся во многих частях СССР верхним членом покровных отложений обширных водораздельных пространств. Высокое содержание пылеватых частиц при почти полном отсутствии фракции крупнее 0,25 мм является характерной особенностью лёссовидных суглинков и просадочных их разновидностей.

Оценка просадочных грунтов. В первую очередь надо установить наличие просадочных грунтов в пределах изучаемого района. При этом исходят из того, что процессы генетического самоуплотнения грунтов не могли закончиться лишь в пределах тех районов, для которых нехарактерно глубокое промачивание грунтов, сохранивших, таким образом, в течение длительного периода своего существования малую естественную влажность. Судить об этом только по режиму влажности грунтов и по количеству выпадающих осадков нельзя. Необходимо учитывать условия стока и температурные данные летнего периода и относительную влажность воздуха, как факторы, определяющие испаряемость. Просадки грунтов характерны для тех зон, на площади которых расход влаги из почвы превышает приход, т. е. величина коэффициента водного баланса меньше единицы.

После того как на исследуемой территории установлено наличие лёссов или лёссовидных суглинков, значительную помощь в оценке склонности грунтов к просадкам могут дать геоморфологические наблюдения. Нельзя, например, ожидать склонности к просадкам грунтов в районах молодых аллювиальных отложений или в нижних частях склонов. В пределах водораздельных пространств склонность к просадкам грунтов более возможна. Наличие на исследуемой территории разного рода депрессий (блюдца), особенно бессточных, может свидетельствовать о возможности просадочных явлений.

При проведении исследований особое внимание должно быть уделено определению глубины уровня грунтовых вод и естественной влажности грунтов. Имеющиеся в настоящее время материалы показывают, что в условиях Восточного Предкавказья процессы самоуплотнения при повышении влажности грунтов заметно проявляются лишь в пределах первых 12—15 м от дневной поверхности. Поэтому, если грунтовые воды залегают от поверхности ближе 12 м, то опасность возникновения просадок уменьшается, причем тем в большей степени, чем выше находится уровень грунтовых вод. Наибольшей склонностью к просадкам обладают грунты с невысокой естественной влажностью (по отношению к максимальной гигроскопичности).

Грунты, склонные к просадкам, имеют величину пористости обычно выше 45—46%. Однако в некоторых разностях грунтов, в том числе в тяжелых суглинках, развиваю-

щих значительное давление набухания, просадки не возникают и при пористости, большей 45%. Это обстоятельство еще раз подчеркивает невозможность решения вопроса о просадочности грунтов при помощи какого-либо одного показателя, насколько бы совершенным он ни был.

Для лёссовидных суглинков, особенно прссадочных их разностей, характерна значительная рыхлость сложения, присущая не отдельным горизонтам, а всей верхней части толщи этих грунтов до значительной глубины (10—25 м и более).

Для сравнения величин пористости грунтов с незавершенным и уже с оконченным процессом самоуплотнения в таблице 38 приведены средние данные по Терской оросительной системе.

Т а б л и ц а 38

Пористость (в %) просевших и непросевших грунтов
(данные Н. Я. Денисова)

Глубина (в м)	Грунты просевшие P_0	Грунты непро- севшие P_1	Вертикальное сжатие $\frac{P_0 - P_1}{100 - P_1} \cdot 100\%$
3	49,3	48,5	1,55
4	48,6	47,4	2,28
6	48,1	45,5	4,77
8	46,2	44,3	3,41
10	45,5	42,8	4,72
12	44,8	44,0	1,43
14	43,5	43,4	0,17
16	—	42,2	—
18	—	42,3	—

Результаты определений пластичности и скорости размокания грунтов, содержания воднорастворимых солей в них также имеют значение при просадочности грунтов.

Следует учитывать, что просадки могут достигать заметных величин только при значительной мощности лёссовых и лёссовидных суглинков.

Ф. И. Воронов предложил следующую классификацию среднеазиатских лёссов по их просадочности в зависимости от пористости (см. табл. 39).

Ряд исследователей указывает на связь просадочности грунтов с содержанием в них гипса. При этом скорость про-

Просадочность лёссов при различных значениях пористости
(данные Ф. И. Воронова)

Показатели	Степень просадочности пород				
	чрезвычайно просадочные	сильно	средне	слабо	непросадочные
Пористость (в %)	50—52	48—52	44—48	40—44	35—42
Коэффициент набухания (в %)	6	6—10	10—15	15—20	20—25
Линейная усадка (в %)	10	5—10	2—5	0—2	0

садок становится более медленной в связи с малой растворимостью гипса. Такой случай наблюдался на канале Новый Джун в Ташкентском районе (Е. А. Замарин и М. М. Решеткин). В среднем вертикальное (линейное) оседание измерялось здесь величиной 75—100 см и как максимум 200 см. В глубину просадки распространялись главным образом до 8 м, но в незначительном размере отмечались и до 13 м. В среднем для 13-метровой толщи величина просадки определена в 7,4 см на каждый линейный метр.

Просадочные лёссовидные суглинки соответственно своему механическому составу являются непластичными грунтами с характерными низкими значениями нижнего предела текучести (см. табл. 40).

Сравнение приведенных данных показывает, что просадочные лёссовидные суглинки, залегающие под непросадочными, обладают более низкими значениями числа пластичности, чем грунты непросадочные.

Если все предыдущие признаки указывают на возможную склонность грунтов к просадкам, необходимо прямым опытом дать ей ориентировочную количественную оценку. Для этого проводят опыты по проседанию увлажненного грунта под нагрузкой в шурфах. Нагрузку эту осуществляют при помощи специального штампа-просадкомера (рис. 39). Он состоит из деревянной крестовины *A* размерами 40×2×10 см, в середине которой укреплен отрезок металлической трубки *B* с внутренним диаметром 2,4—3,5 см, длиной 8—10 см.

Пластичность просадочных и непросадочных лёссовидных суглинков
(данные Н. Я. Денисова)

Районы	Глубина (в м)	Влажность нижней гра- ницы текуче- сти (в %)	Влажность нижней гра- ницы пластич- ности (в %)	Число пластичности (в %)
Баксан ГЭС	{ 2	32,4	27,1	5,3
	{ 6	37,2	28,2	9,0
	{ 9	40,4	29,8	10,6
	{ 10	28,1	24,9	3,2
	{ 12	28,6	26,0	2,6
	{ 15	37,3	31,6	5,7
Новочеркасск	{ 1	34,1	23,6	10,5
	{ 2	34,6	22,6	12,0
	{ 3	33,4	23,6	9,8
	{ 4	28,4	22,7	5,7
	{ 5	28,8	22,6	6,2

Сквозь эту трубку свободно (но без большого люфта) пропущен металлический стержень *В*, оканчивающийся жестко скрепленным с ним квадратным штампом *Г* 15×15 см площадью 225 см^2 .

Верхняя часть стержня имеет шкалу с миллиметровыми делениями для отсчета глубины. Глубину стояния штампа можно также замерять обычной линейкой с миллиметровыми делениями, приставляемой на время измерения на брусок. Отсчет глубины стояния штампа по шкале стержня также можно производить при помощи зеркала, поставленного под углом 45° к горизонту. Металлический стержень должен иметь длину около 50 см. На верх стержня прочно насаживается крепкая площадка для грунта *Д*.

Груз (не изображен на рисунке) должен иметь такой вес, чтобы вместе с весом штампа, стержня и грузовой площадки составлять около 70 кг, чтобы давление штампа на грунт составляло $0,3 \text{ кг на } 1 \text{ см}^2$.

Для опыта закладывают шурф до непрокрашенного гумусом суглинка (глубиной около 2 м) и на дне этого шурфа врезают в грунт на 2—3 см цилиндр для определения водопроницаемости (такой же опыт желательно провести и на глубине 4 м).

Затем кладут крестовину штампа-просадкомера на край врезанного в грунт цилиндра, закрепляют ее на цилиндре колышками Ж, опускают штамп на поверхность грунта

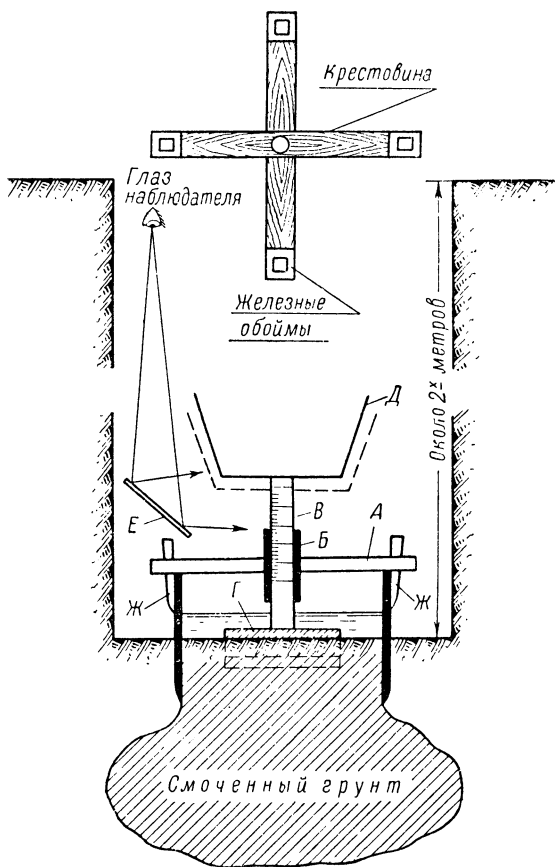


Рис. 39. Штамп просадкомера.

в цилиндре и измеряют глубину стояния ненагруженного A_1 и затем нагруженного штампа. В нагруженном состоянии штамп оставляют на 1—2 суток, время от времени измеряя глубину его погружения, т. е. осадку грунта при естественной влажности.

Утром в один из последующих дней отсчитывают положение A_2 , заливают в цилиндр воду (не снимая нагрузки со штампа) и систематически отсчитывают погружения штампа в смоченный грунт (просадка грунта). Воду подают в цилиндр до прекращения погружения штампа в смоченный грунт A_3 , но не менее 2—3 суток. При истинной просадке грунта последний не должен выпирать в стороны и вверх. Полученные три отсчета дают возможность охарактеризовать просадочность грунтов.

Разность $A_1 - A_2 = S_1$ — естественная осадка грунта;

$A_2 - A_3 = S_2$ — просадка промокшего грунта.

Для ориентировочной количественной оценки просадочности грунта вычисляют его относительную просадочность, выражающую величину просадки (S_2) в процентах от мощности просевшего грунта H . Мощность же просевшего грунта соответствует мощности увлажненного грунта под штампом после окончания опыта с пробной нагрузкой. Если относительная просадочность грунта $\frac{S}{H} \cdot 100$ превышает 2%, то грунт следует отнести к просадочным.

Полевые определения просадочности имеют, однако, лишь ориентировочное значение. Более точные характеристики просадочности грунта могут быть получены лишь при лабораторных испытаниях образцов грунта, взятых до глубины 12—15 м.

Для лабораторных испытаний из каждого полуметра грунта, начиная с метровой глубины, берут образцы грунта ненарушенного строения в виде кубиков с ребром в 15—20 см, которые немедленно для сохранения естественной влажности заливают парафином с марлевой оберткой. В парафиновую оболочку заглавливают с поверхности этикетку, в которой необходимо ясно отметить номер разреза (шурфа) и глубину пробы. В этикетке записывают номер разреза, полевую характеристику грунта, глубину взятия пробы, дату взятия и фамилию почвовед, бравшего монолит.

Кубиковые образцы грунта ненарушенного строения направляются для лабораторного изучения в соответствующие лаборатории, где и проводится более детальная количественная характеристика просадочности грунтов.

Для оценки возможности возникновения просадок Н. Я. Денисовым был предложен показатель K , представляющий собой отношение величин коэффициентов пористостей при нижнем пределе текучести и в естественном состоя-

нии. Этот показатель составляет для сильнопросадочных пород 0,5—0,75, для непросадочных суглинков около 1, а для глин дочетвертичного возраста 1,5—2,0.

Применение этого показателя позволяет довольно четко разделить грунты по степени плотности и соответственно по предрасположенности их к деформациям при увлажнении.

Данные по этому вопросу приведены в таблице 41.

Т а б л и ц а 41

Название грунта	Показатель <i>K</i>
Просадочные лёссовидные суглинки Восточного Предкавказья	0,5—0,8
Лёссовидные суглинки Баксана	0,9—1,2
Лёссовидные суглинки г. Новочеркасска	0,9—1,1
Лёссовидные суглинки Криворожстроя	0,9
Красно-бурые глины	1,2—1,5
Майкопские глины	2—3
Сантонский алевролит Волго-Дона	2,5—3,0

Глава IX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВЕ

АНАЛИЗ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ПО МЕТОДУ К. К. ГЕДРОЙЦА

Задачей анализа является установление количества и качества воднорастворимых солей, находящихся в почве и ее отдельных горизонтах. Наибольшее количество этих солей содержится в солончаковых почвах и в нижних горизонтах черноземов, сероземов и каштановых почв.

Анализ воднорастворимых солей имеет большое практическое мелиоративное значение, так как по нему судят о количестве вредных солей, находящихся в почве, и, следовательно, о необходимых мелиоративных мероприятиях. Этот анализ обычно проводят в водной вытяжке из почвы.

Водную вытяжку готовят при соотношении между почвой и водой 1 : 5, т. е. на одну часть абсолютно сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, добавляют пять частей дистиллированной воды, лишенной CO_2 .

В случае незасоленных почв приготовленную таким образом суспензию встряхивают непрерывно (вручную или на специальном аппарате) в течение пяти минут, а затем отфильтровывают. Для засоленных почв равновесие в системе почва + вода за такой промежуток времени не успевает установиться, поэтому суспензию встряхивают в течение трех минут, а затем оставляют на 24 часа, встряхивая ее время от времени вручную, и отфильтровывают только по прошествии этого срока.

Полученный фильтрат и называют водной вытяжкой.

В водную вытяжку переходит только часть простых солей, находящихся в почве в зависимости от их растворимости, а именно:

а) легкорастворимые соли (все хлориды, а также сульфаты и карбонаты натрия) практически переходят в раствор полностью;

б) средне- и труднорастворимые соли (гипс, карбонаты кальция и магния) переходят в раствор только частично, в зависимости от состава и концентрации равновесного раствора.

Следовательно, по анализу водной вытяжки можно определить количество наиболее вредных солей (хлоридов и натриевых солей), находящихся в почве, и частично запасы сульфатов и карбонатов кальция и магния.

Взятие средней пробы почвы для анализа. Доставленный в лабораторию образец распределяют равномерным слоем в виде квадрата на листе бумаги и проверяют его однородность. При этом крупные комки и глыбки разламывают на отдельные, не превышающие 1 см. Если образец очень влажен, его предварительно подсушивают, посторонние включения и какие-либо образования, по возможности, удаляют. После этого квадрат делят чертой по двум диагоналям на четыре части и тщательно собирают всю почву одной из этих частей.

Если взятой почвы оказывается недостаточно, то оставшуюся почву снова смешивают и берут вновь $\frac{1}{4}$ часть. Так повторяют до тех пор, пока вес средней пробы не будет около 500 г.

Взятый средний образец почвы доводят на листе бумаги до воздушносухого состояния, после чего растирают в ступке и просеивают через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Просеянную почву хранят в картонных коробочках или стеклянных банках, закрытых крышками.

При взятии навески для анализа средний образец распределяют ровным слоем на листе бумаги, делят на клетки и ложечкой в различных местах (из каждой клетки) набирают необходимое количество почвы.

Для приготовления водной вытяжки берут навеску в 50—200 г сухой почвы.

Фактическая навеска почвы, которую следует взять для анализа и в которой заключается заданное количество сухой почвы, вычисляют по формуле:

$$m = \frac{a(100 + W)}{100},$$

где m — фактическая навеска почвы;

a — заданное количество сухой почвы;

W — влажность почвы, выраженная в процентах к весу сухой почвы.

Навеску переносят через широкогорлую воронку в бутылку емкостью 0,5—1,0 л, приливают туда пятикратное количество дистиллированной воды, закрывают притертой стеклянной или каучуковой пробкой и взбалтывают содержимое в течение пяти минут.

По окончании встряхивания (для засоленных почв еще и 24-часовое отстаивание) вытяжку фильтруют через складчатый плотный фильтр. Чтобы фильтрат был прозрачным, на фильтр переносят по стеклянной палочке хорошо взболтанную суспензию, которая коагулирует крупные поры фильтра.

Первые мутные порции фильтрата выливают обратно в воронку, для анализа же собирают только прозрачный фильтрат.

В фильтрате определяют: 1) общую сумму водно-растворимых веществ (сухой или плотный остаток); 2) общую щелочность карбонатов и бикарбонатов натрия; 3) хлор-ион; 4) ион серной кислоты; 5) кальций; 6) магний.

Определение плотного остатка. Пипеткой берут 50—100 мл отфильтрованной водной вытяжки и выпаривают ее на водяной или песчаной бане в тарированном стеклянном бюксе или чашечке. После выпаривания остаток сушат при температуре 105° до постоянного веса и взвешивают. Полученный вес плотного остатка выражают в процентах на 100 г почвы, пользуясь формулой:

$$x = \frac{n \cdot 500}{N} \%,$$

где x — плотный остаток (в %);

n — вес плотного остатка в объеме N , взятой для выпаривания вытяжки.

Полученные данные записывают по форме:

№ или название образца	Взято вытяжки для выпаривания (в мл)	№ чашечек или бюксов	Тара (в г)	Плотный остаток брутто (в г)	Вес плотного остатка нетто (в г)	Вес плотного остатка в пересчете на 100 г почвы (в %)

Необходимо помнить, что плотный остаток складывается не только минеральными солями почвы, но и некоторым количеством органических веществ, перешедших в водную вытяжку. Если плотный остаток прокалить до полного сжигания органических веществ, то получится прокаленный, или минеральный, остаток.

Определение щелочности, вызываемой нормальными карбонатами. Щелочность водных вытяжек из почвы обуславливается содержанием в них карбонатов и бикарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов и щелочных солей кремневых и органических веществ. В аналитической практике все названные формы щелочных солей обычно не расщепляют, а выражают суммарную или общую щелочность в ионе HCO_3 и из нее выделяют: 1) щелочность карбонатов щелочных металлов — ион CO_3 , представленную главным образом содой — Na_2CO_3 , 2) щелочность бикарбонатов щелочных металлов — ион HCO_3 , представленную главным образом двууглекислым натрием — NaHCO_3 .

Выделение отдельных форм щелочности, связанных с натрием, важно потому, что эти соли наиболее вредны (особенно Na_2CO_3) и присутствие их при известных условиях может указывать на солонцеватость почвы.

Для определения щелочности, вызываемой нормальными карбонатами, берут 25 мл водной вытяжки и прибавляют к ней 1—2 капли фенолфталеина. Если жидкость окрашивается в красный цвет или розовеет, то в вытяжке содержится нормальная сода. В этом случае вытяжку титруют 0,01 *n* раствором H_2SO_4 до полного обесцвечивания. Для более точного определения момента окончания титрования необходимо рядом со стаканчиком, в котором проводится титрование, поставить для сравнения такой же стаканчик, с таким же количеством вытяжки и с таким же количеством индикатора — фенолфталеина. Количество миллилитров 0,01 *n* кислоты, истраченное при титровании, умножают на 2, так как розовая окраска фенолфталеина исчезает сейчас же после перехода нормальных карбонатов в бикарбонаты:



Перечислив результаты титрования на 100 г почвы по вышеприведенной формуле и умножив найденное количество миллилитров 0,01 *n* кислоты на 0,0005305 или на 0,00030, получают процентное содержание Na_2CO_3 или иона CO_3 ,

так как 1 мл 0,01 *n* H₂SO₄ соответствует 0,0005305 г Na₂CO₃ или 0,00030 г CO₃^{''}.

Пример. На 25 мл водной вытяжки для обесцвечивания фенолфталеина пошло 0,01 *n* раствора H₂SO₄ 2 мл; всего на нейтрализацию должно пойти $2 \times 2 = 4$ мл; на 100 г почвы пойдет $4 \cdot \frac{500}{25} = 80$ мл. Иона CO₃ будет $80 \times 0,00030 = 0,024\%$, или соды (Na₂CO₃) $80 \times 0,00053 = 0,0424\%$.

Определение щелочности, вызываемой двууглекислыми щелочами. Если после прибавления фенолфталеина вытяжка не окрашивается в красный цвет, то нормальные карбонаты щелочных металлов в ней отсутствуют. Чтобы узнать, есть ли в вытяжке бикарбонаты натрия, ее кипятят и вновь прибавляют к ней фенолфталеин. Если появится окрашивание, то количественное определение бикарбонатов натрия проводят следующим образом.

Вытяжку в количестве 25 мл переносят в фарфоровую чашку, выпаривают досуха и прокаливают при температуре 200—250° в течение одного часа. При прокаливании двууглекислые щелочи переходят в нормальные карбонаты ($2 \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), растворимые в воде, а бикарбонат кальция Ca(HCO₃)₂ в углекислый кальций, практически нерастворимый в воде.

После прокаливания в остывшую чашку приливают 25 мл дистиллированной воды, лишенной углекислоты путем продувания воздуха, прибавляют 1—2 капли фенолфталеина и титруют 0,01 *n* раствором H₂SO₄ до обесцвечивания. Правила для установления конца титрования те же, что и в предыдущих определениях.

Для определения иона HCO₃, связанного с двууглекислыми щелочами, из полученного количества миллилитров 0,01 *n* раствора H₂SO₄ вычитают число миллилитров этой кислоты, затраченное при первоначальном определении соды (если она имелась), и разность умножают на 2. Полученное число миллилитров, пересчитанное на 100 г почвы и умноженное на 0,00061, дает процентное содержание HCO₃, связанного в форме NaHCO₃. Если в водной вытяжке нормальной соды не было, то полученное число миллилитров H₂SO₄, израсходованное на титрование, сразу умножают на 2, пересчитывают на 100 г почвы и умножают на 0,00061.

Пример. Взято 25 мл водной вытяжки. Сода имелась; на ее титрование израсходовано 2 мл 0,01 *n* H₂SO₄. После прокаливания

и растворения 25 мл при титровании с фенолфталеином израсходовано 5 мл той же кислоты. Следовательно, на титрование нормальных карбонатов, полученных после прокаливания бикарбонатов, пошло $5-2=3$ мл $0,01\ n\ H_2SO_4$.

Процент иона HCO_3 , связанного в форме $NaHCO_3$, равен $3 \times 2 \frac{500}{25} \times 0,00061 = 0,0732\%$.

Форма записи

№ чашечки	Объем вытяжки, взятой для прокаливания (в мл)	Количество $0,01\ n\ H_2SO_4$, пошедшей на титрование	Поправка на Na_2CO_3	Остаток иона HCO_3 (в %) в переводе на	
				$NaHCO_3$	HCO_3

Определение общей щелочности. После определения щелочности, вызываемой нормальными карбонатами (если она была), в тот же стаканчик прибавляют 1—2 капли метила оранжевого и титруют $0,01\ n$ раствором серной кислоты до появления слабого розового окрашивания. Чтобы уловить момент окончания титрования, нужно, как и в предыдущем определении, иметь стаканчик с таким же количеством вытяжки и индикатором — метилом оранжевым, для сравнения изменения окраски титруемой вытяжки.

Количество миллилитров $0,01\ n$ раствора серной кислоты, израсходованной на титрование в присутствии фенолфталеина и метила оранжевого, и будет показывать общую щелочность данной почвы, которую принято выражать в ионах HCO_3 . Для расчета общей щелочности количество миллилитров серной кислоты, израсходованной на титрование, умножают на $0,00061$ (весовое количество иона HCO_3 , соответствующее 1 мл $0,01\ n$ раствора H_2SO_4). Полученный результат пересчитывают на 100 г почвы.

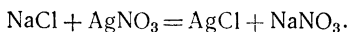
Пример. На 25 мл водной вытяжки пошло 2 мл $0,01\ n$ раствора H_2SO_4 в присутствии фенолфталеина и после прибавления метила оранжевого еще 6 мл, а всего 8 мл H_2SO_4 . Отсюда процент иона $HCO_3 = 8 \times \frac{500}{25} \times 0,00061 = 0,0976$.

Форма записи

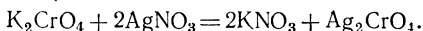
№ стакан- чика	Объем вытяжки (в мл)	Количество мил- лилитров H_2SO_4 , израсходованных на титрование с метилом oran- жевым	Количество мил- лилитров H_2SO_4 , израсходованных на титрование с фенолфталеином	Сумма милли- литров H_2SO_4	Процент иона HCO_3

Определение иона хлора. От 5 до 25 мл водной вытяжки нейтрализуют 0,01 *n* раствором H_2SO_4 , прибавляют 1 мл 10-процентного раствора среднего хромовокислого калия (K_2CrO_4) и титруют 0,01 *n* раствором азотнокислого серебра ($AgNO_3$) до появления красно-бурой окраски.

Хлориды с азотнокислым серебром дают белый осадок хлористого серебра по следующему уравнению:



Как только последние следы иона хлора будут выделены, образуется красно-бурый осадок хромовокислого серебра по уравнению:



Появление красно-бурой окраски и показывает на оконча-
ние титрования иона хлора.

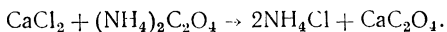
Для лучшего улавливания изменения окраски при титро-
вании, последнее необходимо проводить параллельно при
наличии стаканчика с приготовленным раствором водной
вытяжки и соответствующим количеством индикатора. Коли-
чество миллилитров 0,01 *n* раствора азотнокислого серебра,
израсходованного на титрование, умноженное на 0,00035
(весовое содержание иона хлора, соответствующее 1 мл
0,01 *n* раствора $AgNO_3$), дает весовое количество иона хлора
во взятом для титрования объеме вытяжки. Пересчет на
100 г почвы проводят как обычно.

Практически определение иона хлора удобнее вести
в той же пробе, в которой определялась общая щелочность,
так как она является уже нейтрализованной.

Форма записи

№ стаканчика	Взято миллилитров вытяжки для титрования	Расход AgNO_3 на титрование (в мл)	Найдено хлора в объеме, взятом для титрования	Процент иона Cl в пересчете на 100 г почвы

Определение кальция¹. Для определения кальция в водной вытяжке пользуются объемным методом. 50 мл фильтрата подкисляют уксусной кислотой, затем доводят до кипения и осаждают кальций кипящим раствором щавелевокислого аммония. Осаждение кальция идет по следующему уравнению:



После осаждения стакан с вытяжкой помещают в теплое место (лучше на кипящую водяную баню) на 4 часа и затем испытывают полноту осаждения. Для этого пипеткой осторожно берут в пробирку 2—3 мл отстоявшейся жидкости, приливают к ней 1 мл щавелевокислого аммония и нагревают до кипения. Если жидкость не помутнеет, то это показывает на полное осаждение; если же жидкость помутнеет, то ее снова нагревают до кипения, приливают к ней 5 мл горячего раствора щавелевокислого аммония и фильтруют через плотный фильтр.

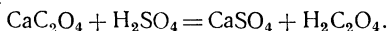
По окончании фильтрования осадок на фильтре промывают горячей водой, содержащей щавелевокислый аммоний, до полного удаления хлора (проба азотнокислым серебром промывной воды, подкисленной азотной кислотой). Затем промывают одной горячей водой до полного удаления из осадка щавелевокислого аммония (проба промывной воды с азотнокислым серебром без подкисления азотной кислотой, так как щавелевокислое серебро в воде нерастворимо,

¹ В водной вытяжке, помимо простых воднорастворимых солей, могут присутствовать органические вещества, кремневая кислота и полуторные окислы, которые будут мешать определению кальция, поэтому их следует предварительно отделить.

но легко растворяется в присутствии азотной кислоты). Фильтрат и первые порции промывной воды собирают и сохраняют для последующего определения в них магния.

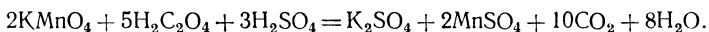
После отмывания осадка под воронку подставляют тот же стаканчик, в котором велось осаждение кальция, и растворяют в нем осадок щавелевокислого кальция на фильтре горячей 1-процентной серной кислотой.

При действии серной кислоты щавелевокислый кальций расщепляется на щавелевую кислоту, которая была связана с кальцием, и сернокислый кальций. Реакция проходит по уравнению:



После растворения осадка фильтр еще раз промывают серной кислотой. Прибавив в собранный раствор 5 мл 10-процентной серной кислоты, доливают водой, доводя объем до 100 мл, нагревают до 70° и титруют 0,02 *n* раствором марганцевокислого калия до появления не исчезающей розовой окраски.

При титровании раствором марганцевокислого калия щавелевая кислота в присутствии серной и при нагревании распадается на угольный ангидрид и воду по уравнению:



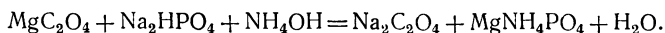
Результат выражают количеством иона кальция. Для этого число миллилитров израсходованного на титрование 0,02 *n* раствора марганцевокислого калия умножают на 0,00040. Пересчет на 100 г почвы производят обычным образом.

Форма записи

№ стаканчика	Объем взятой для анализа вытяжки (в мл)	Расход KMnO_4 0,02 <i>n</i> раствора на титрование (в мл)	Найдено иона Са в объеме взятой вытяжки (в г)	Процент иона Са в пересчете на 100 г сухой почвы

Определение магния. Магний определяют в фильтрате после осаждения кальция. Для этого фильтрат выпаривают примерно до половины объема и добавляют аммиака до слабощелочной реакции. К холодной жидкости приливают 20-процентный раствор фосфорнонатриевой соли Na_2HPO_4 (10 мл) и через 10—15 мин. приливают 10-процентного

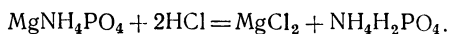
аммиака в количестве, равном по объему $\frac{1}{3}$ первоначального объема жидкости. Затем все оставляют стоять на сутки. При этом выпадает крупнокристаллический осадок фосфорно-аммонийномагниевой соли. Реакция идет по уравнению:



Осадок отфильтровывают через плотный фильтр, промывают 2,5-процентным раствором аммиака до полного удаления иона хлора и затем спиртом для удаления аммиака.

Очень часто при фильтровании осадок магния проходит через фильтр в фильтрат. Чтобы избежать этого, из неплотного фильтра варят кашу и стеклянной палочкой кладут немного этой кашицы на дно фильтра в воронке. При фильтровании каша задерживает мелкие кристаллы магния.

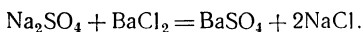
После промывания спиртом фильтр с осадком переносят в стаканчик и высушивают при температуре 50—60° около одного часа, а затем в стаканчик добавляют из бюретки 25 или 50 мл 0,1 *n* раствора соляной кислоты, в зависимости от количества осадка, с таким расчетом, чтобы соляной кислоты был избыток. Фильтр хорошо разбалтывают стеклянной палочкой, а стенки стакана обмывают водой. При растворении соляной кислотой фосфорно-аммонийномагниевой соли реакция идет по уравнению:



Избыток соляной кислоты оттитровывают 0,01 *n* раствором щелочи (NaOH) при индикаторе метиле оранжевом. По разности определяют, сколько миллилитров 0,1 *n* соляной кислоты пошло на разрушение фосфорно-аммонийномагниевой соли (1 мл 0,1 *n* HCl, пошедшей на разрушение MgNH_4PO_4 , соответствует 0,0012 г иона Mg).

Расчет на 100 г почвы производят обычным образом (см. форму записи на стр. 208).

Определение иона серной кислоты. 10—50 мл водной вытяжки, подкисленной соляной кислотой, нагревают до кипения и приливают к ней для осаждения иона серной кислоты 5—10 мл кипящего 10-процентного раствора хлористого бария. Кипячение при помешивании продолжают 2—3 мин., а затем ставят стакан, покрытый стеклом, в теплое место или на кипящую водяную баню на 4 часа. Реакция осаждения иона серной кислоты хлористым барием идет по уравнению:



Форма записи

№ стаканчика	Объем вытяжки для анализа (в мл)	Количество 0,1 n раствора HCl, прилитое для разрушения фосфорно-аммонийно-магниевои соли (в мл)	Количество 0,1n раствора NaOH, пошедшее на титрование избытка HCl (в мл)	Количество HCl, пошедшее на разрушение фосфорно-аммонийно-магниевои соли (в мл)	Содержание Mg ⁺⁺ в процентах к весу сухой почвы

После этого вытяжку испытывают на полноту осаждения, фильтруют через плотный беззольный фильтр и промывают кипящей водой (подкисленной соляной кислотой) до исчезновения в промывных водах реакции на барий (проба серной кислотой). Отмытый осадок вместе с фильтром переносят в заранее взвешенный фарфоровый или платиновый тигель, просушивают и озоливают фильтр на слабом пламени горелки; по озолении осадок прокаливают на сильном пламени. Затем после охлаждения в эксикаторе взвешивают тигель на аналитических весах и по разности вычисляют количество сернокислого бария во взятом для осаждения объеме жидкости. Содержание иона SO_4 определяют в полученном количестве $BaSO_4$, принимая молекулярный вес $Ba=137,37$; $S=32,07$ и $O=16$.

Пересчет на 100 г почвы производят обычным образом.

Форма записи

Взято вытяжки для анализа (в мл)	№ тигля	Вес пустого тигля (в г)	Вес тигля с осадком сернокислого бария (в г)	Вес сернокислого бария в объеме вытяжки, взятом для анализа (в г)	Вес иона SO_4 в объеме, взятом для анализа (в г)	Содержание SO_4 к весу сухой почвы (в %)

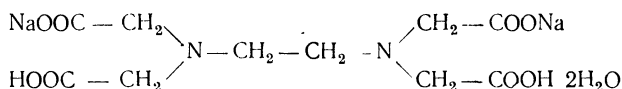
КОМПЛЕКСОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

За последние пять-шесть лет в практику различных лабораторий все шире внедряется комплексометрический метод определения ионов Ca, Mg и SO₄ в водных растворах.

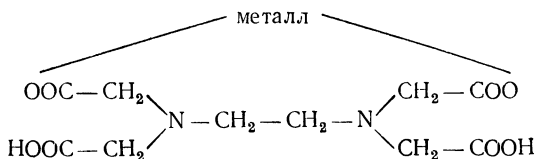
Этот объемный метод основан на свойстве некоторых солей сложных органических кислот давать с ионами двухвалентных и других металлов прочные хорошо растворимые в воде, внутрикомплексные соединения. В результате этой реакции ионы металлов, оставаясь в растворе, оказываются прочно связанными, т. е. как бы выведенными из раствора без образования осадка.

Чаще всего для этих целей пользуются двунанатривой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (молекулярный вес 372, эквивалентный вес 186), получившей название трилона Б, откуда и сам метод часто называют трилонометрическим.

Формула трилона Б:



С ионами щелочноземельных металлов трилон Б дает внутрикомплексные бесцветные соединения типа:



Титрование трилоном Б водных растворов, содержащих ионы Ca, Mg и др., основано на извлечении им этих ионов из окрашенных комплексных соединений, которые они дают с органическими красителями-индикаторами. В качестве индикаторов при этом титровании употребляют: 1) эриохром черный Т, выпускаемый в СССР под маркой «кислотный хромоген черный специальный ЕТ-00»; 2) кислотный эриохром синий и темно-синий; 3) мурексид.

Эти индикаторы в щелочной среде при рН 10 дают окрашенные комплексные соединения, которые в зависимости от наличия или отсутствия упомянутых ионов меняют свою окраску. Так, например, кислотный хромоген черный спе-

циальный ЕТ-00 в присутствии ионов Са и Mg приобретает винно-красную окраску, а в отсутствии их --- зеленовато-синюю. Кислотный хром темно-синий в тех же условиях меняет свою окраску из винно-красной в синевато-сиреневую.

Переход окраски индикаторов при титровании трилоном Б происходит в момент, когда все ионы определяемого металла оказываются извлеченными из комплекса с индикатором и связанными трилоном Б в более прочный комплекс.

При наличии в растворе ионов кальция и магния реакция идет сначала с ионами кальция, а затем магния.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ ИОНОВ Са и Mg

В коническую колбу емкостью 200 — 250 мл наливают определенный объем водной вытяжки, который затем доводится дистиллированной водой до 100 мл. Объем водной вытяжки для определения берут исходя из содержания в ней ионов кальция и магния. Содержание этих ионов во взятом для титрования объеме не должно превышать 0,5 мг-экв., поэтому для более правильного выбора объема вытяжки предварительно следует сделать качественную пробу, а затем использовать таблицу П. А. Крюкова.

Т а б л и ц а 42

Сумма ионов Са и Mg (в мг-экв./л)	Объем пробы (в мл)	Концентрация раствора трилона Б (в нормальных)
0,5— 5,0	50	0,01
5,0—10,0	25	0,01
10,0—20,0	10	0,01
20,0—50,0	10	0,05

Ко взятому объему водной вытяжки, доведенному дистиллированной водой до 100 мл, прибавляют 5 мл буферного раствора и 8 капель индикатора. После добавления индикатора жидкость в колбе окрашивается в винно-красный цвет. Окрашенная жидкость при встряхивании медленно титруется раствором трилона Б до перехода красного цвета в зеленовато-голубой. Количество миллилитров раствора трилона Б, пошедшее на титрование, умноженное на нор-

мальность раствора трилона (с поправкой) и приведенное к 100 г почвы (или 1 л), даст суммарное количество ионов Са и Mg в миллиграмм-эквивалентах.

Пример. Для титрования было взято 25 мл воды. На титрование пошло 2,2 мл 0,05 *n* раствора трилона Б. Поправочный коэффициент раствора трилона Б — 0,96. Содержание Са и Mg на 1 л исследуемой воды будет составлять:

$$\frac{2,2 \cdot 0,05 \cdot 0,96 \cdot 1000}{25} = 4,22 \text{ мг-экв/л.}$$

Р е а к т и в ы

1. Раствор 0,05 *n* трилона Б.

Для его приготовления 9,3 г трилона Б растворяют в 1 л дистиллированной воды.

Титр раствора (поправочный коэффициент) устанавливается по раствору семиводного сернокислого магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ той же концентрации или по хлористому цинку или кальцию.

2. Раствор трилона Б 0,01 *n* готовится из 0,05 *n* раствора путем его разбавления или растворением 1,86 г трилона Б в 1 л дистиллированной воды.

3. Аммиачный буферный раствор: 100 мл 20-процентного раствора химически чистого NH_4Cl смешивают со 100 мл 20-процентного химически чистого аммиака. Смесь доводят до 1 л дистиллированной водой.

4. Раствор индикатора хромогена черного: 0,2 г хромогена черного ET-00 растворяют в 4 мл аммиачного буферного раствора и доводят до 40 мл этиловым спиртом.

5. Титрованный раствор семиводного сернокислого натрия готовят растворением 1,238 г химически чистого $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 1 л дистиллированной воды.

Примечание. Вода, употребляемая для приготовления водной вытяжки и реактивов, не должна содержать ионов меди, марганца или железа. При наличии ионов меди в воде необходимо добавлять в колбу 2 мл 1,5—2-процентного раствора сульфита натрия (Na_2S), а при наличии следов марганца 2—3 капли 5-процентного раствора солянокислого гидросиламина.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ

Для прямого определения иона кальция в воде или водной вытяжке комплексометрическим методом пользуются титрованием трилоном Б в присутствии другого индикатора — мурексида.

Мурексид — аммонийная соль пурпуровой кислоты. Мурексид образует с ионами кальция малодиссоциированное прочное при pH 10 комплексное соединение, окрашенное в малиново-красный цвет.

В отсутствии ионов кальция мурексид имеет лиловое окрашивание.

С ионами магния мурексид окрашивания не дает. На этом и основано разделение ионов Ca от Mg при титровании.

При титровании ион Ca извлекается из комплекса с мурексидом и связывается трилоном Б в еще более прочный комплекс. Когда все ионы кальция будут связаны, происходит изменение окраски щелочного раствора из красного в лиловый.

Ход определения. В коническую колбу емкостью на 200—300 мл берут такой же объем воды или водной вытяжки, как и для определения суммы кальция и магния, и доводят дистиллированной водой до 100 мл.

Затем приливают 2 мл 10-процентного раствора едкого кали или натра (KOH или NaOH), добавляют около 20 мг мурексида и красноокрашенный раствор титруют трилоном Б до перехода красной окраски в лиловую.

Расчет производится так же, как было указано выше.

Р е а к т и в ы

1. Раствор трилона Б (0,05 и 0,01 *n*) (см. стр. 211).
2. 10-процентный раствор едкого кали или натра.
3. Мурексид — смесь сухого мурексида с хлористым натрием или калием. Эта смесь готовится следующим образом:

5 частей мурексида тщательно растирают с 95 частями химически чистого хлористого натрия (или калия).

Для каждого определения в колбу вносится микрошпателем около 0,02 г смеси мурексида с хлористым натрием.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ МАГНИЯ

Содержание иона Mg в воде или водной вытяжке определяется по разности: из количества миллилитров трилона Б, пошедшего на титрование суммы кальция и магния, вычитается количество миллилитров раствора трилона Б, пошедшего на титрование иона кальция. Полученное количество миллилитров трилона Б, умноженное на нормальность

и поправочный коэффициент раствора и приведенное к 1 л или 100 г почвы, дает содержание магния в миллиграмм-эквивалентах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ SO_4

Трилометрическое определение ионов SO_4 в водных вытяжках или в воде основывается на осаждении их титрованным раствором хлористого бария и оттитровывании избытка непрореагировавшего бария раствором трилона Б.

Титрование происходит в присутствии ионов Mg и индикатора — хромоген черный или кислотный эриохром темно-синий. Ионы Ba с этими индикаторами образуют очень непрочное комплексное соединение. При титровании трилоном Б раствора, содержащего ионы Ba, Ca, Mg, трилон Б образует сначала комплексные соединения со свободными ионами Ca и Mg, затем с ионами Ba, и только после этого извлекаются ионы Mg из комплекса с индикатором, в результате чего окраска раствора в точке эквивалентности изменяется от винно-красной через фиолетовую до голубоватой. Чтобы переход окраски был более отчетливым, к титруемому образцу добавляют определенное количество раствора MgCl_2 , которое учитывается при дальнейших расчетах. Метод дает хорошие результаты, если концентрация ионов SO_4 выше 1 мг-экв./л. При меньших концентрациях содержание их должно быть повышено выпариванием воды.

Ход определения. Определение иона SO_4 удобно вести в той же пробе, в которой проводилось определение ионов Ca и Mg. Для этого пробу воды (или водной вытяжки), после определения в ней суммы ионов Ca и Mg кипятят, подкисляют по каплям 10-процентной соляной кислотой до перехода окраски из синей в винно-красную и приливают из бюретки титрованный раствор 0,05 *n* BaCl_2 . Учитывая, что содержание SO_4 во взятом для титрования объеме жидкости может колебаться от 0,01 до 0,25 мг-экв., для осаждения приливают 10 мл раствора BaCl_2 . Затем колбе дают остыть и приливают 10 мл титрованного 0,05 *n* раствора MgCl_2 , 10 мл буферного раствора, 6—7 капель индикатора и титруют в присутствии контроля 0,05 *n* раствором трилона Б до перехода окраски в голубой цвет.

Предварительно или после этого следует определить количество миллилитров трилона, пошедшее на титрование взятого объема BaCl_2 .

Для этого поступают следующим образом.

1. Сначала оттитровывают смесь растворов BaCl_2 и MgCl_2 . К раствору 0,05 *n* BaCl_2 , взятому в том объеме, который приливался для осаждения SO_4 , приливают 10 мл 0,05 *n* MgCl_2 , 5 мл буферного раствора и 7—8 капель индикатора и титруют 0,05 *n* трилоном Б.

2. 10 мл 0,05 *n* раствора MgCl_2 помещают в коническую колбу, добавляют 100 мл H_2O , 5 мл буферного раствора и 8 капель индикатора и титруют 0,05 *n* раствором трилона Б.

3. Получив количество миллилитров трилона, пошедшее на титрование смеси $\text{BaCl}_2 + \text{MgCl}_2$, и вычтя из него количество миллилитров трилона, пошедшее на титрование MgCl_2 , по разности находят количество миллилитров трилона, отвечающее взятому для титрования объему BaCl_2 .

Имея все эти данные, производят вычисления содержания SO_4 в исследуемой водной вытяжке (или воде) по следующей формуле:

$$S = \frac{[B - (C - A)] \cdot K \cdot 100 \cdot 0,05}{\text{навеска}} \text{ мг-экв. },$$

где S — количество SO_4 в мг-экв. на 100 г почвы;

A — количество миллилитров трилона, соответствующее 10 мл MgCl_2 ;

B — количество миллилитров трилона, соответствующее взятому для осаждения количеству BaCl_2 ;

C — количество миллилитров трилона, пошедшее на обратное титрование;

K — поправочный коэффициент на трилон.

Р е а к т и в ы

1. 0,05 *n* раствор трилона Б (см. стр. 211).

2. 0,05 *n* раствор BaCl_2 : 5,21 г BaCl_2 растворяют в 1 л дистиллированной воды.

3. 0,05 *n* раствор MgCl_2 . В силу высокой гигроскопичности MgCl_2 раствор его готовят следующим образом: берут навеску MgCO_3 (2,108 г), помещают ее в мерную колбу (1 л) и растворяют в возможно малом количестве HCl . Сначала приливают 5 мл крепкой HCl , а после выделения CO_2 прибавляют по каплям крепкую HCl до полного растворения карбоната магния. Затем приливают дистиллированную воду до нужного объема.

4. Индикатор — кислотный хром темно-синий: 0,2 г индикатора растворяют в 4 мл аммиачного буферного раствора и доводят до 40 мл этиловым спиртом.

5. Аммиачный буферный раствор (см. стр. 211).

6. Раствор солянокислого гидроксилamina (см. стр. 211).

7. Раствор сернистого натрия (Na_2S) 1,5—2%.

Примечание Дистиллированная вода не должна содержать ионов меди, марганца, железа. Влияние этих ионов устраняется прибавлением сульфата натрия и солянокислого гидроксилamina.

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИОНОВ НАТРИЯ

Ион натрия в водных вытяжках обычно непосредственно не определяют из-за технической сложности анализа. Вместе с тем определение количества этого иона весьма важно, так как, зная соотношение ионов в водном растворе и учитывая величины щелочности и общую концентрацию раствора, можно получить некоторое предварительное суждение о вероятной степени выраженности в данной почве солонцовых свойств.

Поэтому в настоящее время принято вычислять в водных вытяжках количество иона натрия. Это вычисление основано на том, что в любом растворе солей сумма эквивалентов анионов равна сумме эквивалентов катионов.

В водной вытяжке определяют практически все важнейшие анионы (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) и два катиона (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Разницу между суммой эквивалентов анионов и катионов принимают за количество эквивалентов натрия.

Для проведения этого расчета в каждом анализе водной вытяжки необходимо весовые проценты найденных ионов выразить в миллиграмм-эквивалентах.

Эквивалентным весом иона называют его атомный вес, деленный на валентность. Таким образом, эквивалентный вес иона натрия (Na) будет равен $\frac{23,00}{1} = 23,00$,

а иона кальция (Ca) = $\frac{40,07}{2} = 20,035$ и т. д.

Весовое количество вещества, равное его эквивалентному весу, составляет грамм-эквивалент, или 1000 миллиграмм-эквивалентов. Следовательно, 1000 миллиграмм-эквивалентов $\text{Na} = 23,00$ г, а 1000 миллиграмм-эквивалентов $\text{Ca} = 20,035$ г и т. д.

Запись результатов анализа водной вытяжки

Почва	Глубина взятия пробы (в см)	Плотный оста- ток (в г)	Щелочность					Cl'	SO ₄ '	Сумма анио- нов	Ca..	Mg..	Сумма кати- онов	Na' по раз- ности	Отношение Na : Ca
			общая HCO ₃ '	HCO ₃ 'з			CO ₃ '', связан- ная с Na ₂ CO ₃								
				связанной с NaHCO ₃	связан- ной с Ca(HCO ₃) ₂	связан- ная с Na ₂ CO ₃									
Серо- зем	5—22	1,803	0,122	0,0148	0,0524	0,024	0,223	0,946	—	0,252	0,0541	—	0,252	10,96 12,57	
То же	5—22	—	2,01	0,24	0,97	0,80	6,28	19,68	27,97	12,57	4,44	17,01	10,96	10,96 12,57	

Примечание. Если по условиям работы определяют не все ионы, то недостающие для расчета даются преподавателем.

Исходя из этого найденные аналитически количества ионов можно выразить в миллиграмм-эквивалентах.

Например, если иона Са найдено 0,252%, то соответствующее количество миллиграмм-эквивалентов находят из пропорции:

$$1000 \text{ мг-экв.} : 20,035 \text{ г} = x : 0,252 \text{ г},$$

откуда

$$x = \frac{0,252 \cdot 1000}{20,035} = 12,57 \text{ мг-экв.}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА

Почвенным раствором называется жидкая фаза почвы или вода вместе с растворенными в ней веществами. Почвенный раствор обеспечивает непосредственно питание растений и участвует в процессах почвообразования. Химизм и реакция почвенного раствора в различных почвах неодинаковы. Реакция раствора обуславливается находящимися в почве солями, кислотами, коллоидами и деятельностью живых организмов.

Реакцию раствора характеризуют концентрацией ионов Н и ОН. В чистой дистиллированной воде концентрации диссоциированных ионов Н и ОН одинаковы и равны каждой величина 10^{-7} . Так как в разбавленном растворе произведение концентраций диссоциированных ионов, отнесенное к концентрации недиссоциированного соединения, есть величина постоянная, то имеем $\frac{H^+ \cdot OH^-}{H_2O} = K$, или $H^+ \cdot OH^- = K H_2O$.

Постоянная величина K (константа диссоциации) для чистой воды очень мала и равна при температуре 22° $1 \cdot 10^{-14}$.

Исходя из приведенного выше уравнения:

$$H^+ \cdot OH^- = K H_2O \text{ или } 1 \cdot 10^{-14},$$

получаем: $H^+ \cdot OH^- = 1 \cdot 10^{-14}$, а так как в чистой воде концентрация водородных (H^+) и гидроксильных (OH^-) ионов равны, то концентрация каждого из них будет:

$$H^+ = OH^- = 10^{-7}.$$

Практически кислотность и щелочность растворов удобнее выражать концентрацией водородных ионов H^+ .

Условно принято концентрацию водородных ионов выражать через символ pH — показатель степени концентрации водородных ионов, представляющий собой десятичный логарифм этой концентрации с обратным знаком.

$$\text{Вместо } (H^+) = \frac{1}{10\,000\,000} = 10^{-7} \text{ употребляют } \lg (H^+) = -7, \text{ или } -\lg (H^+) = 7.$$

В растворах нейтральных	$pH=7$
В растворах кислых	$pH<7$
В растворах щелочных	$pH>7$

Реакция почв нашей страны от 3 до 8,5 pH .

К нейтральным почвам относятся черноземы и луговые почвы; к щелочным — сероземы, каштановые и солонцы; к кислым почвам относятся северные подзолистые, дерново-подзолистые, болотные почвы, а также почвы влажных тропических и субтропических областей.

Определение реакции почвы проводят непосредственно в почвенном растворе или в искусственно приготовленной из почвы водной или солевой вытяжке. В последнем случае на почву действуют какой-нибудь нейтральной солью, например KCl .

Наиболее простым методом определения реакции является калориметрический метод, основанный на способности некоторых органических соединений (индикаторов) изменять окраску в зависимости от концентрации водородных ионов.

В настоящее время как в полевых, так и в лабораторных условиях для определения pH солевой вытяжки широко применяется метод Н. И. Алямовского.

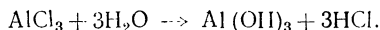
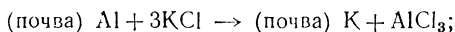
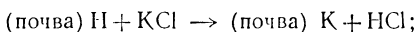
Стандартная шкала Алямовского готовится из цветных солей кобальта, железа, меди. В качестве индикатора берут смесь метилрот и бромтимолблау. (Технику определения см. ниже.)

Кислотность почв. В СССР имеются обширные площади почв, обладающих повышенной кислотностью особенно в зоне дерново-подзолистых почв (области осушительных мелиораций). Для большинства культурных растений благоприятной для произрастания является нейтральная, слабокислая, или слабощелочная среда.

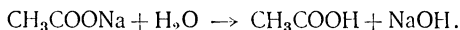
К кислой реакции почв особенно чувствительны такие культуры, как пшеница, лен, клевер, сахарная и кормовая свекла.

Различают две формы почвенной кислотности: а к т у а л ь н у ю и п о т е н ц и а л ь н у ю. Первая обуславливается концентрацией свободных ионов водорода в почвенном растворе. Вторая — всем количеством ионов водорода, способных быть замещенными на металл независимо от их физического состояния. Потенциальная кислотность, в свою очередь, подразделяется на о б м е н н у ю и г и д р о л и т и ч е с к у ю.

Обменная кислотность вызывается подвижными ионами водорода и алюминия, которые могут быть вытеснены из поглощающего комплекса катионами нейтральных солей:



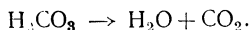
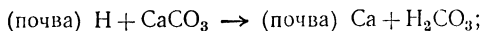
Гидролитическая кислотность обнаруживается при обработке почвы растворами гидролитически щелочных солей, например уксуснокислого натрия:



При воздействии щелочи на поглощающий комплекс почвы вытесняется большее количество водородных ионов, чем при обработке нейтральной солью. Таким образом, гидролитическая кислотность больше обменной кислотности.

Главным мероприятием по уменьшению кислотности почвы является известкование.

При известковании изменение кислой реакции почвы происходит по схеме:



Обменный водород замещается кальцием углекислого кальция с образованием угольной кислоты. Угольная кислота распадается на воду и углекислый газ, уходящий в атмосферу. Свободные кислоты, если имеются в почве, также нейтрализуются с образованием кальциевых солей.

Кислотность и нуждаемость почв в известии устанавливаются по значению рН солевой вытяжки с помощью

специальной таблицы, составленной лабораторией известкования ВИУА.

Различают три группы почв:

1. Сильнокислые рН < 4,5
2. Среднекислые рН 4,6—5,0
3. Слабокислые рН 5,1—5,5

Слабокислые почвы в известковании не нуждаются. Особенно нуждаются в известковании сильнокислые почвы.

Дозы извести устанавливают в тоннах на гектар по значению рН солевой вытяжки. Доза извести зависит от кислотности почвы и от ее механического состава. Чем кислее почва и чем тяжелее механический состав, тем больше должна быть доза извести для известкования (см. таблицу 44).

Т а б л и ц а 44

Нормальные полные дозы углекислой извести (в т на 1 га)

Механический состав	рН солевой вытяжки из почв					
	4,5 и меньше	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4—5,5
Супесчаные почвы и легкие суглинки .	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1—2
Средние и тяжелые суглинки	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5—4,0

Известкование почвы дает особенно высокий эффект, когда проводится совместно с внесением органических и минеральных удобрений на фоне правильных севооборотов.

Определение рН солевой вытяжки из почвы по методу Алямовского. В сухие чистые пробирки берут по 6 г различных образцов почв: черноземной, каштановой, сероземной, подзолистой, солонцовой. В пробирки приливают по 15 мл раствора 1,0 н хлористого калия. Содержимое пробирок взбалтывают в течение 5 мин. и дают отстояться. 5 мл прозрачной жидкости берут чистой пипеткой и наливают в другие чистые пробирки; пипетку и пробирки ополаскивают раствором, рН которого хотят определить. В анализируемые растворы приливают 0,3 мл индикатора, взбалтывают и сравнивают с цветной шкалой. Если вытяжка имеет кислую реакцию, то от прибавления индикатора

получается розовое окрашивание; при слабокислой — оранжево-желтое, при нейтральной — зеленоватое и при щелочной — синее. Полученные значения рН записывают в тетрадь по следующей форме.

№ пп.	Почва	рН солевой вытяжки	Доза извести для кислых почв

В случае кислых почв дозу извести устанавливают по вышеприведенной таблице.

Определение рН можно проводить и в водной вытяжке, но в этом случае величина рН малоустойчива и указывает только на нуждаемость почв в извести, но не может служить для расчета дозы извести.

Глава X

ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС ПОЧВЫ, КОАГУЛЯЦИЯ СУСПЕНЗИЙ, ПРОМЫВКА СОЛОНЧАКОВ, ИСКУССТВЕННОЕ СОЛОНЦЕВАНИЕ ПОЧВЫ

ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПЛЕКС ПОЧВЫ

Коллоидальную часть почвенной массы, которая непосредственно определяет собой обменную поглотительную способность почвы, называют почвенным поглощающим комплексом; обменная поглотительная способность наиболее ярко выражена у почвенных частиц, обладающих размерами коллоидных фракций. Фактически значительной поглотительной способностью обладают все почвенные частицы $< 0,001$ мм, поэтому вся эта часть почвенной массы называется поглощающим комплексом почвы.

Поглощающий комплекс почвы складывается в основном из минеральных частиц и органического вещества — гумуса почвы. Чем глинистее механический состав почвы и чем она богаче гумусом, тем больше ее поглощающий комплекс.

Минеральная часть поглощающего комплекса состоит в основном из минералов: а) группы каолинита, б) группы монтмориллонита, в) группы слюд и г) гидратированных окислов железа и алюминия.

Органическая часть поглощающего комплекса представлена в основном кислотами гумуса.

В результате взаимодействия этих двух (неорганической и органической) групп коллоидов в почве возникает третья промежуточная группа органо-минеральных коллоидов.

Определение поглощенного кальция

Настоящий анализ является качественным¹ и имеет целью показать отношение поглощенных катионов к дей-

¹ Методы количественного определения ионов кальция в поглощающем комплексе почвы основаны на том же принципе вытеснения этих ионов другими, например ионами из раствора нейтраль-

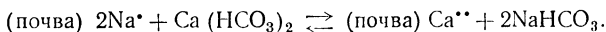
ствию воды и действию растворов солей. Проводится он следующим образом: из любой почвы (но не карбонатной), содержащей в себе поглощенный кальций, берут две навески по 10 г и переносят их в колбочки. Одну из навесок обливают пятикратным объемом воды, а другую — таким же объемом 1,0 *n* раствора уксуснокислого ($\text{CH}_3\text{COO NH}_4$) или хлористого аммония (NH_4Cl).

После трехминутного взбалтывания раствор фильтруют и в фильтрах обычным способом определяют кальций (щавелевокислым аммонием).

Количество осадка щавелевокислого кальция в водной вытяжке и уксуснокислом аммонии будет различным, что и свидетельствует о вытеснении поглощенного кальция солевым раствором.

Определение обменного иона натрия по К. К. Гедройцу

Принцип метода основан на вытеснении из почвы обменного Na бикарбонатом кальция, который образуется из карбоната кальция в присутствии кислоты:



Возникающий бикарбонат натрия переходит в раствор. Выпариванием раствора бикарбонат натрия переводят в карбонат Na_2CO_3 , который определяют объемным или весовым методом:



Ход определения. А. Почва легко растворимых солей не содержит (качественная проба на Cl' и SO_4'' в водной вытяжке).

Из почвы, просеянной через сито с миллиметровыми отверстиями, берут навеску: при содержании обменного Na свыше 0,1 % — около 10 г, менее 0,1 % — от 10 до 100 г.

Навеску вносят в колбу емкостью 1,5—2 л и прибавляют к ней, если почва содержит природного карбоната кальция менее 5%, химически чистого растертого до состояния пудры CaCO_3 из расчета 10% к навеске почвы. Затем в колбу нали-

ной соли — NH_4Cl . Но в этом случае обработка почвы растворами нейтральной соли ведется длительно, до полного исчезновения реакции на кальций в фильтрате, что занимает несколько суток. Поэтому на практических занятиях со студентами ограничиваются качественным определением их.

вают 1 л дистиллированной воды, содержимое колбы хорошо взбалтывают и пропускают через суспензию сильный ток углекислоты в течение 2—3 час., периодически взбалтывая содержимое колбы. Углекислый газ берут из газового баллона или Кипповского аппарата. После этого суспензию отстаивают до полного осветления жидкости и берут пипеткой две порции по 50 —100 мл прозрачной жидкости. Если жидкость в колбе не совершенно прозрачная, то ее фильтруют и указанные порции берут из фильтрата.

Взятые порции выпаривают в фарфоровых чашках досуха на водяной или песчаной бане и быстро растворяют сухой остаток в небольшом количестве прокипяченной горячей дистиллированной воды. Раствор фильтруют через маленький плотный беззольный фильтр. Фарфоровую чашку и фильтр промывают 8—12 раз небольшими порциями кипяченой горячей воды, тщательно отделяя осадок от стенок чашки палочкой с резиновым наконечником. Фильтрат переливают в ту же фарфоровую чашку и снова выпаривают. Затем опять растворяют сухой осадок, фильтруют и промывают чашку и фильтр так, как это делалось в первый раз. Эти операции повторяют 2—3 раза до тех пор, пока сухой осадок в чашке не будет быстро и полностью растворяться в горячей воде.

Раствор, полученный при последнем фильтровании, сразу после охлаждения титруют 0,02 *n* раствором серной кислоты в присутствии метила оранжевого. Для расчета содержания поглощенного Na берут среднее из результатов титрования обеих порций.

Количество миллилитров серной кислоты, затраченной на титрование, умноженное на титр ее, дает содержание поглощенного Na в миллиграмм-эквивалентах, соответствующее доле навески почвы, равной отношению количества миллилитров, взятых для выпаривания пипеткой из колбы, ко всему объему, т. е. к 1000 мл.

Пересчет на 100 г почвы осуществляют обычным способом.

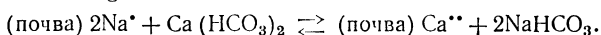
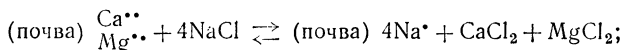
Количество миллиграмм-эквивалентов Na на 100 г почвы, умноженное на 0,023 г, дает содержание Na в процентах.

Б. Почва засолена. Легкорастворимые соли из почвы отмывают на фильтре водой до появления в фильтрате опалесценции или окраски гумуса, а затем, в случае присутствия Cl, этиловым спиртом 80—90-процентной концентрации до полного исчезновения реакции на хлор.

При наличии в исследуемой почве гипса содержание карбоната натрия в растворе (после выпариваний) определяют весовым методом.

Определение емкости поглощения по К. К. Гедройцу

Принцип метода — замещение всех поглощенных (обменных) катионов ионом натрия с последующим вытеснением в раствор иона натрия бикарбонатом кальция и определением количества иона натрия:



Ход определения. Навеску почвы в 5—10 г, не содержащей гипса, помещают в фарфоровую чашку, приливают к ней 3—4-кратное (по объему) количество нормального раствора NaCl и тщательно размешивают. После отстаивания жидкость сливают на плотный беззольный фильтр в воронке (по стеклянной палочке). К оставшейся в чашке почве вновь приливают раствор хлористого натрия, перемешивают почву, отстаивают и отстоявшуюся жидкость сливают на тот же фильтр. Таким образом продолжают обрабатывать навеску почвы в чашке до полного вытеснения из нее иона кальция (проба на Ca). Обычно для этого необходимо затратить 0,5—1 л раствора хлористого натрия. При этом необходимо возможно полнее сливать на фильтр отстоявшуюся жидкость.

В конце обработки навески почвы раствором хлористого натрия, ее переносят из чашки на этот же фильтр и промывают небольшими порциями дистиллированной воды для отмывки от избытка хлористого натрия. Как только в фильтрате появится окраска воднорастворимого гумуса, промывание навески продолжают уже не водой, а 80—90-процентным спиртом (при пробе на Cl небольшую порцию фильтрата сильно разбавляют дистиллированной водой и подливают азотной кислоты).

Фильтр с навеской почвы, насыщенной поглощенным ионом натрия и отмытой от воднорастворимых солей, переносят в колбу емкостью 1,5—2 л, добавляют 1 г химически чистого порошковидного CaCO_3 , приливают 1000 мл дистиллированной воды и пропускают в течение 2—3 час. сильную струю CO_2 при энергичном взбалтывании суспензии

каждые 15 мин. Далее в этой суспензии определяют содержание иона натрия так, как это описано выше (определение поглощенного натрия).

Пример. Навеска в пересчете на вес сухой почвы 9,628 г; воды 1000 мл.

Для выпаривания и последующего титрования из колбы (после пропускания через суспензию CO_2) взято 200 мл. При титровании израсходовано 16,80 мл 0,02004 *n* H_2SO_4 . Количество милли-эквивалентов H_2SO_4 во взятом объеме равно: $16,80 \cdot 0,02004 = 0,34$ м-экв. На всю навеску количество милли-эквивалентов составит $0,34 \cdot 5 = 1,70$. На 100 г почвы количество милли-эквивалентов равно:

$$\frac{1,70 \cdot 100}{9,628} = 17,65 \text{ м-экв. на 100 г сухой почвы.}$$

Почвы, содержащие гипс, перед насыщением их ионом натрия должны быть освобождены от гипса.

Проба на гипс: к 1—2 г почвы приливают тройное по объему количество нормального раствора NaCl и взбалтывают. Часть отстоявшейся жидкости сливают в пробирку и прибавляют туда 1 мл 5-процентного раствора BaCl_2 — помутнение раствора указывает на присутствие SO_4 . Чтобы убедиться, что в сульфатах присутствует именно гипс, в другой части отстоявшейся жидкости, тоже перелитой в пробирку, делают пробу на Ca .

Для освобождения исследуемой почвы от гипса к навеске ее (взятой на анализ), помещенной в колбу, приливают нормальный раствор NaCl в количестве, обеспечивающем растворение гипса (в 1 л 1 *n* раствора NaCl растворяется более 7 г $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). После взбалтывания и часового отстаивания содержимое колбы фильтруют через плотный фильтр и дальнейшую обработку навески раствором хлористого натрия проводят на фильтре.

КОАГУЛЯЦИЯ ПОЧВЕННЫХ СУСПЕНЗИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Явление коагуляции суспензий состоит в том, что отдельные почвенные частицы суспензии, находящиеся в состоянии броуновского движения, сталкиваются между собой, образуя более или менее крупные агрегаты, и в таком виде оседают на дно сосуда.

Процессы коагуляции имеют в мелиорации очень существенное значение, так как они являются мощным фактором изменения агрегатного состояния почв и поэтому существенным образом изменяют скорость впитывания и фильтрации воды в них, вызывают осаждение взвешенных наносов в каналах, водных бассейнах и пр.

Одним из основных факторов, вызывающих коагуляцию почвенных суспензий, является действие на них элект-

тролитов. Однако коагуляция суспензий под влиянием электролитов наступает при концентрации солей не ниже некоторого минимума.

Минимальная концентрация электролита, вызывающая коагуляцию почвенной суспензии, называется **э л е к т р о л и т и ч е с к и м п о р о г о м**.

Величина электролитического порога зависит от характера суспензии, крупности ее частиц и концентрации. Для каждой данной суспензии электролитический порог зависит от характера соли, ее реакции (нейтральная, кислая, щелочная), валентности и атомного веса катиона.

Мелиоратору необходимо иметь представление о величине электролитического порога некоторых солей, часто встречающихся в почвах, и о влиянии щелочной или кислой реакции среды на устойчивость почвенных суспензий.

Исходя из этих соображений в настоящий практикум и введены следующие упражнения.

1. Определение электролитического порога для двух нейтральных солей разных валентностей (CaCl_2 и NaCl).

2. Определение электролитического порога для иона $\text{H}(\text{HCl})$.

3. Определение электролитического порога для иона $\text{OH}(\text{NaOH})$.

4. Установление стабилизирующего влияния малых концентраций щелочи (NaOH).

Для опытов рекомендуется брать суспензии наиболее дисперсные и устойчивые, насыщенные в той или иной степени натрием—естественные или искусственно приготовленные солонцовые почвы. Опытные растворы готовят для NaCl и NaOH в концентрациях: 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 *n*; для CaCl_2 и HCl в концентрациях 0,01; 0,02; 0,03 и 0,04 *n*.

П р и м е ч а н и е. Серию концентраций заранее подбирают таким образом, чтобы для данной суспензии и объема ее, употребляемого в опыте, при прибавлении 1 мл раствора электролита электролитический порог лежал в пределах, получающихся в суспензии концентраций.

Опыт по определению электролитического порога для каждой из вышеназванных солей проводят одинаково: в штатив ставят пять (или одновременно 10—15—20) по возможности одинаковых пробирок и в каждую из них вносят по 9 мл суспензии. Затем в каждую из пробирок дополни-

тельно вносят: в первую 1 мл раствора 0,01 *n* (или соответственно 0,1 *n*), во вторую 1 мл раствора 0,02 *n*, в третью — 0,03 *n*, в четвертую 0,04 *n* и, наконец, в пятую 1 мл чистой воды (контроль).

После этого пробирки хорошо встряхивают, ставят в штатив и в течение 5—15 мин. наблюдают за коагуляцией в пробирках.

Пробирку с наименьшей концентрацией соли, в которой коагуляция явно заметна, принимают за показатель электролитического порога. Очевидно, что концентрация электролитического порога будет равна 0,1 той, которая была применена в данной пробирке. Например, если начальная коагуляция отмечена в пробирке, в которую был прилит 1 мл 0,02 *n* раствора, то электролитический порог для данной соли будет равен 0,002 *n*.

Если почему-либо во всей серии опыта коагуляция не появится, то в те же пробирки следует прибавить еще по 1 мл раствора и вновь хорошо взболтать их и продолжить наблюдения.

Таким образом определяют и записывают в таблицу электролитические пороги для всех четырех солей.

После этого проводят опыт по определению стабилизирующего влияния иона ОН следующим образом.

В пять пробирок наливают по 9 мл той же суспензии. Берут раствор NaOH той концентрации, при которой в предыдущем опыте был установлен электролитический порог (например, 0,2 *n*) и приливают его в пробирки в следующих количествах: в первую 0,2 мл, во вторую — 0,4, в третью — 0,6, в четвертую — 0,8 мл, а в пятую ничего не добавляют (контроль).

Следовательно, во всех пробирках концентрация щелочи будет ниже ее электролитического порога.

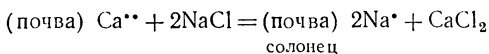
Взболтав суспензию, к ней прибавляют (во все пробирки одинаково) по 1 мл раствора хлористого натрия в концентрации, соответствующей электролитическому порогу. Затем, взболтав жидкость, пробирки ставят в штатив, наблюдают коагуляцию и записывают, какие концентрации NaOH стабилизируют суспензию и не дают коагуляции при электролитическом пороге хлористого натрия.

П р и м е ч а н и е. В этом опыте, так же как и в предыдущем, количества прибавляемого NaOH должны быть заранее подобраны таким образом, чтобы стабилизирующее действие сказывалось в меньших и исчезало в больших дозах.

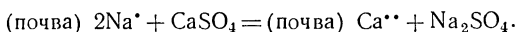
ПРОМЫВКА НАТРИЕВОГО И КАЛЬЦИЕВОГО СОЛОНЧАКА

При промывке солончаков могут быть два случая: 1) почва засолена преимущественно солями кальция; в этом случае при промывке коллоиды почвы насыщаются кальцием и она после промывки выходит с нормальными физическими и химическими свойствами; 2) почва засолена главным образом солями натрия; тогда при промывке коллоиды почвы могут насыщаться Na и она приобретает нежелательные для сельского хозяйства солонцовые свойства.

Это происходит по схеме:



Возникновение солонцового процесса в почве должно быть предупреждено; если он уже происходит, то его необходимо устранить. И та и другая задачи решаются в практике чаще всего путем гипсования почвы:



Задача состоит в том, чтобы наглядно проследить: 1) за поведением почвы при промывке кальциевого солончака с определением зависимости степени выщелачивания соли от величины промывной нормы; 2) за развитием солонцовых свойств почвы при промывке натриевого солончака; 3) за мелиорирующим действием гипса в стадии предупреждения и устранения возникающих солонцовых свойств.

Для опыта берут или естественные солончаки, засоленные соответствующими солями, или, проще и доступнее, любую почву, искусственно засоленную прибавлением к ней хлористого натрия, к другой — хлористого кальция. Засоление почвы хлористым натрием и кальцием проводят с таким расчетом, чтобы солонцовые свойства при промывке проявились достаточно отчетливо (т. е. добавляют их в количестве 5, 10, 15% от веса почвы).

Процессы, протекающие в почве при промывке, регистрируют по следующим показателям: 1) по изменению во времени скорости фильтрации (получение кривой скорости фильтрации); 2) по характеру выщелачивания иона хлора во времени (получение кривой выщелачивания хлора); 3) по характеру изменения общей щелочности (HCO_3') и щелочности нормальных карбонатов (CO_3'') во времени (получение кривой общей щелочности с отметками моментов появления нормальной соды).

Опыт проводится следующим образом. Берут три латунных или стеклянных цилиндра диаметром 5 и высотой 10 см, снабженных снизу донышками из медной сетки с отверстиями 0,25 мм, или дно цилиндра обвязывают снизу марлей. На сетки кладут кружки фильтровальной бумаги. Два из этих цилиндров загружают с легким уплотнением до высоты в 6 см почвой, засоленной хлористым натрием, а третий — почвой, засоленной хлористым кальцием. Сверху почвы, во избежание ее размывания, насыпают грубый песок слоем около 1 см.

Приготовленные таким образом цилиндры с почвой устанавливают на воронке, в которой насыпана промытая галька с крупным песком. С помощью сосудов Мариотта в цилиндрах устанавливают напор воды около 2 см. Через цилиндр с кальциевым солончаком и через один из цилиндров с натриевым солончаком пропускают воду, а через другой цилиндр с натриевым солончаком пропускают насыщенный раствор гипса. В качестве сосуда Мариотта применяют мерную колбу емкостью 500 мл. Для учета фильтрата под воронку подставляют мерный цилиндр 50—100 мл. Установку для опыта монтируют на штативе с держателями и кольцами.

Начало фильтрации в каждом цилиндре отмечают, затем из-под каждого цилиндра собирают не менее пяти порций фильтрата объемом 30—40 мл каждая. Период времени, необходимый для накопления каждой порции фильтрата, тоже записывают (см. ниже форму записи). После того как пять порций фильтрата будет собрано, слой воды над цилиндром с натриевым солончаком удаляют и заменяют слоем насыщенного раствора гипса. Эта операция имеет целью ликвидацию солонцового процесса, развившегося в первую фазу промывки. В этой, второй фазе промывки должно быть получено не менее трех порций фильтрата. В каждой собранной порции фильтрата количественно определяют ион хлора, производят качественную пробу фенолфталейном на присутствие иона CO_3 и затем количественно определяют общую щелочность (HCO_3') обычным способом.

Для определения щелочности берут 25 мл фильтрата, а для определения хлора — 5—10 мл.

В случаях, когда фильтрат окрашивается и титрование затруднено, фильтрат разбавляют водой. Если фильтрат мутен, то перед титрованием его профильтровывают.

Полученные величины ионов хлора и HCO_3 пересчитывают на 1 л раствора и записывают в форму.

Солончак натриевый, промываемый водой

№ пробы фильтрата	Объем профильтрованного раствора Q (в мл)	Время, в течение которого профильтровался раствор (t в мин.)	Объем фильтрата в единицу времени $\frac{Q}{t}$	Количество иона Cl (в г)	Количество иона HCO_3 (в г)	Отметка о присутствии иона CO_3

На основании данных формы для каждого опыта строят кривые: объемов фильтрата в единицу времени, концентраций хлора, концентраций щелочности.

При опыте с кальциевым солончаком, кроме того, необходимо охарактеризовывать интенсивность выщелачивания хлора в зависимости от величины коэффициента n в формуле промывки:

$$M_{\text{пром}} = W_{\text{п. в.}} - m + nW_{\text{п. в.}},$$

где $M_{\text{пром}}$ — промывная норма;

m — запас воды в почве перед промывкой;

$W_{\text{п. в.}}$ — предельная влагоемкость опытной колонны почвы;

n — числовой коэффициент.

Необходимую для расчетов величину m определяют до опыта по влажности почвы или ее указывает преподаватель.

Величину $W_{\text{п. в.}}$ определяют следующим образом: 1) объем воды в сосуде Мариотта перед опытом известен (500 мл); 2) объем всех фильтратов (Σa) известен; 3) замерив после опыта оставшийся в сосуде Мариотта объем воды B , по разности $500 - (B + \Sigma a)$ определяют ее количество, задержавшееся в опытной колонне. Это и будет величина ее предельной влагоемкости.

Пример. $W_{\text{п. в.}} = 60$ мл, $m = 15$ мл, фильтраты 1, 2, 3 и т. д. по 30 мл.

Для момента первого фильтрата промывная норма $M_{\text{пром}} = 60 - 15 + 30 = 75$ мл. Член $nW_{\text{п. в.}} = 30$ мл, откуда

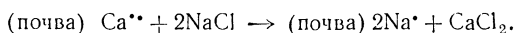
$$n = \frac{30}{60} = 0,5.$$

Для второго фильтрата $M_{\text{пром}} = 60 - 15 + 30 + 30 = 105$ мл. Член $nW_{\text{п. в.}} = 30 + 30 = 60$, откуда $n = \frac{60}{60} = 1,0$ и так далее, для всех фильтратов.

Величины титрования хлора по каждому фильтрату перечисляют на суммарное количество хлора в каждом данном фильтрате и выражают в процентах от количества хлора, содержащегося в почве перед промывкой. На основании этих данных строят кривую выщелачивания хлора из почвы в зависимости от величины коэффициента n .

ИСКУССТВЕННОЕ СОЛОНЦЕВАНИЕ ПОЧВЫ

Метод искусственного солонцевания, предложенный академиком А. Н. Соколовским для борьбы с фильтрацией воды в почвах, заключается в обработке почвы солями натрия. При этом в поглощающий комплекс почвы, имеющий в поглощенном состоянии преимущественно Са, внедряется Na. Этот физико-химический процесс происходит по схеме:



Ион натрия, внедряясь в поглощающий комплекс почвы, придает ей ряд своеобразных свойств, характерных для естественных солонцов. Основными из этих свойств являются значительная плотность в сухом состоянии и огромная набухаемость и очень слабая водопроницаемость в условиях свободного доступа воды.

Объясняются эти свойства тем, что ион натрия обладает значительно более высокой степенью диссоциации (подвижности), чем ионы двухвалентных обменных катионов.

Высокая подвижность иона натрия в почвенном поглощающем комплексе почвы обуславливает высокую степень ее гидратации, что, в свою очередь, вызывает распад почвенных агрегатов в силу уменьшения молекулярного притяжения между частицами и приводит к увеличению дисперсности почвы. В тонкодисперсном солонце порозность представлена очень однородными мелкими порами.

При соприкосновении такой почвы с водой частицы почвы сильно набухают и поры оказываются сплошь занятыми

прочно связанной водой гидратных оболочек, образующих как бы «водный замок» для гравитационного тока воды.

Коэффициент фильтрации воды в такой почве ничтожно мал и практического значения не имеет.

Это изменение фильтрационной способности почвы в результате обработки ее солями натрия и положено в основу метода искусственного солонцевания как противофильтрационного мероприятия.

Чаще всего для целей искусственного солонцевания используется хлористый натрий (NaCl), т. е. поваренная соль, как наиболее дешевая и широко распространенная.

Обработка почвы содой (Na_2CO_3) или едким натром (NaOH) дает больший эффект, так как в условиях щелочной реакции внедрение Na в поглощающий комплекс почвы происходит энергичнее.

Количество соли для солонцевания почвы берется обычно эквивалентным емкости поглощения почвы в расчетном слое.

Емкость поглощения у основных почвенных типов следующая (на 100 г почвы): у обыкновенных и мощных черноземов 40—60 м-экв., у южных черноземов и каштановых почв 25—40 м-экв., у серых лесостепных почв 15—30 м-экв., у сероземных почв 10—12 м-экв.

Пример. Сколько потребуется внести хлористого натрия для замещения кальция в 100 г черноземной почвы с емкостью поглощения 40 м-экв.?

$$x = aE,$$

где x — количество потребного хлористого натрия (в г);

a — мг-экв. хлористого натрия = 0,0585;

E — емкость поглощения.

$$x = 0,0585 \cdot 40 = 2,34 \text{ г NaCl, или } 0,92 \text{ г Na.}$$

При осуществлении солонцевания натриевая соль может вноситься в почву как в сухом виде (тонко размолотая), так и в виде раствора. В первом случае рассчитанное количество соли рассыпается на поверхности почвы, а при внесении в жидком виде насыщенный раствор соли равномерно выливается на нее.

При последующем пуске оросительной воды в осолонцованный сухой солью канал происходит растворение этой соли и реакция обмена между кальцием почвы и натрием раствора осуществляется очень быстро. В результате обработки получается натриевый солончак. При дальнейшем поступлении воды продукты обменной реакции в виде хлори-

стого кальция и остатки непрореагировавшего хлористого натрия быстро выносятся из расчетного слоя почвы и она приобретает отмеченные выше свойства типичного солонца.

Уже в самых начальных стадиях отмывки натриевого солончака фильтрационная способность почвы резко снижается. В дальнейшем противофильтрационный эффект солонцевания проявляется еще больше.

Проведение опыта. Почва, просеянная через сито в 1 мм, загружается в стеклянный цилиндр диаметром 4—5 см; дно цилиндра завязывают марлей, сверху которой помещают кружок фильтровальной бумаги; на наружной стороне цилиндра наклеивают полоску миллиметровой бумаги. Насыпают 100—120 г почвы. При таком количестве высота слоя составит 12—15 см (в зависимости от диаметра цилиндра). Сверху почвы насыпают хлористый натрий, количество которого определяется согласно вышеприведенному расчету. Цилиндр с почвой устанавливают на воронке при помощи металлического штатива так, как это делалось при определении скорости впитывания воды в почву в лабораторных условиях. Сверху почвы насыпают грубый песок слоем в 1 см для предотвращения размывания. Над почвой устанавливается постоянный напор воды слоем в 2—3 см с помощью мерного цилиндра с водой, опрокинутого вверх дном. Под воронкой для собирания фильтрующейся воды ставят мерный цилиндр.

С момента поступления воды в почву ведут наблюдения за расходом воды через определенные промежутки времени. Вначале вода расходуется на смачивание почвы, идет процесс впитывания, затем происходит процесс фильтрации. При впитывании замеры производят по верхнему цилиндру; при фильтрации расход воды удобнее производить по нижнему цилиндру.

Наблюдения за изменением скорости фильтрации воды проводят одновременно на двух образцах почвы: засолонцованной и незасолонцованной (см. форму записи на стр. 235).

Обработку результатов наблюдений проводят следующим образом: вычисляют скорость впитывания и фильтрации по формуле:

$$v = \frac{Q}{S \cdot t},$$

где v — скорость впитывания и фильтрации воды (в см/мин);

Q — расход воды (в мл) за интервал времени (в мин.);

Форма записи наблюдений

Образец почвы	Время наблюдения T (часы, мин.)	Объем впитавшейся (профиль-травящейся) воды W (в мл)	Интервал наблюдений t (в мин.)	Расход воды за интервал Q (в мл)	Площадь поперечного сечения S (в см ²)	Скорость фильтрации v (в см/мин.)
Засолонцованный Незасолонцованный						

S — площадь поперечного сечения фильтрующей колонки (в см²);

t — интервал наблюдения (в мин.).

Полученные данные по скорости фильтрации воды для обоих образцов почв изображают графически, откладывая на оси абсцисс время в минутах (t), на оси ординат — скорость фильтрации (v).

Одновременно с наблюдением за уменьшением скорости фильтрации проводят сопутствующие наблюдения за отмывкой почвы от непрореагировавшего хлористого натрия и продуктов обменной реакции. Для этого в фильтрате проводят качественное определение Cl' азотнокислым серебром.

В пробирку собирают 3—4 мл фильтрата, подкисляют его 1 каплей HNO_3 и прибавляют 3—4 капли азотнокислого серебра. Присутствие Cl' оценивают словами: много, средне, мало, следы.

При наличии времени для проведения настоящего занятия интересно провести микроагрегатный анализ почвы до и после опыта. Количество глинистой фракции после опыта значительно возрастает, что указывает на диспергирование почвы.

Глава XI

СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

ИЗУЧЕНИЕ СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ

При изучении солевого режима почвы следует различать три стадии исследований, которыми должны быть освещены следующие основные вопросы.

1. Количественная и качественная характеристика имеющихся в почве солей и их динамика.
2. Влияние солей на почву и почвенные процессы.
3. Значение солей для растительности.

1. Количественная и качественная характеристика имеющихся в почве солей и их динамика

Первой существенной задачей изучения засоленности почв является подробное обследование данной территории и, по возможности, района в гидрогеологическом и геологическом отношении в целях выяснения, имеют ли почвогрунты в данном случае некоторый относительно постоянный запас солей или же, напротив, их суммарный запас изменяется во времени. В последнем случае необходимо установить причины, пути и возможную интенсивность поступления или выноса солей.

Вторым этапом работы является детальная количественная «солевая съемка», т. е. подробная характеристика данной территории в отношении состава и количества солей, определяемых методом анализа водных вытяжек.

Масштаб такой съемки желательно принять 25—50 м в 1 см (1 : 2500 или 1 : 5000), причем ее данные полезно нанести на план в виде изолиний или контуров. Глубина исследования почвогрунтов определяется возможной глубиной влияния на их солевой режим изменений водного режима, в частности оросительного режима. Практически чаще всего это влияние проявляется во всей толще засолен-

ных почв до уровня грунтовых вод, и в таком случае детальному исследованию подвергаются и самые грунтовые воды. Помимо солевого состава и колебаний уровня грунтовых вод, исключительно важно установить отсутствие или наличие горизонтального их движения. Желательно узнать также направление, скорость и расход грунтового потока.

Ввиду того что основным свойством содержащихся в почве воднорастворимых солей является их большая подвижность, исследование их миграции или перераспределения является третьей задачей изучения солевого режима почвы. Так как перераспределение солей в почве происходит в зависимости от ее водного режима, при изучении миграции солей необходимо установить закономерности движения воды в данной почве, пользуясь методикой исследований, которая описана выше. Параллельное изучение водного и солевого режима почвы не только полезно, но иногда и совершенно необходимо для правильной их оценки. Только путем сопоставления изменений влажности по слоям почвы с изменениями содержания солей можно расчленить явления, связанные с перемещением воды в виде токов жидкости и в результате внутripочвенного испарения.

Кроме регистрации изменений общего содержания солей, необходимо уделить особое внимание систематическому изучению условий растворения и кристаллизации солей в разное время года с учетом их дифференциальной растворимости. Следует учитывать, что эти явления происходят в зависимости не только от общей концентрации раствора, но и от соотношения концентраций отдельных солей, содержащихся в растворе, и температуры раствора.

На основании такого систематического изучения будут получены данные, необходимые для количественной и качественной характеристики имеющихся в почве солей, а также для суждения о возможных пределах регулирования солевого режима в том или ином горизонте почвы и о сумме приемов, с помощью которых такое регулирование может быть осуществлено. Эти данные позволят судить о возможности использования обследованных почв без применения специальных гидротехнических мероприятий, а в случае необходимости устройства дренажа помогут рационально запроектировать его.

2. Влияние солей на почву и почвенные процессы

Влияние воднорастворимых солей на почву необходимо выяснить с помощью исследований, характеризующих: а) взаимодействие с поглощающим комплексом почвы, б) влияние на биологические процессы почвы, в) влияние на дисперсность почвы.

При изучении взаимодействия солей с поглощающим комплексом почвы воднорастворимые соли могут рассматриваться по отношению к основной алюмосиликатной и органической части почвы или как почти индифферентная не реагирующая с ней примесь (в случае богатства почвы катионом Ca^{++} , обусловленного повышенным содержанием CaCO_3 и особенно CaSO_4), или, напротив, как очень активная составная часть почвенного раствора, энергично замещающая катионы поглощающего комплекса почвы катионом Na^+ . Необходимо только оговориться, что и в первом случае обмен поглощенных оснований на натрий все же возможен и реализуется при некоторых соотношениях концентраций солей, которые осуществляются, например, при подсушивании почвы.

Так как вошедший в состав поглощенных оснований натрий исключительно вреден для растений и в резкой степени влияет на дисперсность почвы, задачей исследований является установить характер его взаимодействия с поглощающим комплексом почвы при данном ее солевом режиме. Методами решения этой задачи могут быть: а) непосредственный расчет границ регулирования на основании данных концентраций солей и наличного состава поглощенных оснований; б) прямое определение состава поглощенных оснований при разном состоянии солевого режима почвы; в) косвенный, но практически доступный метод систематического определения щелочности почвы (ионов CO_3 и HCO_3), поскольку она является по преимуществу (но не исключительно) функцией поглощенного натрия.

При исследованиях влияния солей на дисперсность почвы необходимо учитывать, что электролиты являются мощным фактором коагуляции почвенных суспензий. Степень коагуляции зависит от концентрации электролита и от размеров элементарных частиц суспензии.

Исследования должны установить, лежат ли наблюдаемые концентрации солей выше или ниже электролитического порога для данного рода суспензий. В первом слу-

чае влияние солей на дисперсность почвы является достаточно определенным. Во втором случае необходимо получить характеристику условий, при которых концентрации солей становятся ниже электролитического порога, и выяснить влияние этих условий на степень дисперсности почвы.

Для установления степени дисперсности почвы можно рекомендовать следующий прием: свежий образец почвы размешивают в растворе солей, аналогичном по составу и концентрации почвенному раствору при данной влажности почвы. Концентрация суспензии не должна превышать 5%, лучше если она будет составлять около 2%, т. е. если в 100 мл суспензии будет содержаться около 2 г почвы. Взбалтывание производят в высоком цилиндре, и взвесь анализируют методом взятия проб пипеткой с соблюдением сроков и глубин, соответствующих различным скоростям оседания частиц по Стоксу.

Влияние воднорастворимых солей на биологические процессы почвы еще недостаточно изучено: имеются характеристики влияния их на процессы аммонификации, нитрификации и азотоусвоения в лабораторной обстановке, но для условий естественного поля вопрос остается слабо освещенным.

Задачей исследования является получение в первую очередь характеристик влияния солей на процессы азотоусвоения, аммонификации и нитрификации в полевой обстановке.

Необходимые для такой характеристики материалы может дать наблюдение за ходом этих процессов на специальных делянках, одинаковых по основным свойствам почвы и режиму влажности, но различающихся по запасам или качественному составу солей. В дальнейшем эта серия наблюдений должна быть проведена в условиях полного обеспечения микроорганизмов исходным питательным материалом, т. е. с применением соответствующих удобрений.

Деятельность азотособирателей учитывается по валовым количествам азота почвы, содержание которого определяется обычным аналитическим способом, деятельность же аммонификаторов и нитрификаторов характеризуется данными определений аммиака и нитратов колориметрическим методом.

В итоге должны быть получены характеристики биологических процессов, происходящих в почве в зависимости от местных условий, помогающие выяснить влияние солевого режима на эти процессы.

3. Значение солей для растительности

Характер влияния воднорастворимых солей на растения в значительной степени зависит от местных условий: от физико-химических свойств основной почвенной массы и от имеющихся в наличии варьирующих по составу и содержанию смесей солей.

Задачей изучения является количественная характеристика значения этих местных условий для произрастания тех или иных культур.

Методами изучения являются: а) вегетационный опыт с местными почвами, в котором искусственно может быть создан любой солевой режим, соответствующий количественно и качественно наблюдаемым в поле условиям для всех фаз развития растений, начиная с процесса набухания зерна; б) полевой опыт, который может быть рационально поставлен лишь тогда, когда солевой режим почвы уже изучен хотя бы в основных чертах и намечены приемы, которыми его можно регулировать в желаемых пределах; принимая определенный солевой режим, который желательно изучить, и подбирая соответствующую территорию, на которой его можно использовать, проводят опыт с той или иной культурой при соответствующем техническом уходе.

Очевидно, что полевые опыты должны сопровождаться тщательным контролем заданного солевого режима во всей корнеобитаемой толще почвы и по возможности детальным изучением развития как надземных органов, так и корневой системы растений.

Для предварительной ориентировочной характеристики влияния солевого режима почвы на растения можно пользоваться имеющимися на полях засоленными пятнами, на которых условия произрастания культур изменяются обычно концентрическими контурами, часто в очень широких (иногда крайних) пределах.

В результате систематического изучения культур указанными здесь путями должны быть получены материалы, имеющие местное значение: шкала солевыносливости различных растений, или шкала пригодных для данных условий культур, и описание технических приемов, с применением которых эти культуры следует возделывать.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Критическим уровнем грунтовых вод называют такую глубину их залегания, при которой капиллярные токи достигают корнеобитаемой зоны и могут вызвать ее засоление. Этот уровень определяется в первую очередь свойствами почвы и минерализацией грунтовой воды.

Критический уровень, или критическая глубина, залегания грунтовых вод для грунтов различного механического состава укладывается в пределы 1—5 м. Некоторые неорошаемые сероземные почвы Средней Азии, развитые на легких лёссовидных суглинках, обладают, в частности, критической глубиной залегания грунтовых вод порядка 3—4 м.

Многолетними стационарными исследованиями Вахшской почвенно-мелиоративной станции установлены для орошаемых суглинистых почв третьей террасы долины р. Вахша следующие значения критической глубины залегания грунтовых вод с различной степенью минерализации (В. А. Ковда):

Минерализация грунтовых вод (в г/л)	Критическая глубина залегания грунтовых вод (в м)
0,1	около 1,0
1,5	» 1,5
2—3	» 2,5
3—10	» 3,0
20—30	» 3,5

Однако фактически значения критического уровня существенно изменяются в зависимости от конкретных условий данного поля, которые определяют интенсивность движения солей в корнеобитаемую зону. Так, в структурной почве и в почве, находящейся под пологом трав, интенсивность засоления корнеобитаемой зоны очень сильно снижается и глубина критического уровня грунтовых вод соответственно уменьшается. Наоборот, в бесструктурных почвах и на полях с открытой незащищенной травостоем поверхностью критический уровень грунтовых вод достигает наибольших значений. При одних и тех же условиях грунтовые воды должны залегать тем глубже, чем больше их минерализация, но их критический уровень существенно зависит от общего уровня агротехники и поливного режима, с помощью которых можно регулировать интенсивность движения солей и, следовательно, предотвращать накопление солей в корнеобитаемой зоне.

Повышение уровня грунтовых вод на орошаемых массивах вызывает постепенный подъем грунтовых вод на соседних неорошаемых участках. Если грунтовые воды минерализованы, в результате их подъема происходит засоление этих неорошаемых участков. Естественный отток грунтовых вод с орошаемых участков в сторону соседних неорошаемых земель, способствуя понижению уровня грунтовых вод на орошаемых площадях, одновременно увеличивает опасность засоления соседних участков.

Заброшенные внутриоазисные неполивные территории, в которых преобладают восходящие токи, засоляются при значительной глубине минерализованных грунтовых вод (3,5—4,5 м), в то время как засоление орошаемых почв, опресняемых поливами, происходит обычно при более близких грунтовых водах.

Уровень грунтовых вод обычно подвержен закономерным сезонным колебаниям. Поэтому необходимо характеризовать глубину уровня грунтовых вод как в период его наибольшего подъема, так и в период его наибольшего понижения. Важно также установить, на какое время года приходится период максимального сезонного подъема грунтовых вод. Совпадение высокого уровня грунтовых вод с летним сезоном, когда испарение и соленакопление достигают наибольших размеров, является в мелиоративном отношении наиболее неблагоприятным.

По А. Н. Костякову, критическая глубина грунтовых вод, выше которой подъем их опасен, зависящая от степени их минерализации, а также от механического состава почв и их структурности, на лёссовых почвах при минерализации грунтовых вод 7,0—5,0 г/л, 5,0—3,0 г/л, 3,0—1,5 г/л соответственно может быть принята 3,5—3,0 м, 3,0—2,2 м, 2,2—1,5 м.

Как показывают приведенные цифры, для лёссов критическая глубина залегания грунтовых вод достигает 3,5 м. Эта величина близка к данным многих исследований. Что касается других величин, приведенных А. Н. Костяковым, то их нужно рассматривать в качестве допустимых глубин для тех случаев, когда минерализация грунтовых вод меньше 7,0 г/л.

Для суждения о том, находятся ли грунтовые воды на допустимой глубине или же они достигли критического уровня, нужно определить содержание воднорастворимых солей (плотный остаток, хлор-ион, сульфат-ион) в грунтовой

воде и в почвогрунте от уровня грунтовых вод до поверхности почвы. Если в корнеобитаемом слое (в качестве которого принимается условно верхний метровый слой почвы) при хлоридном засолении плотный остаток в водной вытяжке составляет свыше 0,5% и содержание хлор-иона свыше 0,1% или при сернокислом засолении плотный остаток достигает 1% и содержание сульфат-иона 0,7% веса почвы, то это дает основание считать, что грунтовая вода залегает на недостаточной глубине, обуславливающей накопление солей в почве. В этом случае необходимо принять меры для понижения уровня грунтовых вод. Чтобы устранить опасность повышения уровня грунтовых вод до критического, необходимо соблюдать соответствующее соотношение элементов водного баланса, установленное на основании уточненных расчетов для отдельных частей территории. Одновременно с определением содержания солей в почвогрунте нужно определить интенсивность накопления солей в корнеобитаемом слое почвы в зависимости от состояния поля при данном гранулометрическом составе почвогрунтов. Это даст возможность судить о времени, в течение которого произойдет засоление почвы в угрожаемой зоне в случае, если водный баланс поля не будет существенно изменен. И. А. Беседновым, а также Б. И. Философовым и В. Р. Волобуевым вместо понятия о критическом уровне или критической глубине залегания грунтовых вод применено понятие о критическом режиме грунтовых вод. Под термином «критический режим» предлагается понимать такой режим грунтовых вод, которому соответствует близкий к равновесному солевой баланс в почве (когда увеличение количества солей в почве за счет поступления из грунтовых вод компенсируется вымыванием такого же количества солей из почвы вегетационными поливами). В связи с тем, что поддержание в почве нужного солевого режима будет зависеть главным образом от агротехники, речь идет о критическом режиме грунтовых вод как о режиме, допустимом при точном соблюдении определенных агротехнических требований.

По данным стационарных наблюдений за режимом грунтовых вод, полученным в неорошаемых районах Муганской степи, примыкающих к озеру Ах-чала, совершенно четко прослеживается зависимость между глубиной залегания грунтовых вод во время осенних минимумов и многолетней амплитудой колебания их уровней, соответствующих осен-

ним минимумам. Чем больше глубина залегания грунтовых вод, тем меньше амплитуда многолетнего колебания их уровней. При этом установлено, что колебания уровней грунтовых вод практически прекращаются при глубине залегания грунтовых вод, равной 3 м. Это можно объяснить тем, что при грунтовых водах, находящихся на глубине до 3 м, положение их уровня изменяется под влиянием их испарения, которое становится ничтожным, когда глубина их залегания достигает 3 м.

Таким образом, можно предполагать, что критическая глубина залегания грунтовых вод для условий Мугани близка к 3 м, на основании чего ее можно принимать равной 3—4 м. Этот вывод подтверждается еще и тем, что в центральной Мугани при глубине залегания грунтовых вод 2,5—3,0 м почвы неорошаемой территории сильно засолены.

Б. Ф. Федоров указал, что «по имеющимся исследовательским материалам, критическая глубина грунтовых вод для современного агротехнического уровня передовых колхозов лежит примерно в следующих пределах:

а) в области луговых равнин, характеризующихся устойчиво близким залеганием пресных (карбонатных) грунтовых вод,— около 1 м на конусах выносов и около 1,5 м на нижних речных террасах;

б) в области лугово-солончаковых равнин, характеризующихся устойчиво близким залеганием слабо минерализованных грунтовых вод,— около 2 м на конусах выносов и около 2,5 м на нижних речных террасах;

в) в области солончаковых равнин, характеризующихся неустойчивой глубиной залегания минерализованных грунтовых вод,— около 1 м на песчаных почвах и около 2 м на легкосуглинистых и тяжелосуглинистых однородных почвах».

Для условий Бухарского оазиса (Средняя Азия) опытным путем определили, что испарение грунтовых вод через поверхность почвы в практически заметных количествах имеет место там, где зеркало грунтовой воды находится на глубине, не превышающей 2,7 м. Таким образом, можно предполагать, что для этих условий критическая глубина залегания грунтовых вод составляет 2,7 м (округленно 3,0 м).

В условиях Голодной степи принимают следующие значения критической глубины залегания грунтовых вод:

для лёссов — 3,5—4,0 м, для лёссов на целинных землях, в местах заброшенных старопахек и на перелогах — 4,0 м, для суглинков — 3,0 м.

Подводя итог сказанному, можно сделать вывод, что *критический уровень или критическая глубина залегания минерализованных грунтовых вод в большинстве случаев составляет не менее 3 м.*

ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Обычным методом удаления солей из почвы является ее промывка, при которой происходит растворение солей в воде и вытеснение солевого раствора из опресняемого слоя почвы.

Промывная норма должна быть достаточной, чтобы удовлетворять двум требованиям: 1) обеспечить переведение в раствор всех вредных солей расчетного слоя почвы и 2) вытеснить в нужной степени полученный солевой раствор за пределы расчетного слоя почвы.

В зависимости от условий оттока промывных вод промывные нормы рассчитываются по одному из двух вариантов: 1) промывные воды имеют отток; 2) отток промывных вод затруднен, так как грунтовые воды бессточны, и на засоленных грунтовых водах нужно создать пресную водную подушку.

В связи с тем, что вытеснение солевого раствора и стекание его вниз происходит только после того, как расчетный слой почвы приобретает влажность, соответствующую предельной (полевой) влагоемкости его, целесообразно выражать величину промывной нормы (M) с помощью этого показателя. Расчет нормы воды, необходимой для промывки почвы до заданной степени опреснения (например, до содержания в ней 0,1% солей по весу) при условии, что промывные воды имеют отток, производят по формуле:

$$M_{\text{пром}} = W_{\text{п. в}} - W + nW_{\text{п. в}},$$

где $M_{\text{пром}}$ — промывная норма (в м^3 на 1 га);

$W_{\text{п. в}}$ — предельная влагоемкость промываемого слоя почвы (в м^3 на 1 га);

W — запас воды перед промывкой в том же слое почвы (в м^3 на 1 га);

n — коэффициент, зависящий от количества солей в почве и заданной степени ее опреснения.

При норме воды, равной $W_{н.в} - W$, полученный раствор остается в пределах расчетного слоя почвы, происходит лишь перераспределение солей внутри него. Это перераспределение выражается в том, что нижние горизонты расчетного слоя почвы обогащаются солями, а верхние частично освобождаются от солей. Для осуществления промывки необходим дополнительный объем воды ($nW_{н.в}$).

Если объем находящегося в расчетном слое почвы солевого раствора соответствует величине предельной влагоемкости, любой дополнительный объем воды будет вытеснять за пределы расчетного слоя почвы такой же объем солевого раствора различной концентрации.

Коэффициент n для почв сильно засоленных может быть принят в пределах от 2 до 3, для почв средне засоленных — от 1 до 2. Для уточненных расчетов значение n устанавливается опытным путем, посредством последовательной подачи дополнительных объемов промывной воды до получения заданного содержания солей.

Расчет промывной нормы при бессточных грунтовых водах или при очень слабом их оттоке, когда на соленых грунтовых водах создается пресная водная подушка, производится по формуле, предложенной И. Ф. Музычуком:

$$M_{пром} = W_{н.в} - W + \frac{(H-h)}{\gamma} \cdot 10\,000,$$

где $M_{пром}$ — промывная норма (в м³ на 1 га);

$W_{н.в}$ — предельная влагоемкость промываемого слоя (в м³ на 1 га);

W — запас воды перед промывкой в том же слое (в м³ на 1 га);

H — глубина залегания грунтовых вод перед промывкой (в м);

h — допустимая глубина залегания грунтовых вод вскоре после промывки (в м);

γ — отношение высоты поднятия уровня грунтовых вод к высоте слоя воды, вызывающей поднятие уровня грунтовых вод на эту высоту.

В этом случае промывки должны проводиться без ухудшения гидрогеологических условий территории. Подъем грунтовых вод после промывок не должен превышать предельный расчетный уровень, и сельскохозяйственные работы после промывок должны проводиться своевременно, без задержки, на всей территории, включенной в план промывок.

Величину γ , входящую в формулу промывной нормы, определяют исходя из пористости и влажности почвы над грунтовыми водами. При промывках засоленных почв промывная вода, после насыщения до предельной влагоемкости всего этого слоя почвы, достигает уровня грунтовых вод и поднимает его. Так как над уровнем грунтовых вод имеется в это время капиллярная вода, то свободной от воды является только часть объема почвенных пор, в силу чего высота подъема уровня грунтовых вод в несколько раз превышает высоту вызывающего этот подъем слоя воды.

Для определения величины γ как отношения высоты подъема уровня грунтовых вод к высоте слоя воды, вызывающего этот подъем, нужно знать, следовательно, общую пористость и капиллярную влажность почвы над уровнем грунтовых вод. Тогда величина γ определится из формулы:

$$\gamma = \frac{100}{P - W_{\text{кап}}},$$

где P — общая пористость определенного слоя почвы над уровнем грунтовых вод, выраженная в процентах от объема почвы;

$W_{\text{кап}}$ — капиллярная влажность этого же слоя почвы, также выраженная в процентах от объема почвы.

Определение общей пористости и капиллярной влажности почвы нужно сделать одновременно с определением высоты и скорости капиллярного поднятия воды. При проведении этих определений нужно помнить, что капиллярная влажность данного слоя почвы зависит от его положения над уровнем грунтовых вод.

Рациональные размеры промывных норм изменяются в пределах от 2000 до 4000 м³ в зависимости от механического состава и засоленности почвы. Эффективность вымывания солей характеризуется данными, приведенными в таблице 45.

Планировка поля перед промывкой. Перед промывкой поле обязательно должно быть спланировано. Планировка поверхности поля обеспечивает равномерность выщелачивания солей, в дальнейшем при спланированной поверхности поля уменьшаются поливные нормы, устраняется пестрота в засолении, обеспечивается равномерность увлажнения, улучшаются условия работы почвообрабатывающих орудий и уборочных машин.

Глубина опреснения почвы в зависимости от промывной нормы при различном механическом составе и разной степени хлоридно-сульфатного засоления (И. Ф. Музычук)

Промывная норма (в м ³ на 1 га)	Примерная глубина опреснения почв (в см)					
	легких		средних		тяжелых	
	средне засоленных	сильно засоленных	средне засоленных	сильно засоленных	средне засоленных	сильно засоленных
2000	35	20	30	15	20	7
2400	45	25	35	20	25	10
2800	55	30	45	25	30	15
3200	65	35	55	30	35	20
3600	75	40	60	33	40	23
4000	90	45	70	35	45	25

Поверхность участков, имеющих относительно спокойный микрорельеф с небольшими повышениями и понижениями в виде остатков мелкой оросительной сети, валиков, разъемных борозд, небольших промоин и чал, выравнивают путем рыхления чизелем или плугом. В случае большой задернелости почву дискуют. Перед рыхлением все места с остатками оросительных канав распахивают всвал, а места с остатками валиков — вразвал; отдельные ямы засыпают вручную или конной лопатой. Остающиеся после вспашки и боронования небольшие неровности ликвидируют сплошным выравниванием поля, используя для этого конную волокушу (деревянную раму) или среднеазиатскую малу. При наличии рассчитанных на тракторную тягу волокуш, планировщиков, грейдеров, скреперов и др., планировку следует проводить этими орудиями.

Планировочные работы должны проводиться таким образом, чтобы в пределах поливной карты была обеспечена нужная поверхность не только для промывных поливов, но и для последующих увлажнительных. В пределах карты допустимы изменения уклона как по ее длине, так и по ширине, но эти изменения должны быть плавными. Обратные уклоны, как правило, не допускаются. При планировке необходимо следить, чтобы на маломощных почвах срезки были, по возможности, небольшими. Глубокие срезки, вскрывая галечники, могут значительно снизить урожай. Места срезок спланированного поля после промывок должны

быть перепаханы и удобрены повышенными дозами навоза и минеральных удобрений.

После завершения планировочных работ плотность поверхностного слоя почвы становится весьма неравномерной: все места срезок и проходов трактора оказываются уплотненными, а места насыпок — очень рыхлыми. Если на такое поле пустить промывную воду, то эффект промывки окажется крайне пестрым и мало удовлетворительным. Поэтому перед промывкой поля, после его планировки, проводят глубокую уравнительную вспашку и малование или легкое прикатывание. Такая подготовка поля обеспечивает большую равномерность промывки и большую эффективность каждого кубометра промывной воды.

Разбивка поля на промывные делянки. Перед промывкой поле разбивают валиками на отдельные промывные делянки площадью до 0,2—0,25 га на хорошо спланированных участках и 0,05—0,1 га — на недостаточно спланированных. Валики устраивают специальным валикоделателем или плугом в два прохода. Высота валиков 30 см, ширина у основания 60—80 см. Размер делянок зависит от уклона и водопроницаемости почвы: чем больше уклон и водопроницаемость, тем меньше размер делянок. Разница отметок в пределах делянки не должна превышать 5 см.

На спланированных участках делянки делают, по возможности, прямоугольной формы. Ширина их 15—25 м, длина 50—70 м. При наличии на делянке пятен площадью не менее 100 м² с засолением, резко превышающим степень засоления остальной площади, вокруг этих пятен устраивают дополнительные валики для проведения промывки на этих пятнах большими нормами.

На каждую делянку вода должна подаваться непосредственно из оросителя. Если же это оказывается невозможным, то устраивают ок-арык. Трасса ок-арыка намечается так, чтобы возможно лучше обеспечить промывку площадок. Для этого целесообразно устраивать ок-арык не слишком глубоким, но широким. Ширина по дну может быть принята 0,40—0,50 м, глубина 0,30—0,40 м, откосы — от половинных до одиночных. Если при таких размерах ок-арык не дает нужного количества воды, что может иметь место при малых уклонах, то размеры его увеличивают.

Проведение промывок. Рассчитанную для промывки норму воды нельзя выливать на поле сразу; ее следует распределить на несколько поливов с перерывами между ними

в несколько суток (например, на легких почвах 1—2 суток, на средних 2—3 суток, на тяжелых 3—5 суток). Первый полив проводят из расчета увлажнения слоя почвы 0—80 см или 0—100 см до предельной влагоемкости, последующие—равными порциями, примерно по 1000 м³ на 1 га. Такой способ проведения промывок позволяет экономно и эффективно использовать промывную норму: первая порция воды растворит соли и обусловит заполнение солевым раствором капиллярных пор в промываемом слое почвы; последующими порциями промывных вод солевой раствор вытесняется за пределы промываемого слоя почвы. Воду на промываемую делянку подают большой поливной струей, чтобы быстро залить всю поверхность делянки. Для предотвращения размыва поверхности почвы поступающая на делянку вода подается через 2—3 водовыпуска. При наличии на промываемом поле сильно засоленных пятен рекомендуется вести промывки выборочно. На поливы таких пятен, производимые до промывки основной части поля, можно израсходовать, в зависимости от степени их засоления, несколько промывных норм. Такая выборочная промывка позволит уменьшить общий размер промывной нормы для всего участка, т. е. даст наивысший эффект при уменьшенной затрате воды.

В пределах отдельных участков промывку проводят в соответствии с условиями рельефа. Начинают ее с участков, расположенных на повышенных местах, и, постепенно опускаясь, заканчивают в местах пониженных. При расчете промывных норм и возможной высоты подъема грунтовых вод после промывки для верхних участков, промываемых, в первую очередь, нужно учитывать и возможный подъем уровня грунтовых вод на низких участках. Если расчет и опыт показывают, что промывка верхних участков создает недопустимое подтопление и угрозу засоления нижних участков, необходимо устроить дренажно-коллекторную сеть, устраняющую опасность повышения грунтовых вод в пониженных местах.

При промывках вода не должна разливаться и поступать на соседние поля. Не следует также допускать переливов с делянки на делянку, так как это нарушает равномерность промывок. Поэтому нужно следить за тем, чтобы валики, ограждающие делянки, не размывались.

Проверка эффективности промывки производится: по внешним признакам промытого поля; способом качествен-

ного химического контроля, т. е. по качественно определенному содержанию солей в промытых слоях почвы; по динамике уровня грунтовых вод.

По внешним признакам хорошо промытая почва характеризуется следующими показателями: а) темный цвет почвы после промывки постепенно переходит в светлый, и она приобретает красноватый оттенок; б) при обработке почва крошится на мелкие комочки; в) почва становится менее вязкой (не прилипает к ногам) и в момент спелости покрывается сетью мелких трещин.

Для качественного химического контроля, как только становится возможным ходить по промытому участку, берут почвенные образцы в тех же местах и на тех же глубинах, где брались образцы почвы перед промывкой. Затем из каждого образца отвешивают и кладут в стакан 10 г почвы, приливают 50 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивают суспензию и отфильтровывают 5—10 мл водной вытяжки в пробирку. В полученную светлую жидкость приливают 5—10 капель 0,01 *n* раствора азотнокислого серебра. Если при этом получается густой белый творожистый осадок (быстро темнеющий на свету), это означает, что хлористых солей в данном слое почвы еще много и промывка еще недостаточна. При хорошо проведенной промывке водная вытяжка после пробы азотнокислым серебром остается совершенно прозрачной или чуть заметно мутнеет без выпадения осадка.

Агротехнические мероприятия на промытых почвах. После проведения промывок для закрепления опреснительного эффекта должна быть осуществлена система агротехнических мероприятий, наиболее полно отвечающая требованиям минимального испарения с поверхности почвы и созданию условий, препятствующих подъему уровня грунтовых вод и восстановлению капиллярных токов к поверхности почвы.

Немедленно после наступления спелости поверхностного слоя почвы следует забороновать и распахать валики, засыпать ок-арыки, распределить по полю органические и минеральные удобрения. При неравномерном высыхании промытого поля боронование проводится выборочно, по мере высыхания отдельных участков. Цель боронования — защитить почву от испарения разрыхленным слоем, выполняющим роль мульчи. После боронования проводят предпосевную обработку почвы чизелем. На тяжелых и сильно

засоленных в прошлом участках перед самым посевом такую обработку повторяют, применяя для этого плуг и чизель. Обработка почвы в том и другом случае сопровождается боронованием. Существенным элементом предпосевной обработки является также малование.

Минеральные удобрения на промытых площадях рекомендуется вносить дифференцированно, чтобы не увеличивать значительно концентрации солей в корнеобитаемом слое почвы — до посева 30—40% и в период вегетации (в три приема) 60—70% принятой нормы удобрений.

На сильно засоленных почвах, где промывки в первый год дают опреснение слоя глубиной всего в 20—30 см, целесообразно промытое поле занять ячменем, как культурой сравнительно солеустойчивой. После снятия ячменя следует произвести лущение стерни и сделать добавочную планировку для последующей промывки в осенне-зимний период. На хорошо промытых землях наиболее желательна культура люцерны, способствующая уменьшению испарения с поверхности почвы, снижению уровня грунтовых вод и улучшению водно-физических свойств почвы. Для лучшего развития люцерны необходимо обеспечить правильный уход за ней, проводить частичные выборочные промывки на люцерне первого года и повторные подсевы на изреженных местах, чтобы довести густоту стояния до нормальной (500—600 стеблей на 1 м²).

Для люцерны первого года при опреснении почвы промывками на глубину 50—70 см рекомендуется после второго укоса проводить поливы несколько увеличенными нормами, прибавляя 400—500 м³ на 1 га к тому количеству воды, которого недостает до предельной влагоемкости почвы. При опреснении же почвы промывками на глубину 30—40 см поливы увеличенной нормой дают в более ранние сроки — в мае—июне.

При возделывании на промытых землях хлопчатника важен ранний посев, пока в верхних слоях почвы содержание солей незначительно. В таком случае семена смогут хорошо прорасти, дав нормальные всходы, и до наступления жарких дней растения окрепнут и хорошо разовьются. Следует применять загущенные посевы хлопчатника, чтобы рядки быстрее сомкнулись и создали лучшее затенение поверхности почвы. В борьбе за ранние и дружные всходы применяют засыпку рядов посева слоем перепревшего навоза или навоза с песком; в местах с разреженными всхо-

дами делают подсев или пересаживают туда растений из загущенных рядков.

Культивацию и кетменевание проводят в строгой увязке с выпадающими осадками и вегетационными поливами, не допуская появления корки и пересушивания поля после поливов. На недостаточно промытых почвах, где опреснение захватывает только верхние горизонты, рекомендуется для поддержания концентрации солей, которая не вредит нормальному развитию хлопчатника, увеличить число поливов по сравнению с принятым на незасоленных почвах на 1—2 полива и не допускать иссушения корнеобитаемого слоя, проводя междурядные обработки.

Мелиоративные мероприятия на промываемых площадях. На площадях, подвергающихся промывным поливам, в целях предохранения этих площадей от вторичного засоления необходимо следить за уровнем грунтовых вод и осуществлять эксплуатационные мелиоративные мероприятия, обеспечивающие нормальное состояние этих земель.

К основным мероприятиям такого рода относятся: 1) своевременное проведение поливов установленными нормами, которые ни при каких обстоятельствах не должны превышать; 2) правильная организация орошения с применением рациональной техники полива, в частности проведение поливов по бороздам без сброса; 3) соблюдение в хозяйствах очередности поливов полей и карт обработки; 4) планировка площадей; 5) своевременная и правильная подготовка полей к поливу; 6) своевременное и правильное проведение послеполивных обработок; 7) правильное устройство мелкой сети; 8) применение в каналах антифильтрационных мероприятий; 9) упорядочение посевов риса; 10) организация систематического контроля за водным и солевым режимом промытых земель; 11) всемерная борьба за высокий урожай на основе правильного применения мероприятий агротехнического комплекса.

Глава XII

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛОТ И ВИДОВ ТОРФА

Торфяные почвы образуются в процессе болотного типа почвообразования из продуктов неполного разложения болотных растений в условиях избыточной влажности и недостатка воздуха. В результате этого процесса на поверхности почвы накапливается торф. Для торфяных почв, кроме накопления растительных остатков, характерно наличие восстановительных процессов, в силу которых в почве образуются различные формы закисных соединений. В зависимости от мощности отложенного торфа, типа водного питания болота, где этот торф отлагался, степени разложения торфяной массы, болотные почвы разделяются на почвы торфяные, торфяно-перегнойные, торфяно-глеевые и торфянисто-глеевые. К торфяным относятся почвы с мощностью торфяного слоя более 0,5 м и степенью разложения торфа до 35%; к торфяно-перегнойным — почвы с мощностью торфа более 0,5 м и степенью разложения свыше 35%. Торфяные почвы по мощности торфяного слоя разделяются на маломощные при глубине торфа от 0,5 до 1,0 м, средне-мощные при глубине торфа от 1,0 до 2,0 м и мощные с залеганием торфа более 2 м.

Почвы с толщиной торфяного слоя от 25 до 50 см относятся к торфяно-глеевым и при мощности торфа от 5 до 25 см к торфянисто-глеевым. Каждая болотная почвенная разновидность, в зависимости от типа болотного почвообразовательного процесса, характеризуется названием типа болота, где эти почвы образовались. Например, почва с низинного болота с мощностью торфа в 1,5 м, степенью разложения его до 35% будет называться торфяная среднемощная низинная; почва с верхового болота с залежью торфа 3 м, степенью разложения до 35% будет именоваться — торфяная мощная верховая и т. д.

Образование и развитие болот и видов торфа

Болота образуются тремя основными способами: 1) при зарастании озер и рек, 2) в результате развития болотных растений в условиях избытка влаги в поймах рек, 3) путем эволюции единого почвообразовательного процесса на повышенных элементах рельефа страны, в результате которого растения, воздействуя на почву, создают условия для накопления органического вещества на поверхности почвы. Этот процесс усиливается и приводит ко все прогрессирующему накоплению торфа на поверхности суши.

Все болота разделяются на три типа: низинные, переходные и верховые.

Низинные болота развиваются в понижениях рельефа: в поймах рек, в водораздельных котловинах, нижних частях склонов, и имеют преимущественно плоскую поверхность.

Низинные болота всегда образуются в условиях богатого грунтового или намывного водного питания, когда воды, питающие болотную растительность, содержат значительные количества зольной пищи растений. Растительный покров низинных болот отличается богатством своего состава. В древесном ярусе встречаются ольха черная, береза пушистая; из кустарников — ивы, крушина, черемуха, рябина. В травяном ярусе распространены тростник, осоки, хвощ, таволга, вахта, сабельник и другие растения. Моховой покров состоит главным образом из гипновых мхов. Иногда встречаются и некоторые сфагновые (низинные) мхи. Торфы низинных болот имеют повышенную зольность и обладают нейтральной или слабокислой реакцией.

Переходные болота образуются в условиях бедного грунтового питания, обычно на отложениях торфов низинного типа, когда поверхность нарастающего низинного торфа поднимается выше уровня обводняющих его грунтовых вод и условия минерального питания растений ухудшаются.

Растительный покров переходных болот состоит как из представителей флоры низинных болот, так и верховых, в числе которых наиболее распространены: пушица, шейхцерия и верховые сфагновые мхи. Торфы переходных болот имеют пониженную зольность и слабокислую реакцию.

Верховые болота образуются в условиях обводнения слабо минерализованными атмосферными водами, обычно

на повышенных элементах рельефа. Поверхность верховых болот обычно выпуклая. Растительный покров верховых болот бедный. Древесный ярус состоит в основном из сосны. Большое распространение имеют полукустарники: багульник, кассандра, подбел, клюква. В травяном покрове встречаются пушица одноколосковая, очеретник и некоторые виды осок. Сфагновые мхи образуют сплошной моховой покров. Торфы верховых болот характеризуются пониженной зольностью и сильноокислой реакцией.

В соответствии с выделенными группами болот все торфы разделяются на три типа: низинный, переходный и верховой. В пределах каждого типа выделены подтипы: лесной, лесотопяной и топяной. В подтипах выделены группы, которые разделяются на виды. Вид торфа устанавливается на основании анализа его ботанического состава и процентного соотношения составляющих его растений-торфообразователей.

Копка шурфов на болотах с близким залеганием грунтовых вод и их морфологическое описание производится с непрерывным отливом воды. Для этого у задней стенки шурфа делается углубление, куда собирается вода, вытекающая из стенок шурфа, и откачивается.

При описании торфяных почв в полевом журнале отмечается ботанический состав торфа, степень разложения, залегание уровня грунтовых вод, характер водного питания болота и другие характерные особенности и признаки почв болотного типа почвообразования.

Для примера приводим описание одного почвенного разреза на болоте Костино Спасского района Рязанской области, расположенного на землях колхоза «Красное поле» в селе Емельяновке.

Рельеф— равнинный со слабо выраженными песчаными повышениями; микрорельеф слабо выражен осоковыми кочками.

Положение разреза относительно рельефа — разрез расположен в пойме р. Кешни.

Угодье— неосушенное болото, используемое как сенокос.

Растительность— осока бутылчатая, осока обыкновенная, осока дернистая, луговик дернистый, мятлик луговой, хвощ топяной, лютик болотный, звездчатка болотная, мята австрийская.

Материнская и подстилаящая порода— глина.

Глубина появления грунтовой воды и установившегося ее уровня — 63 см.

Характер водного питания— болото заливается полыми водами р. Кешни. Имеет грунтовое питание и слабо выраженное делювиальное.

Описание разреза. Горизонт 0—7 см. Дернина буро-коричневого цвета, сложенная корнями осок, сильно влажная, уплотненная. Переход к следующему горизонту заметный.

Горизонт 7—19 см. Торф осоково-травянистый, степень разложения 40%, буро-черный, сильно влажный, уплотненный сплошь пронизан корнями. По ходам корней заметно бурое прокрашивание окисью железа. В верхней части горизонта встречается торфяная зола. Переход к следующему горизонту заметный.

Горизонт 19—41 см. Торф травянисто-осоковый, степень разложения 50%, сильно минерализованный, черного цвета с бурыми пятнами, сильно влажный, комковато-зернистой структуры, слабо уплотненный, пронизан корнями. С глубины 32 см залегает сплошная прослойка виванита мощностью 2—3 см. Переход к следующему горизонту заметный.

Горизонт 41—56 см. Торф травянисто-вахтово-тростниковый, степень разложения 35%, темно-бурого цвета, сильно влажный, уплотненный, слабо пронизан корнями. Встречаются остатки древесины, сохранившие структуру, кора березы. Переход к следующему горизонту заметный.

Горизонт 56—93 см. Торф древесно-травянисто-тростниковый, степень разложения 35%, буро-черного цвета, мокрый, значительно уплотненный, слабо пронизан корнями. Встречаются корневища болотных растений, остатки древесины, сохранившие структуру. Переход к следующему горизонту постепенный.

Горизонт 93—200 см. Торф древесно-тростниковый, степень разложения 40%, буро-черного цвета в слое 93—150 см и буро-коричневого — в слое 150—200 см, мокрый, значительно уплотненный, слабо пронизан корнями. Встречаются остатки древесины, сохранившие структуру, корневища болотных растений. Переход к следующему горизонту заметный.

Горизонт 200—348 см. Торф вахтовый, степень разложения 35%, черно-бурого цвета, мокрый, уплотненный. Переход к следующему горизонту резкий.

Горизонт 348—402 см. Глина серо-сизого цвета, книзу опесчаненная.

Горизонт 402—433 см. Песок мелкий серо-сизого цвета, водонасыщенный.

Название почвы — перегнойно-торфяная, мощная, подстилаемая глиной.

Ботанический анализ торфа

Ботанический анализ торфа проводят под микроскопом при увеличении в 100—150 раз. Для анализа торф освобождают от гумуса путем отмучивания его водой. Отмучивание проводят на ситах с отверстиями диаметром 1,0 или 0,25 мм, в зависимости от степени разложения торфа (при сильно разложившемся торфе берется меньший диаметр сита, при слабо разложившемся — больший). Торф промывают до тех пор, пока через него не будет проходить чистая вода.

Если в торфе имеется примесь песка или глины, то их — перед промыванием, отделяют. Для этого торф помещают в кристаллизатор, который наполняют почти до краев водой, и перемешивают пальцами. Затем, после минутного отстаивания, торфяную массу переносят (осторожно) на сито; песок и другие минеральные примеси остаются на дне кристаллизатора.

Небольшое количество промытого торфа пинцетом переносят на предметное стекло микроскопа размером 6×9 или $4,5 \times 12$ см. Приливают на стекло несколько капель воды и торф распределяют равномерно по всему стеклу. Медленно перемещая предметное стекло и тщательно просматривая его, определяют растения, остатки которых слагают исследуемый образец, и записывают в журнал.

Остатки растений, видимые под микроскопом, сравнивают с изображенными на рисунке образцами растений. Соотношение главных торфообразователей устанавливается глазомерно и выражается в процентах с округлением до пяти.

Каждый образец торфа просматривается не менее чем в двукратной повторности. Название торфа дают по преобладающим растительным остаткам, на долю которых приходится 20% и более. При этом преобладающий торфообразователь в названии ставится на последнее место.

Пример. При анализе под микроскопом установлено следующее соотношение между растениями-торфообразователями: осока 45%, гипнум 30%, древесные остатки 20%, тростник 5%, название торфа — «древесно-гипново-осоковый».

Определение ботанического состава торфа сухих образцов проводят путем их предварительного механического размельчения и кипячения торфяной массы до тех пор, пока она не станет мягкой. Сильно пересушенные образцы в целях ускорения определения размачивают или кипятят в 10—25-процентном растворе едкого кали или натра. Но точность определения с применением щелочей при этом уменьшается.

Тип торфа устанавливают также с помощью микроскопа, пользуясь следующим определителем.

Определитель типов торфа (по И. Е. Белокопытову).

1. Остатки низинных растений составляют не менее 95% от общей массы растительного волокна торфа. Низинный тип.

2. Основная масса остатков относится к верховым растениям, низинные растения составляют не более 5% волокна. Верховой тип.

3. Низинные остатки составляют от 10 до 90%, вторая часть волокна представлена остатками верховых растений. Переходный тип.

Определение степени разложения торфа

Степень разложения торфа характеризует содержание в нем массы, утратившей клеточную структуру.

В лаборатории степень разложения торфа может быть определена микроскопическим и гранулометрическим методами. Сущность микроскопического метода П. Д. Варлыгина состоит в том, что под микроскопом при увеличении в 100—140 раз глазомерно определяют процент разложившейся и неразложившейся части торфа.

Образец торфа с влажностью не менее 80—90% веса сырой почвы осторожно перемешивают и расстилают на доске или стекле слоем не более 3 мм. Затем пробочным сверлом (диаметр 5 мм) из образца берут пробы в 10 точках. Взятые пробы объемом около 0,3 мл переносят на предметные стекла, смачивают 5—7 каплями воды, тщательно перемешивают и распределяют тонким слоем. Подготовленный таким способом образец торфа рассматривают под микроскопом. Анализируемый препарат должен быть прозрачным, хорошо просматриваемым в поле зрения микроскопа.

Установив микроскоп, рассматривают на каждом предметном стекле, в разных частях его, три участка. В каждом поле зрения попадают как неразложившиеся остатки растений — корешки, клеточки, так и разложившиеся в виде аморфных сгустков гуминовых веществ, в которых не видно клеточного строения. Определив на глаз часть площади, занимаемую разложившимися остатками, записывают результат по следующей форме.

Форма для записи наблюдений степени разложения торфа

№ стекол	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Процент разложения

1-е поле зрения										
2-е »										
3-е »										

Всего для исследуемого образца получается тридцать определений ($3 \times 10 = 30$).

Общую степень разложения определяют как среднее арифметическое из этих определений с точностью до 5%.

Гранулометрический метод определения степени разложения торфа состоит в том, что пробы торфа весом 50 г каждая разделяются на разложившуюся и неразложившуюся части путем промывания торфа водой на сите с отверстиями диаметром 0,25 мм. В этом случае на сите остается неразложившаяся часть торфа, которая после подсушивания взвешивается и подсчитывается в процентах к общему весу торфа, взятому для анализа.

В полевых условиях степень разложения торфа определяют по И. Е. Белокопытову (см. стр. 261).

Знание степени разложения торфа необходимо в следующих практических целях: 1) для проведения классификации торфяных почв; 2) для определения устойчивости торфяных почв при заложении кротовых дрен; 3) для выбора угла заложения откосов в осушительных каналах; 4) для определения пригодности торфа для применения в качестве подстилочного материала.

Кротовые дрены можно закладывать на болотах с глубиной торфа больше 0,8 м при степени разложения торфа до 35% на глубине закладки дрен. Наилучшей глубиной для закладки кротовых дрен считается от 0,7 до 1,0 м.

Коэффициент заложения откосов в торфах верхового типа при малой степени разложения для грунтов, смоченных водой, принимается от 0,25 до 0,75, для сухих грунтов от 0,25 до 0,50.

В торфах хорошо разложившихся для мокрого грунта откос устанавливается от 1,00 до 1,25 и для сухого от 0,75 до 1,00.

В торфах низинного типа малой и средней степени разложения для мокрых грунтов коэффициент заложения откоса устанавливается в 0,25—1,50 и для сухих грунтов 0,25—1,00.

Для производства торфяной подстилки используются преимущественно моховые сфагновые торфы до 20-процентной степени разложения.

Средняя степень разложения торфа болот низинного типа изменяется от 26 до 51%. В этих пределах торфы следуют в таком порядке: многослойный топяной (26%), сфагновый низинный (27%), гипновый низинный (29%),

Тип торфа	Внешние признаки	Степень разложения (в %)
Низинный	Светло-сери-коричневый торф, представляющий собой спутанный войлок нитевидных корешков осок, иногда с примесью сфагновых и гипновых мхов. Торф с преобладанием гипнума имеет бронзовый оттенок. Вода из торфа отжимается легко, цвет ее светлый или мутноватый » Темно-сери-коричневый торф. Корешки осок ясно различимы на изломе в темной массе торфа. Остатки мхов различимы при внимательном рассматривании. Отжимаемая вода мутная, светло-серая или коричневая » Темный, серо-коричневый торф. Растительные остатки трудно различимы, нередко встречаются кусочки древесины и коры. Вода отжимается с трудом, мутная, темно-серая, с заметными взвешенными частицами. При степени разложения 35% торф начинает слабо мазаться при растирании его пальцами . » Торф землисточерный, иногда с коричневым оттенком. При степени разложения около 50% начинает продавливаться между пальцами. В отжатом торфе упругость отсутствует. Из растительных остатков нередко встречаются мелкие кусочки коры и древесины. Вода не отжимается, торф легко проходит между пальцами. Сильно пачкает руку при размазывании	До 20 20—35 35—50 Более 50
Верховой	Светло-коричневый, иногда почти желтый торф. Отчетливо видны стебельки сфагновых мхов с веточками и сохранившимися листочками. Прозрачная светло-желтая вода отжимается легко. Отжатый торф пружинит » Светло-коричневый торф, редко темнотелый. Стебельки сфагновых мхов голые без веточек и листочков, длина стебельков около 1 см или несколько больше. Желтая слегка мутная вода отжимается очень легко. В отжатом торфе заметна упругость	До 10 10—20

Тип торфа	Внешние признаки	Степень разложения (в %)
Верховой	Торф коричневый. Встречаются куски стебельков сфагновых мхов менее 1 см; нередко видны волокна и черные плоские корешки пушицы. Отжимаемая вода мутная коричневая. Упругость в сжатом торфе незаметна	20—30
»	Торф по цвету темно-коричневый. На изломе торфа заметны тонкие волокна пушицы. Темно-коричневая вода отжимается с усилием, каплями. При степени разложения 40% торф мажется при растирании его пальцами. Отжатый торф пластичен	30—50
»	Торф темно-коричневый, иногда (при более высоких степенях разложения) с пепельным оттенком. Из растительных остатков заметны волокна пушицы, кусочки древесины и коры сосны. Вода не отжимается, торф продавливается между пальцами. При растирании его пальцами сильно мажется; очень пластичен	Более 50

осоковый, тростниковый, хвощевый (от 31 до 36%), древесно-осоковый и древесно-тростниковый (от 42 до 47%) и лесной торф (51%).

Для болот верхового типа средняя степень разложения торфа колеблется от 18 до 46%.

Торф болот переходного типа изменяет свою среднюю степень разложения от 30 до 44%.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Тепловые свойства торфяных почв

Основным источником тепла в почве является солнечная энергия. Нагревание почвы зависит от ее теплоемкости, теплопроводности и способности излучения.

Способность нагревания почвы солнечными лучами зависит от строения поверхности, структуры почвы, ее цвета и влажности.

Торф обладает теплоемкостью, повышенной более чем в два раза по сравнению с песком и глиной.

Теплоемкость различных видов абсолютно сухого торфа одинакова. На величину теплоемкости торфа влияет степень его влажности. По данным Митчерлиха, теплоемкость абсолютно сухого торфа равна 0,148 кал. на 1 см³; торфа, насыщенного водой до полной влагоемкости, — 0,902 кал. на 1 см³.

Торфяные почвы при насыщенности их водой требуют много тепла для своего нагревания; расход тепла на испарение воды из торфа также значителен, поэтому они относятся к холодным почвам.

По своей теплопроводности торф стоит на последнем месте по сравнению с другими почвами. Исследования Н. А. Якубова и А. И. Смарина показали, что теплопроводность торфа при влажности его от 68 до 93% на сырую навеску зависит от влажности и степени разложения растений и мало зависит от их ботанического состава.

Темный цвет торфяной почвы способствует сильному поглощению тепла; в ясную солнечную погоду поверхностные слои торфа нагреваются до 50—60°. Ночная отдача теплоты вызывает сильное охлаждение торфа, и разность температур поверхностных слоев торфа в течение суток может достигать 46,2°.

Плохая теплопроводность торфа определяет быстрое затухание колебаний температуры в глубине почвы. Суточный ход температуры в торфе на глубине 25 см уже не выражен. Амплитуда суточных изменений температуры торфа на глубине 5 см равняется величине колебаний температуры гранита на глубине 45 см. Плохая теплопроводность торфа служит причиной частых заморозков на поверхности почвы и сильных перегревов в жаркие солнечные дни. Торф способен гореть в высушенном состоянии. Легкая воспламеняемость торфяной почвы в жаркие и сухие периоды года влечет иногда выгорание больших площадей торфяных болот и может причинить ущерб культурным посевам и осушительным системам.

Теплотворная способность торфа в основном зависит от его зольности. Меньшему содержанию золы соответствует большая теплотворная способность. Теплотворная способность абсолютно сухого верхового торфа колеблется от 5140 до 5760 кал., а низинного — от 4550 до 5240 кал.

Объемная усадка торфа

Потеря торфом влаги уменьшает его объем, это называется объемной усадкой. Величина усадки выражается отношением изменения объема к первоначальному объему, выраженным в процентах:

$$y = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100,$$

где y — усадка (в процентах);
 V_1 — начальный объем торфа;
 V_2 — конечный объем.

Величина усадки торфа зависит от его влажности и физических свойств.

Изменение объема образца при сушке торфа с большой влажностью будет равно объему удаленной воды при сушке. При некоторой влажности в образец проникает воздух, в этом случае объем образца изменяется меньше. Разница равна объему воздуха, поступившего в образец.

Определение объемной усадки торфа проводится в алюминиевых бюксах для сушки почвы, в дне которых сделано небольшое отверстие для выхода воздуха. Бюксами берут пробы почвы по генетическим горизонтам перпендикулярно вертикальной стенке шурфа и ставят их открытыми в полевой лаборатории для сушки. Объем усадки торфа измеряется насыпанием из мерного цилиндра в бюксы песка вровень с его поверхностью. Данные по объемной усадке торфов записываются по следующей форме.

№ шурфа	Глубина взятия пробы (в см)	Ботанический состав торфа	Степень разложения (в %)	Зольность (в %)	Влажность торфа (в объемных процентах)	Усадка торфа в процентах к первоначальному объему при высушивании до воздушно-сухого состояния

Распыление торфяных почв

При непрерывной обработке торфяных почв во время культуры полевых растений верхний слой почвы сильно распыляется и становится поэтому менее плодородным.

Так, по данным А. Ф. Канашевича, разрушение структуры торфяной почвы для слоя 0,2 м после многих лет культуры полевых растений выразилось уменьшением водопрочных структурных отдельностей на 63% по сравнению с целинным участком торфяной почвы, покрытой многолетними травами. Улучшение структуры распыленной торфяной почвы достигается укатыванием почвы тяжелым наливным катком с целью восстановления ее капиллярности, нарушенной обработками, и в основном посевом многолетних трав. По данным Н. Ф. Лебедевича, многолетние травы восстанавливают структуру торфяной почвы в значительной степени после 3—4 лет жизни, а на шестой год улучшают ее до состояния целинной залежи под естественной травянистой растительностью.

Определение объемного веса торфа

Объемный вес торфа удобно определять в полевых условиях при помощи бура с зубчатым заостренным краем. Определение объемного веса ведется после описания шурфа с его нижних горизонтов для уменьшения затрат труда на откачку воды. Пробы на объемный вес берут по генетическим горизонтам не менее чем в трехкратной повторности. После ввинчивания бура в вертикальную стенку шурфа его извлекают из почвы, стакан бура отделяют от рукоятки поворачиванием влево и подрезают острым ножом заподлицо с краем цилиндра, после чего взятый объем торфа выдавливают на кусок клеенки размером 35×35 см, тщательно завертывают с вложенной этикеткой и завязывают шпагатом. Взятые пробы по каждому горизонту, кроме того, связывают вместе для удобства транспортировки и дальнейшей обработки.

В полевой лаборатории привезенные пробы взвешивают на технических весах и из каждого образца берут пробу на влажность. Результаты определений объемного веса торфа записывают по следующей форме (см. стр. 266).

Хорошие результаты при определении объемного веса торфа дает также и метод парафинирования. Парафин при

Шурф № Объем бура ... см³

Глубина (в см)	
Повторность	
Вес всей почвы (в г)	
№ бюкса	
	Вес бюкса с почвой (в г)
	до сушки
	после сушки
	Вес пустого бюкса (в г)
	Вес сухой почвы (в г)
	Потеря воды при сушке (в г)
	Влажность (в %)
	Средняя влажность (в %)
	Объемный вес (в г/см ³)

Хорошие результаты при определении объемного веса торфяных грунтов получаются также в случае применения гамма-метрического метода.

Данные объемного веса используются для подсчетов запасов воды, питательных веществ в торфяных почвах и для определения скважности почвы.

Объемный вес торфа увеличивается с повышением зольности. В таблице 46 приведены данные ВНИИГиМ по объемному весу торфа в зависимости от его зольности.

Т а б л и ц а 46

Зависимость между объемным весом торфа и его зольностью

Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Объемный вес торфа (в г/см ³)	Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Объемный вес торфа (в г/см ³)
5	0,10	50	0,35
10	0,13	60	0,44
20	0,18	70	0,55
30	0,24	80	0,68
40	0,30	90	0,90

Определение удельного веса торфа

Удельный вес торфа определяют в пикнометрах емкостью 100 или 250 мл. 20—25 или 50—60 г (в зависимости от емкости пикнометра) воздушносухого торфа взвешивают на технических весах и осторожно насыпают в пикнометр. Одновременно берут пробу на определение влажности торфа. Пикнометр с водой и навеской торфа кипятят на водяной бане до осаждения плавающих частиц торфа на дно пикнометра. В дальнейшем все определения и подсчеты ведут как указано в главе III.

Между удельным весом торфа и его зольностью имеется прямая зависимость, которая выражается в том, что с увеличением зольности торфа растет его удельный вес.

Т а б л и ц а 47

Зависимость между удельным весом торфа и его зольностью
(по данным ВНИИГиМ)

Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Удельный вес торфа (в г/см ³)	Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Удельный вес торфа (в г/см ³)
5	1,42	50	1,98
10	1,47	60	2,13
20	1,65	70	2,25
30	1,74	80	2,40
40	1,86	90	2,52

Данные по удельному весу торфяных почв необходимы для подсчета скважности (порозности) почв.

Скважность, или порозность, торфа

Скважностью, или порозностью, торфа называется общее количество пор, заключающихся в данном объеме торфа, выраженное в процентах к объему почвы. Порозность торфа подсчитывается по формуле:

$$P = \frac{\rho - \Delta}{\rho} \cdot 100,$$

где P — порозность в процентах к объему;

ρ — удельный вес;

Δ — объемный вес торфа.

В строительной практике принято порозность выражать при помощи коэффициента порозности (скважности). Этот коэффициент представляет собой отношение объема пустот к объему скелета почвы. Вычисляется коэффициент порозности по формуле:

$$K_p = \frac{P}{100 - P},$$

где K_p — коэффициент порозности;

P — объем пустот (скважин).

Скважность торфяных почв находится в обратной зависимости от зольности торфов: чем меньше зольность, тем больше скважность.

В таблице 48 приведены данные связи между зольностью торфов и их порозностью

Т а б л и ц а 48

Зависимость между скважностью торфа и его зольностью
(по данным ВНИИГиМ)

Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Скважность тор- фа в объемных процентах	Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Скважность тор- фа в объемных процентах
5	93	50	82
10	91	60	79
20	89	70	76
30	86	80	72
40	84	90	64

Знание величины скважности торфяных почв необходимо для подсчета запасов воды и воздуха в определенном слое торфяника.

ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Влагоемкость торфяных почв очень высокая, что объясняется большим содержанием в торфах органического вещества и коллоидов, которые способны сильно набухать от воды и удерживать ее. Большая влагоемкость торфа определяется также его скважностью. Полная влагоемкость наступает при заполнении всех пор водой. Знание полной влагоемкости торфов необходимо для подсчета воды, кото-

рая может поступить с осушаемой территории в дрены и каналы (водоотдача), а также для подсчета количества воды, поглощаемой торфяной почвой в периоды выпадения осадков. Данные запасов воды в торфяных почвах при полной влагоемкости приведены в таблице 49.

Таблица 49

**Запасы воды в торфяных почвах при полной влагоемкости
в сравнении с минеральными почвами**

Почвенная разновидность	Полная влагоемкость		
	в процентах		воды в одномет- ровом слое (в м ³ /га)
	весовых	объемных	
Торф низинный:			
осоково-вахтовый	580	90	9000
осоково-гипновый	444	86	8600
березо-осоковый	395	83	8300
осоково-травянистый	195	80	8000
Дерново-подзолистая легкосуглини- стая	34	48	4800

При разложении торфа и увеличении его зольности влагоемкость заметно падает. Это происходит от того, что содержание органического вещества в этом случае относительно уменьшается.

Предельная полевая, или капиллярная, влагоемкость торфяных почв соответствует заполнению водой всех капилляров ее. В торфах, отличающихся наличием большого количества капилляров, обнаруживается большое количество капиллярной воды. По данным Московской областной болотной опытной станции (Е. Бересневич), капиллярная влагоемкость составляла от полной влагоемкости для осоково-гипновых торфов 97%, для березо-осоковых 98% и осоково-травянистых 92—97%. По данным ВНИИГиМ, предельная полевая влагоемкость торфяных и перегнойно-торфяных почв Мещерской низменности составляла от 60 до 76% к объему почвы. Запасы капиллярной воды в однометровом слое торфяной почвы яхромской поймы составляют (в м³ на 1 га):

низинный осоково-гипновый торф	8200
низинный березо-осоковый торф	8100
низинный осоково-травянистый торф	7400—7800

Капиллярную влагоемкость торфа необходимо знать для подсчета запасов воды, которая может быть использована растениями, и величины водоотдачи, составляющей разницу между полной и капиллярной влагоемкостью.

Максимальная гигроскопическая влажность и максимальная молекулярная влагоемкость торфяных почв

Максимальная гигроскопическая влажность и максимальная молекулярная влагоемкость торфяных почв находятся в обратной зависимости от зольности торфа (табл. 50).

Т а б л и ц а 50

**Зависимость между зольностью торфа и его максимальной
гигроскопической влажностью и максимальной молекулярной
влагоемкостью**

(по данным ВНИИГим)

Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Максимальная гигроскопическая влажность в про- центах на сухое вещество	Максимальная молекулярная влагоемкость в процентах на сухое вещество торфа	Максимальная гигро- скопическая влаж- ность в процентах от максимальной молекулярной вла- гоемкости
10	40	86	46,5
20	36	79	45,6
30	32	72	44,5
40	29	65	44,7
50	25	58	43,1
60	22	51	43,1
70	18	44	41,0

Методы определения максимальной гигроскопической влажности и максимальной молекулярной влагоемкости торфяных почв аналогичны указанным методам для определения этих показателей в минеральных почвах (см. стр 108—110 настоящего практикума).

Из приведенных данных видно, что максимальная гигроскопическая влажность и максимальная молекулярная влагоемкость находятся между собой в определенной зависимости. Учитывая, что определение максимальной гигроскопической влажности торфяных почв длится месяцами, можно по данным максимальной молекулярной

влагоемкости, пользуясь переводным коэффициентом, определять максимальную гигроскопическую влажность. Это необходимо для определения степени доступности воды торфяных почв растениям.

Доступность воды торфяных почв растениям

Исследованиями установлено, что не вся вода, содержащаяся в почве, доступна растениям. Влажность почвы, при которой вода становится недоступной растениям, называется мертвым запасом воды. Величину мертвого запаса воды для торфяных почв в среднем можно принять равной содержанию воды при максимальной молекулярной влагоемкости (табл. 51).

Таблица 51

Мертвый запас воды в торфяных почвах (по данным ВНИИГиМ)

Зольность торфа в процентах на сухое вещество	Объемный вес торфа (в г/см ³)	Максимальная молекулярная влагоемкость в процентах к объему	Мертвый запас воды в однометровом слое (в м ³ /га)
10	0,13	11,2	1120
20	0,18	14,2	1420
30	0,24	17,3	1730
40	0,30	19,5	1950
50	0,35	20,3	2030
60	0,44	22,4	2240
70	0,55	24,2	2420

Количество воды в торфе, доступной растениям, определяют путем вычитания из общего количества капиллярной воды торфа величины мертвого запаса воды.

Количество доступной растениям воды в однометровом слое на 1 га торфяных почв при запасах воды, отвечающих предельной полевой влагоемкости, составляет в среднем от 3600 до 6500 м³ на 1 га.

Для сравнения укажем, что в однометровом слое типичного чернозема Курской области содержится всего 1900 м³ на 1 га доступной растениям воды. Из этих данных видно, что торфяные почвы низинных болот способны запастись громадные количества воды, доступной растениям, и в этом отношении они значительно превосходят плодородные черноземные почвы.

ВЫСОТА КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ ВОДЫ В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Торфяные почвы имеют большую сеть капиллярных ходов, по которым вода в торфе поднимается от грунтовых вод и увлажняет верхние слои почвы.

В литературе приводятся данные о большой высоте капиллярного поднятия воды в торфяных грунтах до 5 м. Исследованиями последних лет установлено, что капиллярное передвижение воды в торфе от уровня грунтовых вод не превышает 70 см и имеет практическое значение только до 40—50 см. По данным ВНИИГиМ, высота капиллярного поднятия воды в торфах Мещерской низменности колеблется от 54 до 63 см.

В полевых условиях высота капиллярного поднятия воды от уровня грунтовых вод хорошо прослеживается по точке перегиба на кривой распределения влажности почвы от грунтовых вод до поверхности.

Высоту капиллярного поднятия воды в торфяных грунтах можно регистрировать, помещая в монолиты почвенные влагомеры (тензиометры), по натяжению которых можно судить о скорости и высоте капиллярного поднятия воды или применяя для этой цели радиоактивные изотопы.

Учет высоты капиллярного поднятия воды в торфяных грунтах имеет большое значение при подстилании слоев, подлежащих осушению слабопроницаемыми грунтами, когда вода, скопляющаяся на непроницаемом слое, поднимаясь по капиллярам, будет переувлажнять почву.

В других случаях излишне глубокое понижение уровня грунтовых вод может отрицательно сказаться на водном балансе осушаемой территории. Учитывая это обстоятельство, грунтовые воды при осушении низинных болот не следует опускать ниже 150—200 см.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВПИТЫВАНИЯ ВОДЫ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Определение скорости впитывания воды проводится по генетическим горизонтам в железных рамках размером 50×50 см, высотой 15 см. Раму забивают в почву на 5 см с устройством вокруг нее защитного кольца. Напор воды в раме устанавливается в 9—10 см. На неосушенных болотах скорость впитывания воды определяют около вырытого шурфа, вода из которого периодически откачивается для

создания возможности впитывания воды из рамы. Наблюдение проводится до тех пор, пока не установится постоянная скорость впитывания. Кроме учета расхода воды, ведутся наблюдения за температурой воды. Повторность опыта устанавливается двукратная. По данным ВНИИГиМ, скорость впитывания воды на торфяных почвах за первый час чаще всего характеризуется 5—10 см/час, что позволяет отнести торфяные почвы по проницаемости к средневодопроницаемым. Вся амплитуда колебания скоростей впитывания на торфяных почвах Мещерской низменности укладывается между 1,2 и 24 см/час. Установившееся значение скорости впитывания колеблется от 0,1 до 2 м в сутки, что близко соответствует величинам коэффициента фильтрации.

Знание данных по скоростям впитывания на торфяных почвах необходимо для расчета возможного поглощения влаги почвой от выпадающих осадков и определения величин стока в периоды ливней и затяжных дождей.

ВОДООТДАЧА ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ

Количество воды, стекающей под влиянием силы тяжести из определенного объема водонасыщенного торфяного грунта, выраженное в процентах к объему, называют водоотдачей. Теоретически величина водоотдачи определяется как разность между полной и предельной полевой влагоемкостью грунта. По данным ВНИИГиМ, величина водоотдачи торфов Мещерской низменности в объемных процентах составляла в слое 0,5 м от 16 до 20%, в слое 0,5—1,0 м от 12 до 20% и в слое 1—1,5 м в среднем равна 20%.

Знание величин водоотдачи грунтов необходимо для расчета размеров внутреннего стока как неосушенных, так и осушенных болот.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ТОРФА

Скорость движения грунтовых вод характеризуется коэффициентом фильтрации, который имеет размерность скорости и обычно выражается в м/сутки. В полевых условиях коэффициент фильтрации определяется по скорости заполнения скважин водой. Скважины закладывают буром диаметром 10—20 см. После установления равновесного уровня воды в скважине ее откачивают клапанной черпал-

кой; затем определяют скорость подъема уровня воды в скважине через каждые 5—10 мин. Наблюдения повторяют два раза. Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле Г. Д. Эркина:

$$K = \frac{3,5r^2 \operatorname{tg} \alpha}{D + H},$$

где K — коэффициент фильтрации;
 r — радиус скважины (в см);
 D — диаметр скважины (в см);
 H — напор воды в скважине (в см);

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lg \frac{y_0}{y_t}}{t},$$

где y_0 и y_t — незаполненность скважины водой в момент начала опыта ($t=0$) и спустя t минут.

В этих формулах значения r , H , D , t , y_0 и y_i замеряются непосредственно в процессе определения коэффициента фильтрации; $\operatorname{tg} \alpha$ вычисляется графическим или аналитическим путем.

Результаты полевых определений коэффициента фильтрации заносят в журнал по следующей форме.

Определение коэффициента фильтрации

Шурф № 9 Дата измерения

Название почвы и характеристика водоносного слоя

Радиус скважины $r=5,5$ см.

Глубина скважины $L=270,0$ см.

Устье скважины заложено на глубине 130 см от поверхности почвы.

Установившийся уровень воды в скважине $H_0=0$ см.

Повтор- ность	Время	Уровень воды в скважине (в см)
I	14 час. 33 мин.	137
	14 » 48 »	106
	14 » 58 »	84
	15 » 08 »	63
	15 » 18 »	46
	15 » 28 »	36
II	15 » 31 »	227
	15 » 36 »	209
	15 » 41 »	195
	15 » 46 »	181
	15 » 51 »	171

Повторность	Время	Уровень воды в скважине (в см)
	16 час. 01 мин.	150
	16 » 11 »	128
	16 » 31 »	83
	16 » 41 »	59
	16 » 51 »	24

Камеральная обработка результатов полевых измерений проводится по следующей форме.

Шурф № 9

Дата измерения

Время от начала замеров нарастающим итогом (в мин.)	Незаполненность скважины водой (в см)	Отношение $\frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t}$	$\lg \frac{y_0}{y_t} = \lg \alpha$
---	---------------------------------------	-----------------------------	-----------------------	------------------------------------

Первая повторность

0	137	—	—	—
15	106	1,29	0,110	0,0073
25	84	1,63	0,212	0,0085
35	63	2,18	0,338	0,0099
45	46	2,98	0,474	0,0105
55	36	3,81	0,581	0,0106

Σ 175

Σ 1,716

Вторая повторность

0	227	—	—	—
5	209	1,08	0,033	0,0066
10	195	1,16	0,064	0,0064
15	181	1,25	0,097	0,0064
20	171	1,32	0,120	0,0060
30	150	1,51	0,179	0,0060
40	128	1,77	0,248	0,0062
60	83	2,74	0,438	0,0073
70	59	3,86	0,586	0,0084
80	24	9,45	0,975	0,0121

Σ 330

Σ 2,740

$$\lg \alpha \text{ для первой повторности} = \frac{1,716}{175} = 0,0098;$$

$$\lg \alpha \text{ для второй повторности} = \frac{2,740}{330} = 0,0083.$$

Коэффициент фильтрации торфов, определенный в Мещерской низменности, по скорости заполнения скважин водой, как правило, изменялся от 0,02 до 2,0 м/сутки. Преобладающие значения коэффициента фильтрации были равны 0,1—0,5 м/сутки.

ИСПАРИЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Величина испарения с поверхности почвы зависит от дефицита влажности воздуха, количества тепла, притекающего к почве, глубины грунтовых вод и скорости капиллярного поднятия.

Большая влагоемкость торфяных почв и высокая капиллярная проводимость определяют большую величину испарения торфяных почв.

Если величину испарения с единицы поверхности кварцевого песка принять за 100%, то, по данным Эзера, испарение с такой же поверхности глины составит 118% и торфа — 159%.

При избытке влаги в торфах с них испаряется воды больше, чем с открытой водной поверхности.

Подсыхание поверхностного слоя торфа нарушает капиллярность почвы и тем уменьшает испарение воды. Прикатывание поверхности тяжелыми катками повышает испаряющую способность почвы. Из приемов, уменьшающих испарение с поверхности торфяной почвы, имеют значение покрытие поверхности торфа песком и смешивание торфа с песком. Опыты показали, что потеря воды от испарения больше всего на чистом торфе, меньше — при торфе, смешанном с песком, и еще меньше — на торфе, покрытом песком.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Определение влажности торфа весовым методом с сушкой в термостате

Высушивают торф при температуре 85—90° до постоянного веса. Затем доводят температуру до 100—103° и выдерживают бюксы с торфом один час, после этого снова взвешивают и получившееся значение веса берут за окончательное. Влажность торфа выражают в процентах к сухой или влажной навеске.

Определение зольности торфа. Из пробы торфа, в которой определялась влажность, сразу же после взвешивания берут 1—2 г сухого торфа и помещают в тигель, предварительно взвешенный на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Торф с тиглем взвешивают на тех же весах и устанавливают вес взятой навески сухого торфа.

Торф сжигают в муфельной печи, обогреваемой электричеством, при осторожном прокаливании в течение 4 часов. Нельзя допускать возгорания торфа (пламени) в тигле. Лучшие результаты получаются, когда тигли с торфом помещают в охлажденную печь и затем включают ток.

После сжигания тигель с золой вынимают из муфельной печи, охлаждают в эксикаторе, на дне которого имеется крепкая серная кислота или безводный хлористый кальций, и взвешивают на аналитических весах. Для контроля полноты сжигания тигель с торфом прокалывают еще один час и снова взвешивают. Озоление продолжают до тех пор, пока разница между двумя взвешиваниями не будет превышать 0,005 г.

Результаты определения выражают в процентах к сухому торфу и вычисляют по формуле:

$$A = \frac{N_z - T}{N_m - T} \cdot 100\%,$$

где A — зольность (в %);

N_z — вес тигля с золой (в г);

N_m — вес тигля с торфом до сжигания (в г);

T — вес пустого тигля (в г).

Колориметрический метод определения кислотности торфяных и заболоченных почв

Н. И. Алямовский рекомендует следующий метод колориметрического определения рН солевой и водной вытяжек из торфа.

В пробирку диаметром 1,5—2 см помещают: 0,6 г воздушносухого торфа, 1,2 г BaSO_4 (в виде порошка) и 15 мл 1 *n* раствора KCl или дистиллированной воды. Пробирку плотно закупоривают пробкой и содержимое ее хорошо взбалтывают в течение пяти минут. После этого пробирку помещают в штатив для отстаивания. Через 1—2 часа

стеклянной ложечкой снимают всплывшие на поверхность частицы торфа. Если всплывшие частицы образуют слой толщиной больше 3—5 мм, то через 1—2 часа после первого взбалтывания содержимое пробирки следует взбалтывать еще раз. По истечении полчаса-часа стеклянной ложечкой снимают всплывшие на поверхность вытяжки частицы торфа. Так же поступают и с пеной, если она обильна и на ней задержалось много мелких частиц BaSO_4 . Затем отстоявшейся жидкостью смывают частицы торфа и BaSO_4 , прилипшие к стенкам пробирки выше уровня жидкости на 1—2 см.

Если окажется, что внесенного BaSO_4 недостаточно для обесцвечивания вытяжки, добавляют еще 1—2 г или больше (в зависимости от степени окрашенности вытяжки), снова содержимое пробирок взбалтывают в течение 3—5 мин. и ставят в штатив для отстаивания.

На следующий день отбирают бесцветную прозрачную вытяжку для колориметрического определения pH (фильтрование вытяжек не допускается). Если вытяжка окажется слегка окрашенной, то определять pH следует в компараторе; при этом в гнезда компаратора, находящиеся позади гнезд с эталонами, следует помещать пробирки с вытяжкой без индикатора, а позади пробирки с вытяжкой, окрашенной индикатором, — пробирку с дистиллированной водой.

Значение pH вытяжек из торфа можно определять при помощи прибора для определения кислотности почвы.

В случае очень кислых образцов (pH меньше 4) приходится пользоваться не комбинированным индикатором, а каким-либо другим, например метилом оранжевым.

В таблице 52 приведены результаты определения pH солевых и водных вытяжек из различных образцов торфа колориметрическим методом, а также электрометрически — при помощи стеклянного и хингидрон-каломельного электродов. Вытяжки делались без BaSO_4 и с внесением BaSO_4 (при отношениях навески BaSO_4 к навеске торфа 1 : 1, 3 : 1 и 8 : 1). Отношение веса торфа к объему раствора KCl или дистиллированной воды во всех случаях было 1 : 25.

Определение pH колориметрическим методом и при помощи стеклянного электрода проводилось в отстое, а с хингидроном — в суспензии.

Влияние BaSO_4 на величину pH солевой и водной вытяжек из торфа

№ образцов торфа	рН вытяжек						
	без BaSO ₄		BaSO ₄ 1 : 11	BaSO ₄ 3 : 11		BaSO ₄ 8 : 11	
	со стек- ляным электро- дом	с хин- гидро- ном	коло- римет- рически	коло- римет- рически	со стек- ляным электро- дом	коло- римет- рически	со стек- ляным электро- дом

pH солевой вытяжки

1	5,90	5,92	6,10	6,10	—	6,10	5,90
3	6,52	6,65	6,70	6,70	6,49	6,70	6,55
4	5,97	6,86	6,00	6,00	5,98	6,00	6,00
5	5,91	5,90	6,00	6,00	5,91	6,10	5,90
8	4,71	4,82	4,85	4,85	4,79	—	—

pH водной вытяжки

4	6,31	6,58	—	6,25	6,35	6,30	6,35
8	5,61	5,45	5,60	5,60	5,58	5,50	5,56
16	6,08	5,95	—	—	—	6,10	6,13
23	—	3,91	3,90	3,90	3,91	3,90	3,93
28	5,72	5,32	—	5,45	5,63	5,45	5,58

Определение подвижной фосфорной кислоты, нитратов, нитритов в вытяжке по методу Кирсанова

Приготовление вытяжки. Навеска сырого торфа из расчета на 4 г сухого встряхивается в бутылке в течение пяти минут с 100 мл 0,2 *n* HCl, затем смесь отстаивается 15 мин., после этого ее снова встряхивают 3 мин. и фильтруют. Для торфа верхового болота берут 0,1 *n* кислоту. Если влажность торфа превышает 80%, то к навеске сырого торфа приливают для верхового торфа 50 мл 0,2 *n* HCl и доливают водой до метки (до 100 мл), для низинного торфа — 50 мл 0,4 *n* HCl и также доливают водой до 100 мл.

Определение фосфорной кислоты. Реактивы:
1) 0,2 *n* HCl. •

¹ Отношение навески BaSO_4 к навеске торфа.

2) Раствор молибденовокислого аммония в HCl , 10 г химически чистого молибденовокислого аммония растворяют при нагревании (не доводя до кипения) в 100 мл воды. Раствор фильтруют горячим, по остывании к нему прибавляют при помешивании 200 мл 35-процентной HCl , после чего доливают 100 мл воды с тем, чтобы получить 5 *n* HCl —раствор «А». Из раствора «А», который сохраняется в темноте, путем разбавления (1 часть раствора, 4 части воды), получается раствор «Б», отвечающий 1,0 *n* HCl .

3) Химически чистый CaHPO_4 для приготовления стандартов.

4) Химически чистая оловянная палочка 10 см длиной, 5 мм в диаметре.

5) Фильтровальная бумага (для анализа промывается 1-процентный HCl для удаления примесей фосфорной кислоты и мышьяка).

Приготовление стандартов. 242,3 мг химически чистого фосфорнокислого кальция ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), отвечающее 100 мг фосфорной кислоты, растворяют в 1000 мл 0,1 *n* соляной кислоты.

Из этого раствора берут бюреткой 2,5; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50 мл, соответственно 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 и 5,0 мг фосфорной кислоты в мерные колбочки в 100 мл и доливают 0,1 *n* соляной кислотой до метки.

Ход анализа. Три занумерованные пробирки (одинакового диаметра) устанавливают по порядку на штативе и в каждую из них вносят пипеткой по 5 мл стандартного раствора. Отмеривание проводят начиная с раствора наименьшей концентрации, при этом не требуется ополаскивания пипетки.

Затем пипетку ополаскивают дистиллированной водой и ею вносят по 5 мл раствора «Б».

В другие пробирки (такого же диаметра) берут по 5 мл почвенной вытяжки и прибавляют 5 мл раствора «Б».

Приготовленные в пробирках стандартные и исследуемые растворы обрабатывают оловянной палочкой до получения постоянной окраски. После обработки каждой пробирки палочку тщательно ополаскивают и вытирают свободной от P_2O_5 фильтровальной бумагой.

Затем испытуемые растворы сравнивают в компараторе со стандартными и по нижеприводимой таблице находят количество фосфорной кислоты (растворимой 0,2 *n* соля-

ной кислоты) в миллиграммах на 100 г абсолютно сухой почвы. Если по окраске испытываемый раствор располагается между двумя соседними стандартами, то и количество фосфорной кислоты, ему отвечающее, составляет среднее между ними.

Если имеются в запасе колбочки в 100 мл, то можно уменьшить интервалы между концентрациями двух соседних стандартов раствора фосфорнокислого кальция: 1; 3; 5; 7,5; 12,5; 22,5 мл и т. д., чем уточняется определение фосфорной кислоты.

Определение нитратов и нитритов по способу Бима, видоизмененному проф. Кирсановым. Реактивы:

1) 0,1 *n* хлористый кальций (5,55 г химически чистого хлористого кальция растворяется в 1000 мл дистиллированной воды).

2) Концентрированная серная кислота.

3) 1,0 *n* соляная кислота.

4) Нитритный реактив: 60 мг дифениламина (C_6H_5)₂NH+ +326 мл разбавленной серной кислоты (1 объем концентрированной серной кислоты+3 части воды), затем доливают концентрированную серную кислоту до 500 мл.

5) Нитратный реактив: 170 мг дифениламина+330 мл воды и доливают концентрированной кислотой до 1000 мл.

6) Нитратный раствор для сравнительной шкалы: 163 мг химически чистого азотнокислого калия (KNO_3) растворяют в 1000 мл воды.

В каждую из девяти колбочек объемом по 100 мл вносят:

1) 20 мл нормальной соляной кислоты, 2) 20 мл 0,1 *n* хлористого кальция и 3) раствор азотнокислого калия (бюреткой) в количестве: 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 мл и доливают водой до метки. Сравнительная шкала содержит в 100 мл KNO_3 — 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 мг.

Ход анализа. Сначала испытывают содержание нитритов: к 5 мл почвенной вытяжки в пробирке прибавляют 5 мл нитритного реактива, встряхивают и оставляют охладиться. Если через 10 мин. не будет окраски, то нитритов содержится менее 0,5 мг на 1 кг почвы.

По выяснении нитритной реакции определяют нитраты. 2 мл вытяжки берут в пробирку, прибавляют 5 мл нитратного реактива, хорошо перемешивают и ставят в большой стакан с водой для охлаждения до комнатной температуры. Одновременно с этим готовят сравнительную шкалу, для

которой берут в пробирки по 2 мл раствора из каждой колбочки и сбрасывают как почвенный фильтрат. Через 15 мин. растворы взбалтывают и пробирки оставляют еще на $\frac{1}{4}$ часа в покое. Затем испытуемый раствор сравнивают с пробирками шкалы. Сравнение удобно проводить в компараторе с матовым стеклом. В зависимости от количества нитритов и нитратов получается различной интенсивности синяя окраска.

Если на 1 л раствора приходится больше 5 мг нитратов, то исследуемый раствор следует разбавить.

Для этого 2 мл вытяжки разбавляют 0,2 *n* HCl в два, три или четыре раза и затем уже берут для определения 2 мл вытяжки. При пересчетах на 100 г торфа разбавление вытяжки учитывается и получившееся содержание нитратов соответственно увеличивается (в два, три, четыре и т. д. раза).

Т а б л и ц а 53

Таблица для пересчета нитратов на 100 г торфа

№ образца	Нитратов в 100 мл вытяжки	Нитратов в 2 мл испытуемого раство- ра, отвечающих 0,03 г торфа	Нитратов в 100 г торфа
1	0,15	0,003	3,75
2	0,20	0,004	5,00
3	0,30	0,005	7,30
4	0,40	0,008	10,00
5	0,50	0,010	12,50
6	0,60	0,012	13,00
7	0,70	0,014	17,50
8	0,80	0,016	20,00
9	0,90	0,018	22,50

Если в почве содержатся нитраты, то из найденного общего содержания нитратов и нитритов вычитают содержание нитритов.

Если в почве содержится много кальция (который при внесении нитритного и нитратного реактивов дает осадок), то приготовление вытяжки изменяется и некоторые реактивы заменяют другими. Нитратные и нитритные реактивы остаются прежними.

Подготовка вытяжки. 4 г торфа из расчета на сухой встряхивают в течение трех минут со 100 мл 2-процентного хлористого кальция, затем отстаивают 15 мин. и снова встряхивают 3 мин. и фильтруют.

Ход анализа такой же, как описано при определении нитритов и нитратов в солянокислой вытяжке почвы.

Глава XIII

ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СХЕМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

ЗАДАЧИ И СОСТАВ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общие задачи почвенно-мелиоративных исследований заключаются в установлении сельскохозяйственной ценности обследуемых земель и получении их мелиоративной характеристики. При установлении сельскохозяйственной ценности земель учитывается не только их общая пригодность для сельскохозяйственного использования, но и соответствие специфическим требованиям планового крупного хозяйства, которое проектируется для освоения этих земель после осуществления мелиоративных мероприятий. Методом получения таких данных является прежде всего установление типов почвообразования и почвенных разностей, затем физико-химическая характеристика каждой почвенной разности и, наконец, сопоставление обследуемых земель с уже освоенными территориями.

При составлении мелиоративной характеристики почвогрунтов необходимо осветить их свойства, определяющие условия производства строительных работ. В ряде районов (главным образом в условиях лёссовых грунтов) выявилось особое значение так называемых «просадок» грунта, т. е. значительных оседаний его после промачивания. Эти просадки, затрагивающие толщи грунта до 10 м мощностью, вызывают повреждения сооружений и нарушают работу сети. Насколько в настоящее время выяснено, просадки определяются, с одной стороны, рыхлостью сложения грунта, а с другой — присутствием некоторых воднорастворимых солей. Поэтому для суждения о возможности появления просадок и об их вероятных размерах необходимы изучение механического состава, плотности сложения, дифференциальной пористости, солевого состава грунтов и прямые эксперименты в лаборатории и поле.

Из других вопросов технической характеристики грунтов необходимо обратить внимание на их размываемость, пригодность для дамб и насыпей всякого рода и, наконец, действие на такие строительные материалы, как цемент. Для решения этих вопросов служат те же данные о механическом составе, характере сложения и солевом составе грунтов.

Второй и основной задачей мелиоративной характеристики почв является определение расчетных показателей для установления потребности в мелиорациях и обоснования их схемы.

В условиях проектирования орошения принимаемая схема мелиораций устанавливает соотношение между оросительными и водоотводящими устройствами, включая в последние и дренаж. Это соотношение в принципе определяется степенью засоленности территории, а именно: при орошении незасоленных земель водоотводящая сеть должна быть мелкой и рассчитывается лишь на опорожнение оросительных каналов и случайные сбросы с орошаемых полей, тогда как на засоленных землях она должна отводить фильтрационные и промывные воды и обычно понижать уровень грунтовых вод или препятствовать его повышению.

По отдельным генетическим типам почв и почвенным разностям должны быть определены количественные характеристики, служащие для проектирования приемов (мелиоративных и гидротехнических), обеспечивающих регулирование водно-воздушного и биологического режимов почвы. Кроме того, для засоленных и солонцеватых почв, а также для почв, которым угрожает засоление и осолонцевание, должны быть получены количественные характеристики, необходимые при проектировании приемов (мелиоративных и агротехнических), регулирования солончаковых и солонцовых процессов. Это — две основные комплексные задачи, которые должны быть решены почвенно-мелиоративными исследованиями.

В первый комплекс исследований, касающихся регулирования водно-воздушного и биологического режимов почвы, входят частные конкретные задачи, связанные с проектированием поливного режима и техники полива сельскохозяйственных культур.

Определение рациональных поливных норм проводится с учетом свойств почвы, обуславливающих величину запа-

сов полезной (доступной растениям) воды и потерь воды на испарение, а также аэрацию почвы; для решения этой задачи используются величина предельной (полевой) влагоемкости и другие показатели водно-физических свойств почвы, причем устанавливаются количественные градации.

Межполивные периоды определяются на основе анализа данных о величине запасов полезной растениям воды и кривых водопотребления орошаемых культур.

Определение роли грунтовых вод в водно-воздушном режиме почв необходимо для обоснования схемы мелиораций и поливного режима; эта задача решается на основе анализа кривых капиллярного поднятия и оценки различных зон этих кривых с точки зрения аэрации и скорости подачи воды.

Установление зависящих от свойств почвы элементов техники полива (размера поливной струи, длины поливной борозды или полосы) осуществляется на основе анализа кривых впитывания воды в почву с установлением количественных градаций.

При орошении нередко происходит засоление участков, не бывших до этого засоленными, так называемое вторичное засоление, которое является следствием общего нарушения водного режима территории. Почвенные исследования должны выявить как самую возможность развития этого процесса, так и определяющие его ход условия. Засоление орошаемых земель может осуществляться двумя путями. Первый путь — это общий подъем грунтовых вод, обуславливающий повышение зоны их капиллярного поднятия и поступление солей в корнеобитаемый слой почвы. Второй путь засоления почвы, имеющий несомненно меньшее значение, но, тем не менее, практически осуществляющийся в условиях орошения, — это поступление солей в корнеобитаемый слой почвы без участия грунтовых вод, за счет близких к нему солевых горизонтов грунта. Постоянно увлажняясь оросительными водами, эти горизонты постепенно передают свои соли вверх почвенным горизонтам. Отсюда ясно, что для прогноза динамики солевого режима и суждения о возможности засоления орошаемых земель нельзя ограничиться знанием свойств только верхних почвенных горизонтов, а следует принять в расчет характер всей толщи почвогрунтов до грунтовых вод и характер изменений гидрологического режима при орошении, являющихся общей причиной засоления почвы.

Одним из существенных факторов, определяющих интенсивность общего нарушения гидрологического режима территории при орошении, является ее рельеф. Он обуславливает характер поверхностного и отчасти внутреннего стока, возможность применения тех или иных способов и норм полива, а следовательно, глубину промачивания почвы, общие размеры поступления фильтрационных вод в грунтовые воды и интенсивность поднятия зеркала грунтовых вод. Поэтому при почвенно-мелиоративных исследованиях рельеф орошаемой территории подлежит весьма тщательной оценке.

Если мы имеем дело с уже засоленными почвами, то исследования должны осветить возможность и условия проведения промывок этих засоленных почв.

Здесь в первую очередь следует выяснить вопрос о возможности нежелательного развития так называемых солонцовых явлений, т. е. появления соды в почве, распыления и разрушения поглощающего комплекса почвы. Эти явления предопределяют собой характер и нормы промывок, а также необходимость дополнительных химических мелиораций в виде гипсования или известкования. В целом цикл вопросов, связанных с предупреждением образования солонцов при промывках засоленных почв, решается на основе детального выяснения соотношения катионов в почве и состава ее поглощенных оснований, а затем экспериментальным исследованием действия промывок в лаборатории.

Второй задачей является освещение вопроса о возможности промывок без дренажа или необходимости дренажа той или иной интенсивности. Очевидно, что эти вопросы могут быть освещены только на основе детальной характеристики фильтрационных свойств всей толщи грунта до грунтовых вод. Кроме того, необходимо исследовать характер и режим грунтовых вод: при наличии достаточного уклона грунтового потока и достаточной скорости его движения грунтовые воды могут явиться удовлетворительным приемником для фильтрационных вод и, наоборот, при недостаточном оттоке грунтовые воды будут повышаться и, следовательно, могут быть использованы в качестве водоприемника лишь в очень ограниченной мере.

В случае полного отсутствия оттока грунтовых вод каждая порция воды, просочившейся в зону их капиллярного поднятия, будет неизбежно вызывать их подъем.

Подъем этот будет примерно в 4—5 раз больше слоя просочившейся воды, т. е. если просочится слой в 10 см, то грунтовые воды поднимутся примерно на 40—50 см. Понятно, что при неглубоком залегании безотточные грунтовые воды за короткий срок настолько приближаются к поверхности, что происходит реставрация засоления, обусловленная повышением зоны капиллярного поднятия и полностью погашающая эффект промывок. Это явление наблюдается обычно, когда грунтовые воды находятся на глубине меньше 2,5—2,0 м от поверхности земли, т. е. в условиях, которые встречаются на засоленных землях во многих районах орошения. Предупреждение очень тяжелых для сельского хозяйства последствий дальнейшего подъема грунтовых вод необходимо предусмотреть при проектировании. Чтобы избежать просачивания промывных вод в грунтовые, следует исходить при расчете промывных норм из величины водоудерживающей способности или влагоемкости слоя почвогрунта от поверхности земли до грунтовых вод, определяемой на основании данных о физических свойствах почвогрунта, в частности о его пористости.

Общей предпосылкой для возможности использования грунтовых вод в качестве водоприемника является достаточно хорошая водопроницаемость всей этой толщи грунта, так как в противном случае будет происходить заболачивание орошаемой территории. Имея количественные характеристики водно-физических свойств почвогрунтов, при проектировании можно подойти к конкретному расчету таких элементов, как нормы поливов, нормы промывок, густота дрен и др.

Оценка засоления с точки зрения возможности развития солонцеватости почвы и увеличения потребной промывной нормы воды производится на основании данных о концентрации солей и соотношении катионов в почвенном растворе и о составе поглощенных оснований по принятым нормам солонцеватости.

Анализ условий работы горизонтального дренажа в начальный период и после промывок осуществляется на основе послойной характеристики коэффициента фильтрации почвогрунтов и его динамики при выщелачивании солей.

Выяснение возможности засоления земель в результате орошения (вторичного засоления) производится на основе анализа условий миграции солей и их накопления в корнеобитаемом слое почвы, которое может происходить:

а) без подъема грунтовых вод, б) при подъеме грунтовых вод, в) при образовании верховодки и г) в результате орошения соленой водой.

Угроза засоления без подъема грунтовых вод устанавливается анализом условий передвижения солей в корнеобитаемые слои почвы из солевого горизонта, вследствие его смачивания поливной водой при разных нормах полива, режиме орошения и состоянии поверхности поля.

Вопрос об угрозе засоления, возникающей в связи с подъемом грунтовых вод или образованием верховодки, решается на основании данных о величине коэффициента фильтрации отдельных слоев почво-грунта, о степени их засоленности и о критическом уровне или критической глубине залегания грунтовых вод.

Опасность засоления и развития солонцового процесса при орошении соленой водой устанавливается на основе сезонной динамики содержания солей в оросительной воде с учетом соотношения катионов натрия, магния и кальция и возможности применения увеличенных поливных (промывных) норм.

Кроме решения перечисленных выше вопросов, почвенные исследования должны дать основания для рационального проектирования планировки полей, которая является чрезвычайно важным для ирригационной практики мероприятием. В соответствии с этим должно быть выяснено отношение каждого почвенного контура к планировке с точки зрения влияния ее на солевой режим, солонцеватость, водные свойства и биологический режим. Решается эта задача на основе анализа данных о глубине залегания солевых и солонцовых горизонтов, анализа результатов послойного исследования механического и агрегатного состава и физических свойств почвы, а также анализа ее агрономических свойств.

Наконец, почвенные исследования должны дать показатели для установления необходимых агротехнических мероприятий, в частности для определения потребности почв в химизации, потребности в изменении физических свойств (механического состава, структуры), влияния на все эти свойства ирригационных наносов. В этих целях, во-первых, должны быть изучены физико-химические и биологические свойства почв в их динамике при орошении и, с другой стороны, должны быть изучены физико-химические свойства наносов; в частности, должно быть выяс-

нено соотношение действующих диаметров почвенных частиц и частиц наносов.

В результате всех вышеназванных проработок почвенные материалы в конечном счете должны быть сведены в карту почвенно-мелиоративных районов, которая составляется по следующей схеме.

Первая группа — почвы незасоленные и несолонцовые, которым не угрожает развитие засоления и солонцеватости.

Вторая группа — почвы незасоленные и несолонцовые, которым угрожает, однако, засоление или осолонцевание в связи с их орошением. Эта группа подразделяется на почвы, засоление или осолонцевание которых может произойти: а) без подъема грунтовых вод, б) в результате ожидаемого подъема грунтовых вод, в) в связи с ожидаемым образованием верховодки и г) вследствие орошения соленой водой.

В каждом из этих подразделений желательно, кроме того, выделить отдельные территории, отличающиеся количественными показателями, например, для почв подразделения «а» — по допустимой глубине промачивания при поливе в зависимости от глубины залегания солевого горизонта; для почв подразделения «б» — по числу лет, в течение которых грунтовые воды могут повыситься до критического засоляющего уровня, и т. д.

Третья группа — почвы засоленные и солонцовые. В этой группе в зависимости от степени засоления могут быть выделены: а) почвы слабо засоленные, пригодные для земледелия при подборе соответствующего режима орошения и состава культур; б) засоленные почвы и солончаки, которые нельзя освоить без предварительной промывки. В подразделении «б» выделяются, кроме того, отдельные территории с различной степенью засоления, обуславливающей различные условия проведения промывок и улучшения мелиоративного состояния с помощью агротехнических мероприятий.

Солонцовые почвы третьей группы делятся на две основные категории: а) слабосолонцеватые почвы, сельскохозяйственное использование которых возможно без их химизации и промывок; б) солонцеватые почвы и солонцы, требующие для сельскохозяйственного использования химизации и промывок, подразделяемые в зависимости от степени осолонцевания.

Проектированию осушительных систем, так же как проектированию оросительных мелиораций, должны предшествовать почвенно-мелиоративные исследования территорий, на основании которых решаются следующие задачи: 1) устанавливаются схемы мелиораций, требующиеся для типов почв, находящихся на данной территории; 2) осуществляется выбор для мелиорации наиболее подходящей по почвенным условиям площади; 3) устанавливаются почвенные расчетные показатели, необходимые для технического проектирования и эксплуатации системы; 4) дается сельскохозяйственная характеристика почв и, если нужно, растительных ассоциаций.

Основные схемы мелиораций определяются прежде всего условиями водного питания заболоченных почв: атмосферного, грунтового безнапорного, напорного, делювиального, аллювиального. Соответственно этому первой задачей почвенных исследований является возможно более полное установление причин заболачивания почвы для каждого почвенного контура данной территории на основе анализа геоморфологических, гидрогеологических и топографических условий. Торфяные почвы исследуются всегда по всей толще торфяной залежи до минерального дна, минеральные заболоченные почвы — по крайней мере до глубины 3—5 м.

Почвенными показателями для установления расчетных элементов осушения являются степень заболачивания (оглеения и оторфования) и водные свойства почвенной толщи. Возможно подробнее должны быть охарактеризованы степень оглеения почв по горизонтам и степень их оторфования. Одновременно необходимо определить все формы кислотности (обменную, гидролитическую, актуальную), что даст основу для расчета химических мелиораций (известкования, гипсования).

Фильтрационные свойства почв являются основным расчетным элементом при проектировании дренажных устройств. Они могут быть приближенно охарактеризованы на основании данных механического и агрегатного анализов минеральных почв, а также определения степени разложения и ботанического состава торфяных почв. Лучше, однако, характеризовать фильтрационные свойства почв более прямыми определениями в полевых условиях — методом откачек и наблюдений за грунтовыми водами или в лаборатории — на монолитах.

Скорости впитывания воды в почву являются основой для расчета величин поверхностного стока и потому должны быть определены при различных значениях исходной влажности почвы.

Для выяснения проектного (ожидаемого после осушения) режима влажности почвы необходимо исследовать ее предельную (полевую) влагоемкость, величину и характер водоотдачи. Так как обычно проектируется понижение грунтовых вод до глубины 80—120 см, предельную влагоемкость и водоотдачу почвы следует определять для слоя такой мощности при грунтовых водах, находящихся на соответствующей глубине.

Параллельно следует проводить определения скорости капиллярного поднятия, которые будут характеризовать условия подпитывания грунтовыми водами корнеобитаемой зоны и возможность регулирования влажности почвы методом шлюзования осушительной сети. Возможная водоотдача должна быть определена не только суммарно (как разность между пористостью почвы и ее предельной влагоемкостью), но и в виде кривой, показывающей изменения водоотдачи во времени. Весьма важно установить для основных почвенных разностей суточные и сезонные потери на испарение с поверхности почвы при разных состояниях поверхности поля и влажности почвы, соответствующих, по возможности, условиям проектного севооборота. Эти определения следует сделать в поле, на выделенных для них площадках.

Для характеристики агрономических свойств почв следует провести обычные определения количества питательных элементов и установить тип и степень разложения торфа.

Исследования последних лет показали, что в некоторых торфяных и, по-видимому, в других кислых почвах для нормального развития культурных растений не хватает микроэлементов (марганца, бора и других, особенно часто меди); поэтому рекомендуется установить, имеются ли в заболоченных почвах необходимые микроэлементы.

В качестве графического материала, полученного в результате почвенных исследований, должны быть составлены: карта генетических типов почв и почвенных разностей, карта почвенно-мелиоративных районов и отдельные почвенно-гидрогеологические профили.

Кроме мелиорации заболоченных почв описанных выше типов, осушительные мелиорации осуществляются в ряде случаев на засоленных болотах, содержащих вредные воднорастворимые соли, а также в поймах степных рек, заболоченные участки которых часто засоляются. Во всех этих случаях надо детально исследовать характер засоления, чтобы получить необходимые показатели для рационального регулирования солевого режима почвы. .

МЕТОДИКА ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенной основой каждой стадии проектирования является карта генетических типов почв и почвенных фазностей, составленная на основании полевых и лабораторных исследований и обработки полученных материалов.

Масштаб карты для технического проекта принимается 1 : 25 000 или 1 : 10 000.

Для получения в результате съемки почвенной карты достаточной точности необходимо располагать соответствующей топографической основой. Желательно, чтобы рабочие планшеты с показанным на них рельефом (в виде горизонталей или штриховки) имели более крупный масштаб, чем тот, в котором должна быть составлена карта. Для составления почвенной карты в масштабе 1 : 25 000 планшеты должны иметь масштаб 1 : 10 000. В крайнем случае допустима основа того же масштаба, но ни в коем случае не меньшего.

Основной работой в поле является закладка почвенных разрезов (шурфов), их описание и отбор образцов для лабораторных анализов.

Закладку почвенных разрезов производят, исходя из следующих основных принципов: 1) их располагают в каждой геоморфологической зоне района; 2) в пределах каждой зоны разрезами характеризуют смену материнских пород; 3) в пределах распространения каждой материнской породы разрезы располагают по элементам рельефа и микрорельефа.

При проведении почвенно-мелиоративного обследования методом разрезов (шурфов) в некоторых случаях производят также закладку разведочных буровых скважин.

Различают следующие виды разрезов: г л у б о к и е разрезы или шурфы—разрезы, вскрывающие почвогрунт на глубину 2—4 м (иногда более), п о л у я м ы — раз-

резы на глубину 75—150 см и прикопки — разрезы глубиной до 75 м.

Глубокие разрезы закладываются для изучения всего почвенного профиля и материнской породы на каждом геоморфологическом элементе (водораздел; верхняя, средняя, нижняя часть склона, терраса и т. д.). При этом, если в пределах конкретного геоморфологического элемента материнская порода неоднородна, глубокие разрезы должны вскрыть её разновидности.

При грунтовых водах, находящихся не ниже 3—4 м, разрезы делают до грунтовых вод. При более глубоком залегании грунтовых вод со дна разреза, глубину которого по техническим причинам обычно ограничивают 3—4 м, или рядом с разрезом закладывают разведочную буровую скважину, заглубляя ее до грунтовых вод или до водонепроницаемого слоя грунта.

Полуямы (контрольные разрезы) делают для изучения степени варьирования наиболее существенных признаков почв, выявленных при описании глубоких разрезов. Закладывают их по преимуществу на участках с почвами, уже охарактеризованными глубокими (основными) разрезами. Если при описании профиля полуямы обнаруживаются новые признаки (имеющие существенное значение для производства), которые не были отмечены при описании основных разрезов, то полуяму углубляют и описывают, как основной разрез.

Прикопки делают для определения границ распространения отдельных почвенных разностей. Обычное соотношение разрезов основных, контрольных (полуям) и прикопок принимают 1 : 3 : 5.

Часто даже в пределах геоморфологического элемента (плато, склон, надпойменная терраса и пр.) наблюдается различный характер рельефа и растительности (нередко не только дикорастущей, но и культурной), что всегда свидетельствует о неоднородности почвенного покрова. В таких случаях тщательно выявляют все элементы мезо- и микро-рельефа, и закладывают почвенные разрезы для выявления почвенных разностей, соответствующих различным элементам мезо- и микро-рельефа и растительным ассоциациям (если приходится иметь дело с естественной растительностью).

При выполнении почвенных исследований на крупных массивах в целях первоначального ознакомления с поч-

венным покровом разрезы располагают по профилям поперек горизонталей. Профили должны пересечь все геоморфологические элементы, причем разрезы следует располагать на всех этих элементах. Расстояние между профилями определяется масштабом почвенной съемки, а также разнообразием мезорельефа и подстилающих почвы пород.

Иногда обследуемая территория, кажущаяся совершенно однообразной равниной, имеет едва заметные бессточные понижения (блюдца, микрозападины) и слабо возвышающиеся над ними плоские или слабовыпуклые площадки (гивы, увалы), причем микрорельеф территории обуславливает комплексность почвенного покрова. В таких условиях почвенные разрезы делают для характеристики всех этих элементов микрорельефа.

Особое внимание должно быть уделено изучению предшествующего влияния хозяйственной деятельности человека на почву, а также изучению эрозионных процессов и степени их проявления.

Необходимо путем сравнения профилей нормальных, смытых и намытых почв определить степень выраженности эрозионных процессов (водных, ветровых) в различных условиях рельефа. Следует также выявить причины возникновения этих процессов, наметить мероприятия по борьбе с эрозией в данной конкретной обстановке и дать прогноз эрозии при орошении.

При наличии эродированных почв необходимо заложить такое количество почвенных разрезов и прикопок, чтобы можно было точно нанести на топографическую основу границы почв, в различной степени затронутых эрозионными процессами.

При описании генетических горизонтов почвы указывают *наименование горизонта, его мощность, цвет, структуру, влажность, сложение, связность, характер перехода между горизонтами, новообразования, включения, глубину вскипания от соляной кислоты, признаки заболоченности, засоленности и солонцеватости, механический состав и другие характерные признаки.*

В полевом журнале для каждого основного разреза и полуямы указывают:

- 1) номер почвенного разреза и дату описания его;
- 2) наименование колхоза (совхоза или другой организации, на землепользовании которой расположен разрез), район, область;

3) географическое положение разреза (в частности, направление и расстояние для привязки разреза к какому-либо пункту, обозначенному на плане или карте);

4) геоморфологический элемент территории, макро-, мезо- и микрорельеф, уклоны;

5) положение почвенного разреза относительно макро-, мезо- и микрорельефа и абсолютную высоту;

6) растительный покров (состав, густоту, высоту и состояние);

7) угодье и его культурное состояние;

8) глубину залегания грунтовой воды.

Образцы почвы для химических анализов и некоторых лабораторных определений водно-физических свойств берут из разрезов, характеризующих основные почвенные разности, по одному образцу из каждого генетического горизонта. Образец берется в середине горизонта размером примерно $10 \times 10 \times 7$ см.

При необходимости со дна разреза проводят бурение и образцы берут из бура. В основных разрезах или рядом с ними пробуривают скважины до грунтовых вод и берут пробы грунтовой воды для анализа.

Образцы почвогрунта с ненарушенным сложением для физических анализов следует брать таким образом, чтобы при лабораторной обработке их можно было установить с необходимой точностью, на какой глубине и в каком количестве находятся наиболее важные составные части почвы (гумус, поглощенные основания, CO_2 , воднорастворимые соли и пр.).

При взятии образцов необходимо считаться с границами почвенных горизонтов. Совершенно недопустимо брать образец, захватывая нижнюю часть одного генетического горизонта и верхнюю — другого.

Места для выемки образцов следует намечать так, чтобы они располагались один над другим между двумя параллельными вертикальными линиями, которые проводят ножом на стенке разреза от поверхности почвы до дна шурфа (ямы).

При взятии образцов почвы или грунта с ненарушенным сложением из стенки шурфа на нужной глубине вырезают кубический или призматический монолит. Для этого применяют шанцевую лопату и длинный плоский нестигающийся нож. Размер образца определяется характером исследований, которые будут проводиться на образце или

с использованием части его. Обычно бывают достаточными размеры от $15 \times 15 \times 10$ см до $20 \times 20 \times 20$ см.

Взятый образец зачищают ножом и плотно бинтуют марлей в 2—3 слоя. Перед этим на верх его укладывается бумажная заполненная этикетка, согнутая пополам текстом внутрь. Забинтованный образец погружают 2—3 раза в разогретый до жидкого состояния парафин. После каждого погружения парафин на образце должен застыть. Пузырьки воздуха, могущие возникнуть на парафине, удаляются прикладыванием к ним слегка разогретого кончика ножа. Погружение образца в парафин можно осуществлять поочередно различными плоскостями. На верх запарафинированного образца укладывают вторую этикетку, которую обливают жидким парафином. После этого запарафинированный образец обвертывают бумагой, на которой указывают верх образца и номер его (при необходимости, повторяют содержание этикетки) и обвязывают шпагатом.

Запарафинированные образцы транспортируют в ящиках, тщательно переложив их при упаковке сеном, соломой.

Примерный размер площади, характеризующей одним основным разрезом, зависит от масштаба съемки, а также от сложности обследуемого участка в почвенном отношении, как это показано в таблице 54.

Т а б л и ц а 54

Масштаб съемки	Площадь, характеризующая одним основным разрезом (в га)	
	для несложных в почвенном отношении участков	для сложных в почвенном отношении участков
1 : 50 000	150	70
1 : 25 000	80	40
1 : 10 000	30	15
1 : 5 000	15	6
1 : 1 000	2	1

В результате почвенного обследования составляют почвенную карту. На ней показывают все почвенные разрезы, для которых в тексте дается морфологическое описание и характеристика водно-физических и химических свойств, а также все точки, в которых проводились исследования водно-физических свойств почвы.

Площади всех почвенных разностей, выделенные на карте контурами, определяют планиметрированием и результаты этих измерений помещают в экспликации. Границы почвенных разностей, показанные на карте, носят условный характер, ибо в природе таких границ нет и почвы переходят одна в другую постепенно, переходными зонами той или иной ширины. Возможная точность нанесения этих условных границ определяется точностью топографической основы и тем, наносятся ли они на почвенную карту с планшетов более крупного или того же самого масштаба.

При условии точного изображения рельефа в горизонталях предел точности карты (возможное линейное смещение границ) в карте масштаба 1 : 25 000 не должен превышать 50—70 м, а предел точности нанесения контуров почвенных разностей — 50—100 м.

При масштабе 1 : 10 000 предел точности почвенной карты не должен превышать 20 м, а предел точности нанесения отдельных почвенных контуров должен быть не более 20—40 м.

Для всех выделенных на карте почвенных типов и разностей определяют количественные характеристики, на основании которых в дальнейшем проектируют мелиоративные и агротехнические приемы регулирования водно-воздушного режима почв.

Для почв засоленных и солонцеватых, а также для почв, которым угрожает засоление или осолонцевание, получают дополнительно количественные характеристики, используемые при разработке приемов регулирования солончаковых и солонцовых процессов в необходимом направлении.

Определение категорий почв по степени засоления и солонцеватости. На основе полевых изысканий и лабораторных анализов при нанесении контуров почвенных разностей на почвенную карту производится подразделение почв на следующие категории в зависимости от степени засоления или солонцеватости.

1. Почвы незасоленные с благоприятным прогнозом в отношении угрозы развития процессов засоления и осолонцевания.

2. Почвы незасоленные в корнеобитаемом слое, но с неблагоприятным прогнозом в отношении возможного засоления:

а) почвы с возможным засолением без подъема грунтовых вод;

б) почвы с возможным засолением вследствие подъема грунтовых вод.

3. Почвы, засоленные в корнеобитаемом слое:

а) почвы слабо засоленные, сельскохозяйственное освоение которых возможно без промывок;

б) почвы средне засоленные, допускающие сельскохозяйственное использование при условии применения промывок;

в) почвы сильно засоленные, сельскохозяйственное использование которых возможно после опреснения промывками:

г) солончаки, допускающие сельскохозяйственное использование после опреснения промывками и улучшения мелиоративного состояния агротехническими приемами;

д) солончаки, сельскохозяйственное освоение которых нерационально.

Степень засоления почв можно определять, располагая данными о содержании в водных вытяжках плотного остатка и анионов хлоридов (Cl^-) и сульфатов (SO_4^{2-}) и учитывая также состояние растительности (табл. 55).

Таблица 55

Характеристика засоленности почв

Степень засо- ления почвы	Состояние куль- турной расти- тельности	Плотный остаток	Хлор-ион Cl	Анион сер- ной кислоты SO ₁
		в процентах от веса почвы		
Незасоленная	Нормальное	< 0,3	< 0,02	< 0,1
Слабо засолен- ная	Слегка угне- тенное	0,3—0,5	0,02—0,04	0,1—0,3
		0,5—1,0	< 0,02	0,3—0,4
Средне засолен- ная	Угнетенное	0,5—1,0	0,04—0,1	0,3—0,4
		1,0—2,0	< 0,04	0,4—0,6
Сильно засолен- ная	Сильно угне- тенное	1,0—2,0	0,1—0,2	0,4—0,6
		2,0—3,0	< 0,1	0,6—0,8
Солончак	Гибель	> 2,0	> 0,1	> 0,8

4. Солонцеватые почвы и солонцы:

а) слабосолонцеватые почвы с количеством поглощенного натрия не более 10% от емкости поглощения, которые

пригодны для сельскохозяйственного использования без химизации и промывки которых при химизации не обязательны;

б) сильносолонцеватые почвы с количеством поглощенного натрия 10—30% от емкости поглощения, пригодные для сельскохозяйственного использования, но одновременно требующие химизации с обязательной промывкой продуктов обмена;

в) солонцы с количеством поглощенного натрия более 30% от емкости поглощения, требующие химизации и промывок до начала сельскохозяйственного освоения.

Названные здесь количественные показатели солонцеватости могут быть изменены на основе достоверных данных местных исследований, причем в ряде случаев, кроме соотношения натрия и кальция, должно быть принято во внимание соотношение натрия плюс магний и кальция.

Почвенный институт АН СССР (И. Н. Антипов-Кара-таев) принимает следующее подразделение почв по степени солонцеватости:

1) почвы, в иллювиальном горизонте которых содержится 5% и менее обменного натрия от емкости обмена, относятся к несолонцеватым почвам;

2) почвы с содержанием в уплотненном слое 5—10% обменного натрия от емкости обмена относятся к слабо-солонцеватым почвам;

3) почвы, содержащие в уплотненном слое 10—15% обменного натрия от емкости обмена (гумусированные — 10—20%), считаются среднесолонцеватыми;

4) при содержании обменного натрия 15—20% (в гумусированных почвах 20—25%) от емкости обмена почвы относятся к сильносолонцеватым;

5) почвы с содержанием обменного натрия 20% и более (гумусированные — 25% и более) от емкости обмена называются солонцами.

МЕЛИОРАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

При составлении мелиоративной характеристики почв и материнских пород обследуемой территории учитываются:

р е л ь е ф, определяющий условия стока и применимость различных способов полива;

грунтовые воды, их происхождение и источники питания, глубина залегания и годичная амплитуда колебания уровней, направление и скорость движения, характеристика солевого состава;

водно-физические свойства почв и почвообразующих пород, для оценки которых используют данные, характеризующие механический, микроагрегатный, структурный состав и водопрочность структурных отдельных частей, скважность или пористость, максимальную гигроскопичность, максимальную молекулярную влагоемкость, предельную (полевою) влагоемкость, скорость впитывания воды и контуры промачивания при разных способах и нормах полива, коэффициент фильтрации отдельных горизонтов, высоту капиллярного поднятия воды и солевых растворов, скорость передвижения воды и растворов при поливах, потери влаги на испарение из почвы в условиях изменения ее влажности за межполивной период от состояния предельной (полевой) влагоемкости до установления критического запаса воды, водоотдачу (для осушительных мероприятий);

химическая характеристика почв и почвообразующих пород, для получения которой принимаются во внимание количество и состав растворимых в воде солей, количество карбонатов и гипса, источники засоления и стадия его развития, емкость поглощения и состав поглощенных оснований (в частности, поглощенный натрий для солонцов и солонцеватых почв), содержание гумуса, pH, а также используются экспериментальные данные о возможности развития солонцового процесса при промывках засоленных почв.

При почвенно-мелиоративном обследовании земель, отводимых под орошение поверхностными способами, в условиях залегания грунтовых вод на глубине 2—5 м, приходится детально изучать всю толщу почвогрунтов до грунтовой воды. При этом изучают также химические показатели грунтовых вод, выявляют направление и скорость движения грунтового потока обследуемой территории.

Грунтовые воды при глубине залегания меньше 5 м могут оказывать существенное влияние на водные и химические свойства почвы, и недоучет этого влияния иногда приводит к засолению и заболачиванию орошаемых земель. Для пояснения можно привести следующие характерные примеры. Грунтовые воды залегают на глубине 5 м, но

они минерализованы и не имеют оттока даже при повышении их уровня. Почва засолена и обладает тяжелым механическим составом и неблагоприятной дифференциальной пористостью. Промывка такой почвы для рассоления будет сопровождаться неизбежным подъемом грунтовых вод и может случиться, что вместо рассоления произойдет еще большее засоление корнеобитаемого слоя. Напротив, промывая почву при залегании грунтовых вод на глубине всего только 2—3 м, но в условиях хорошего оттока их с промываемой территории, обычно всегда получают положительные результаты. Однако здесь необходимо учитывать направление оттока грунтовых вод, чтобы результатом промывки участка не являлось засоление или заболачивание соседних земель, лежащих в направлении движения грунтового потока.

При глубине залегания грунтовых вод более 5 м толщу почвогрунта, охватываемую подробным изучением водно-физических и химических свойств, нередко можно ограничивать 1—3 м. Но, уделяя основное внимание верхнему корнеобитаемому слою, необходимо все же получать представление о водно-физических и химических свойствах почвогрунтов на всю глубину до грунтовых вод или, в крайнем случае, до надежного водоупора, пользуясь для этого единичными глубокими шурфами и буровыми скважинами. В противном случае в дальнейшем можно встретиться с неожиданными и весьма неблагоприятными последствиями, особенно в зонах влияния крупных оросительных каналов. В качестве примера, показывающего, в какой степени мощность основного изучаемого слоя почвогрунтов определяется целью исследований, можно привести сопоставление условий проектирования двух оросительных систем, из которых одна предназначена для проведения только вегетационных поливов, а вторая — для влагозарядочного орошения. В первом случае глубина определения почвенных показателей, используемых для установления поливного режима, может не превышать одного метра, во втором случае эти показатели необходимо иметь и для второго метра почвенной толщи.

На основании проведенных почвенных исследований составляется карта генетических типов почв и почвенных разностей. Для характеристики каждого типа почв могут и должны быть использованы не только показатели, полученные в результате проведенных исследований, но и те,

которые уже были известны. Обобщение получаемых при исследовании частных показателей для мелиоративной и агрономической оценки земель проводится по контурам генетических типов почв и почвенных разностей. Картографические материалы удобнее представлять при этом в виде трех самостоятельных карт:

1) карты верхнего слоя почвенной толщи мощностью 1—2 м, который обычно является расчетным в мелиоративной практике и представляет собой корнеобитаемую зону;

2) карты более глубоких горизонтов почвы, обычно называемых в агропочвоведении материнскими, или почвообразующими, породами;

3) карты залегания и минерализации грунтовых вод.

Глава XIV

МЕТОДЫ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ИНДИКАТОРОВ В ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В настоящее время во все области науки широко внедряются методы радиоактивных излучений и индикаторов. Эти методы рациональны в тех случаях, когда они:

а) заменяя существующие методы, резко снижают трудоемкость работ и затраты времени или повышают точность измерений;

б) позволяют изучать проявление и сущность процессов, освещение которых обычные методы не обеспечивают.

Одной из разновидностей метода радиоактивных излучений является просвечивание вещества гамма-лучами, так называемая гаммаскопия. Гаммаскопия весьма перспективна в почвенно-мелиоративных исследованиях для наблюдений за динамикой запасов почвенной влаги, определения водяного эквивалента снежного покрова, измерения плотности (объемного веса) почвы, количества органического вещества в болотах, мутности водных потоков, консистенции пульпы и т. д.

Сущность метода радиоактивных индикаторов — метка изучаемых простых веществ и соединений небольшими, практически невесомыми количествами радиоактивных изотопов. В почвенно-мелиоративных исследованиях применение радиоактивных индикаторов обеспечивает непосредственные наблюдения за количественным распределением в изучаемой системе находящихся в ней или введенных в нее извне веществ (помеченных радиоактивными изотопами) и их поведением во времени при различных процессах. Так, например, с помощью радиоактивных индикаторов можно изучать процесс передвижения отдельных компонентов солевых растворов в засоленных почвах при поливах и промывках, характер распределения в почве оросительной влаги, измерять скорость движения грунто-

вых вод, наблюдать траектории движения наносов в руслах рек и каналов, выявлять критический уровень грунтовых вод и т. п.

Техника работы с радиоактивными излучениями и индикаторами не сложна, но для получения точных данных радиометрических измерений и правильного толкования результатов исследований необходимо четко представлять физические и химические свойства применяющихся радиоизотопов, взаимодействие излучений с веществами и принципы измерения радиоактивности.

Предлагаемая глава не может служить руководством по применению радиоактивных изотопов в почвенно-мелиоративных исследованиях. Ее цель — ознакомить студентов с новыми методами, успешно применяющимися во всех областях науки, с методами радиоактивных излучений и индикаторов и тем самым содействовать быстрейшему внедрению их в практику почвенно-мелиоративных исследований.

РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД И СВОЙСТВА РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В процессе радиоактивного распада радиоактивные ядра превращаются в стабильные через несколько последовательных ядерных реакций или же одноступенчато. При этом ядрами атомов выделяются кванты энергии или выбрасываются частицы. Выделяемая энергия и выбрасываемые частицы представляют собой альфа-бета-гамма-лучи, рентгеновское излучение и нейтроны.

Скорость радиоактивного распада для каждого радиоактивного изотопа является вполне определенной величиной и характеризуется экспоненциальной кривой (рис. 40). Поэтому закон радиоактивного распада выражается формулой:

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t},$$

где I_t — число радиоактивных атомов или интенсивность радиоактивного излучения в момент времени t ;

I_0 — начальное количество радиоактивных атомов или исходная интенсивность излучения;

λ — константа распада данного радиоактивного изотопа, указывающая относительное количество распадающихся атомных ядер или относительное уменьшение интенсивности излучения в единицу времени;

e — основание натуральных логарифмов.

Экспоненциальность кривой радиоактивного распада не позволяет определенно судить о сроке существования какого-либо радиоизотопа, теоретически соответствующего бесконечность. Поэтому было введено понятие — период полураспада — T , то есть время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных ядер. Период полураспада является важнейшей характеристикой радиоизотопов, определяющей, в частности, возможность применения того или иного радиоизотопа в каждом конкретном эксперименте. Его выявляют по времени, необходимому для уменьше-

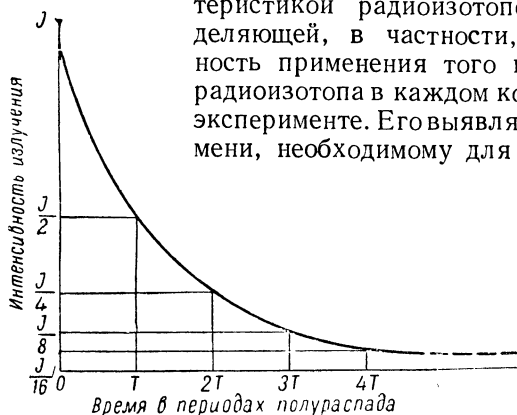


Рис. 40. Кривая радиоактивного распада.

ния интенсивности излучения данного радиоизотопа вдвое. Период полураспада со значением константы распада связан уравнением:

$$\lambda = \frac{0,693}{T},$$

следовательно:

$$I_t = I_0 e^{\frac{-0,693t}{T}} \quad \text{или} \quad I_0 = I_t e^{\frac{0,693t}{T}}.$$

Эти уравнения широко применяются при обработке результатов исследований, осуществляемых с использованием радиоизотопов, излучение которых за период исследования уменьшается заметно. Они позволяют приводить интенсивность излучения данного радиоизотопа на каждый момент времени к начальному моменту, без чего невозможно в таких случаях сопоставление результатов наблюдений.

Суммарный эффект интенсивности излучения того или иного количества данного радиоизотопа за все время суще-

ствования (I_E) можно рассчитать по формуле:

$$I_E = I_0 \cdot 1,433 \cdot T.$$

При практическом использовании радиоактивных изотопов в качестве индикаторов и источников радиоактивных излучений применяют обычно бета-гамма-излучатели и источники нейтронов.

Б е т а - л у ч и используемых в практике радиоизотопов, обычно являются потоком электронов, реже это излучение может быть представлено потоком позитронов — положительных аналогов электронов. Проходя через вещество, бета-лучи электростатически взаимодействуют с встречающимися атомами, молекулами и ионизируют их, на что расходуют свою энергию. При этом в результате столкновений они легко отклоняются от первоначальных направлений и, таким образом, сильно рассеиваются.

Бета-лучи, выбрасываемые из одного и того же радиоизотопа, обладают различными запасами кинетической энергии¹. Максимальная энергия является важной характеристикой данного радиоизотопа. Ее можно выражать в Мэв² или длиной максимального пробега частиц в алюминии, воде, воздухе и других веществах. Так как бета-частицы замедляются главным образом при взаимодействии с электронами просвечиваемого (облучаемого) вещества, а число электронов на единицу объема веществ почти пропорционально их массе, то, характеризуя просвечиваемое вещество отношением единиц веса к площади, природу его можно не учитывать. Таким образом, длину максимального пробега бета-частиц данных радиоизотопов, весьма важный показатель, определяющий технику работы с ними, можно характеризовать значением мг/см², от которого не трудно, зная плотность, перейти на толщину и наоборот.

В результате того, что вылетающие бета-частицы обладают различными запасами кинетической энергии, поглощение бета-излучения в просвечиваемом веществе происходит по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\mu l}, \quad \text{или} \quad \frac{I}{I_0} = e^{-\mu l},$$

¹ Это обусловлено тем, что вместе с бета-частицей из атомного ядра выбрасывается еще одна частица — нейтрино, которая в зависимости от угла вылета уносит то или иное количество энергии.

² Мэв — мегаэлектронвольт — производная от электронвольта единица измерения энергии альфа-, бета-частиц, гамма-лучей и нейтронов.

где I — интенсивность бета-излучения, прошедшего слой вещества толщиной l см;

μ — линейный коэффициент поглощения, характеризующий относительное уменьшение интенсивности данного бета-излучения при прохождении единицы длины пути в данном веществе.

Если толщину просвечиваемого слоя характеризовать через отношение единиц веса к площади (d), например г/см², то вместо линейного коэффициента поглощения берут массовый коэффициент поглощения $\frac{\mu}{\rho}$, где ρ — плотность вещества, и уравнение поглощения бета-излучения веществом принимает вид:

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} d}.$$

Бета-частицы высоких энергий, взаимодействуя с атомными ядрами тяжелых элементов, в некоторых случаях тормозятся в поле ядер и выделяют потерянную энергию в форме квантов мягких гамма-лучей. Этот эффект «тормозного излучения» иногда используют для получения мягких гамма-лучей. С ним приходится также считаться при организации биологической защиты от воздействия бета-излучений. В мелиоративных исследованиях бета-излучатели обычно применяются в качестве индикаторов.

Гамма-лучи представляют собой разновидность электромагнитного излучения, характеризуясь весьма малой длиной волны. Вылетая из атомов со скоростью света, они обладают большой энергией и чрезвычайно высокой проникающей способностью, что и определяет их основное использование — просвечивание веществ для выявления их плотности, толщины, внутреннего строения и т. д.

Гамма-кванты, в противоположность бета-частицам, электрически нейтральны. Поэтому с атомами и молекулами просвечиваемых веществ они взаимодействуют только посредством лобового столкновения, не обуславливая непосредственной ионизации. Но при этом возникают вторичные (выбитые) электроны, которые могут производить ионизацию.

Лишь немногие радиоактивные изотопы испускают гамма-кванты одинаковой энергии (монохроматическое излучение), например Cs^{137} дает гамма-кванты с энергией 0,66 Мэв. Как правило же, гамма-излучатели выбрасывают серию квантов различных, но вполне определенных энергий (Co^{60} —1,17 и 1,33 Мэв и др.). В таких случаях излу-

чение можно считать монохроматическим с некоторой средней энергией, например для Co^{60} , составляющей 1,25 Мэв.

Взаимодействие гамма-излучения с просвечиваемым веществом сопровождается в основном следующими тремя явлениями:

а) фотоэлектрический эффект — выбивание гамма-квантами электронов из атомов просвечиваемого вещества с полной передачей своей энергии (гамма-квант после этого перестает существовать). Проявляется преимущественно при поглощении гамма-квантов малых энергий тяжелыми веществами;

б) комптоновский эффект — упругое взаимодействие гамма-квантов с электронами атомов. Гамма-кванты отдают им часть своей энергии и отлетают в сторону, а выбитые электроны покидают сферы атомов и могут осуществлять на своем пути ионизацию. Встречается чаще всего при поглощении гамма-квантов средних энергий легкими поглотителями (по периодической системе элементов примерно до алюминия);

в) образование пар — выбивание из атомных ядер пары бета-частиц: электрона и позитрона. Происходит в условиях, когда гамма-кванты имеют энергию более 1 Мэв и поглощаются веществом из тяжелых элементов, ядра которых служат катализаторами.

Гамма-лучи в просвечиваемом веществе частично отклоняются от первоначального направления — рассеиваются. Рассеивание возрастает с увеличением площади, толщины просвечиваемого вещества и зависит от энергии излучения. Если просвечивание осуществляется так, что рассеянные гамма-кванты в регистратор интенсивности излучения не попадают, то регистрируемый пучок лучей является узким пучком. Для получения узкого пучка гамма-излучатель обычно помещают в свинцовый контейнер-коллиматор с узким отверстием и иногда выходящий пучок еще дополнительно диафрагмируют (рис. 41). Если в процессе просвечивания рассеянные гамма-кванты в регистратор попадают, то просвечивание осуществляется так называемым широким пучком.

Закон ослабления узкого пучка гамма-лучей веществом выражается такой же зависимостью, которая приведена выше для бета-излучения, т. е.:

$$I = I_0 e^{-\mu l}, \quad \text{или} \quad I = I_0 e^{-\frac{1}{\alpha} d}$$

Но коэффициент линейного поглощения немонохроматического гамма-излучения зависит не только от рода просвечиваемого вещества и энергии излучения, как это справедливо для бета- и монохроматического гамма-излучения, но еще и от толщины просвечиваемого вещества. Это объясняется тем, что по мере изменения толщины просвечиваемого вещества гамма-лучи различных энергий поглощаются по-разному.

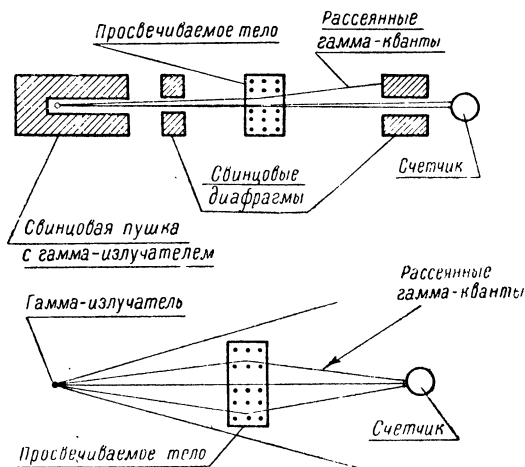


Рис. 41. Схема просвечивания коллимированным (узким) и неколлимированным (широким) пучком.

Интенсивность ослабления широкого пучка гамма-излучения просвечиваемым веществом характеризуется уравнением:

$$I = I_0 e^{-\mu l} + I_{\text{рас}},$$

где I_0 — интенсивность излучения в данной точке при отсутствии между излучателем и регистратором просвечиваемого вещества;

μ — линейный коэффициент поглощения узкого пучка излучения;

l — толщина просвечиваемого вещества;

$I_{\text{рас}}$ — интенсивность рассеянного излучения в данной точке.

Первый член уравнения выражает ослабление интенсивности узкого пучка излучения, второй член — $I_{\text{рас}}$ — характеризует интенсивность рассеянного излучения в данной точке.

Таким образом, ослабление широкого пучка гамма-излучения при всех прочих равных условиях оказывается меньше, чем ослабление узкого пучка.

Нейтронное излучение. Это излучение, возникающее при некоторых ядерных реакциях, является потоком нейтронов. Испускаемые большинством источников нейтронного излучения нейтроны обладают энергией около 1 Мэв. Такие нейтроны называют быстрыми, так как они движутся с относительно большими скоростями. Быстрые нейтроны, сталкиваясь с атомными ядрами просвечиваемого или облучаемого вещества, могут терять свою скорость, превращаясь в нейтроны медленные, характеризующиеся небольшими энергиями порядка нескольких электронвольт и меньше. Процесс превращения быстрых нейтронов в медленные протекает наиболее эффективно в случаях столкновения их с ядрами самых легких элементов (табл. 56). Из таблицы следует, что наиболее эффективным замедлителем быстрых нейтронов служит водород. Это и определяет основное применение быстрых нейтронов в мелиоративных исследованиях почв — измерение влажности почвы, так как в почвах водород в переменном количестве содержится главным образом в жидкой фазе.

Таблица 56

Число столкновений, необходимое для превращения быстрых нейтронов в медленные в зависимости от массового числа атомного ядра (по Р. Лэппу)

Элемент	Массовое число атомного ядра	Число столкновений, необходимое для превращения быстрых нейтронов в медленные
Водород	1	18
Дейтерий	2	25
Гелий	4	40
Бериллий	9	50
Углерод	12	111

Вследствие того, что нейтроны электрическим зарядом не обладают, они взаимодействуют с ядрами просве-

чиваемых (облучаемых) веществ лишь в тех случаях, когда оказываются очень близко к ядрам. При таких условиях нейтроны могут притягиваться к ядрам ядерными силами и захватываться ядрами. Атомные ядра, захватившие нейтроны, становятся радиоактивными.

РЕГИСТРАЦИЯ (ИЗМЕРЕНИЕ) РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

За единицу радиоактивности принято такое количество радиоактивного вещества, в котором в 1 сек. распадается $3,7 \cdot 10^{10}$ ядер. Оно обозначается кюри. Наиболее употребительные производные от этой единицы:

$$\begin{aligned}\text{милликюри (мкюри)} &= 3,7 \cdot 10^7 \text{ распадов в 1 сек;} \\ \text{микрокюри (мккюри)} &= 3,7 \cdot 10^4 \text{ распадов в 1 сек.}\end{aligned}$$

Единицами кюри и ее производных обычно характеризуют бета- и гамма-излучатели, применяемые в качестве индикаторов. При использовании гамма-излучателей для просвечивания (облучения) веществ их активность удобнее выражать грамм- или миллиграмм-эквивалентом радия (г-экв. радия или мг-экв. радия).

1 г- (мг-) экв. радия соответствует активности гамма-лучей 1 г (мг) радия, если при измерении радиоактивности в тождественных условиях гамма-излучатель создает такую же ионизацию, как и гамма-излучение 1 г (мг) радия, заключенного в платиновый фильтр толщиной 0,5 мм.

Интенсивность радиоактивного излучения определяется количеством энергии излучения, проходящей в единицу времени через единицу поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению радиоактивных лучей.

Для измерения интенсивности бета- и гамма-излучения в настоящее время чаще всего применяют газовые счетчики, оформленные в виде стеклянных или тонкостенных металлических трубочек или в виде стеклянных небольших баллонов с тонким слюдяным окошком (торцовые счетчики). Для приведения в действие таких счетчиков на них подают постоянное напряжение порядка 400—1200 вольт. При проникновении внутрь счетчика бета-частиц измеряемого бета-излучения или вторичных электронов, выбитых из корпуса счетчика гамма-квантами измеряемого гамма-излучения, в газовой смеси, наполняющей счетчик, возникает самогасящийся разряд. Этому соответствует импульс-

ное изменение напряжения, которое и регистрируется радиотехническими устройствами.

При измерении интенсивности бета- и гамма-излучения удобно пользоваться счетчиками, в которых одним из компонентов газовой смеси является галогенный газ. Такие счетчики, так называемые галогенные, работают при напряжении 380—400 вольт, имеют почти неограниченный срок службы и эффективность их мало зависит от колебаний температуры окружающей среды.

Излучение медленных нейтронов измеряют газовыми счетчиками, содержащими в газовой смеси пары фтористого бора.

Ядра бора, поглощая медленные нейтроны, сейчас же претерпевают ядерную реакцию с выделением альфа-частиц, которые и порождают газовый разряд.

Радиотехнические устройства для регистрации импульсов напряжения, поступающих от счетчика, существуют двух типов: пересчетные схемы и интегрирующие радиометры.

Пересчетные схемы применяют для точных измерений радиоактивности. Они имеют электромеханические нумераторы, которые и учитывают поступившие импульсы за период измерения. При измерениях радиоактивности от счетчика обычно поступает несколько тысяч импульсов в минуту. Электромеханические нумераторы такую высокую скорость счета учитывать не могут. Поэтому в пересчетных схемах имеются делительные ячейки, чаще всего двоичные (триггеры), которые позволяют передавать на нумератор только каждый 2-й или 4, 8, 16, 32, 64-й и т. д. импульсы. При этом обеспечивается учет и тех единичных импульсов, которые не успели зарегистрироваться нумератором в момент остановки счета, т. е. пересчетные схемы работают с точностью до одного импульса.

Для полевых работ рационально применять пересчетные схемы, собранные на тиратронах с холодным катодом или полупроводниках, например прибор ИВП-64 — конструкции Научно-исследовательского института гидрометеорологического приборостроения и ТПР — конструкции лаборатории измерительных приборов АН СССР.

Прибор ИВП-64 (рис. 42) состоит из:

- а) входного блока, допускающего подключение любого галогенного счетчика;
- б) двухжильного кабеля длиной 120 см,

в) регистрирующей части, включающей в себя пересчетную схему на тиратронах МТХ-90 и электромеханический нумератор;

г) галетных (малогабаритных) батарей на 160 и 400 вольт.

Пересчетная схема передает на нумератор каждый 64-й импульс. Вес прибора вместе с батареями около 2,5 кг. В тех случаях, когда расстояние между счетчиком

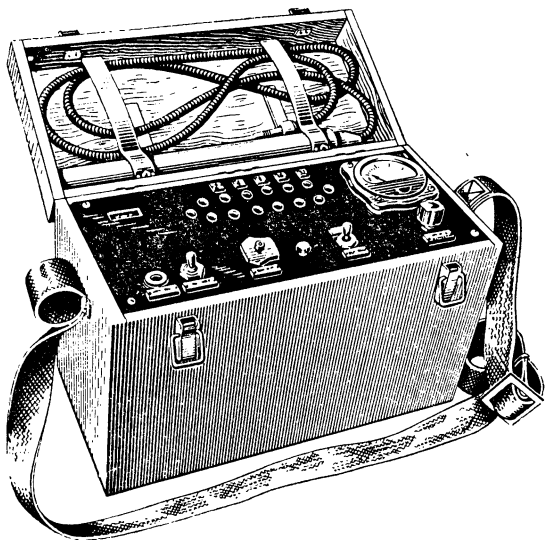


Рис. 42. Полевой пересчетный прибор ИВП-64 со счетчиком СТС-6 в алюминиевом футляре.

и регистрирующей частью должно превышать 120 см к входному блоку необходимо добавлять усилительный каскад, например на полупроводниковом триоде.

Прибор ТПР (рис. 43) состоит из таких же узлов, но пересчетная схема собрана на полупроводниковых триодах, входной блок имеет усилительный каскад, на электромеханический нумератор может передаваться не только каждый 64-й импульс, но и каждый 8-й и каждый единичный. Питание этого прибора (6—8 вольт) обеспечивается двумя батарейками КБС (применяющимися для карманных фонарей), от которых через преобразователь снимается напряжение на пересчетную схему, усилительный каскад и счет-

чик. Двух батарей КБС хватает на 30 часов непрерывной работы прибора.

Радиометры работают по другому принципу. Импульсы от счетчика поступают на накопительную ячейку, состоящую из сопротивления и емкости. В накопительной ячейке при поступлении на нее импульсов напряжения от счетчика возникает ток, пропорциональный частоте поступаю-

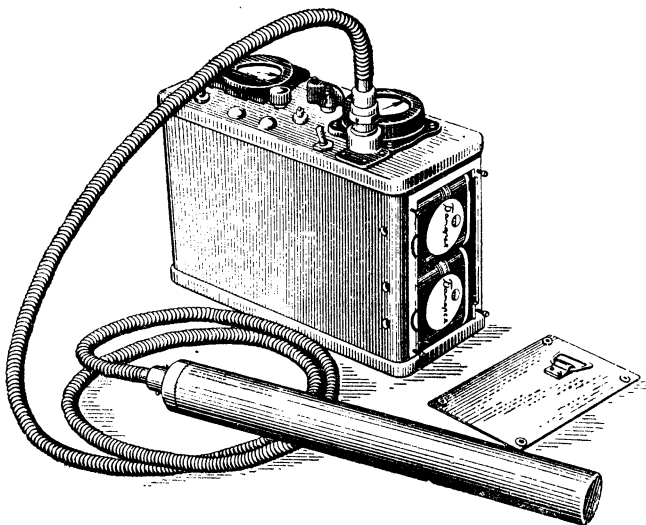


Рис. 43. Транзисторный пересчетный прибор с датчиком для измерения плотности почвы методом учета рассеянных гамма-квантов.

щих импульсов. Напряжение этого тока измеряется чувствительным микроамперметром, отклонение стрелки которого, таким образом, пропорционально частоте регистрируемых счетчиком импульсов. Шкала прибора обычно градуируется по импульсам в секунду или по микро-рентгенам в секунду. Радиометры позволяют измерять интенсивность излучения с точностью 15—20%, что ограничивает их применение такими случаями, когда высокой точности измерений не требуется. Полевые модели радиометров имеют 1—3 радиолампы и питаются малогабаритными батареями на 1,5 и 80 вольт. Напряжение на счетчик снимается через электронный преобразователь.

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММАСКОПИИ

Определение запасов влаги в почве

Принцип измерения запасов влаги в почве основан на том, что интенсивность гамма-лучей, излучаемых введенным в почву гамма-излучателем, уменьшается за счет ослабления самой почвой и ослабления находящейся в ней водой. Если просвечивать гамма-лучами постоянный слой почвы в стационарных условиях, то ослабление интенсивности этих лучей самой почвой (твердой фазой ее), при неизменной геометрии в расположении гамма-излучателя и счетчика, оказывается постоянным, различное же содержание воды в почве вызывает различное ослабление суммарной интенсивности гамма-лучей. Таким образом, изменение степени поглощения почвой гамма-лучей обуславливается изменением влажности ее. Чем больше в просвечиваемом слое почвы влаги, тем сильнее поглощается излучение, и наоборот.

Агрегатное состояние воды (лед, жидкая влага, пар) и характер почвы практически роли не играют. Этот метод, в сравнении со способом термостатного высушивания проб, обеспечивает такую же точность (табл. 57), менее трудо-

Таблица 57

Отклонения отдельных измерений влажности почвы от средних значений, полученных из трех повторных определений
(данные А. И. Данилина)

Метод определения	Количество измерений	Количество отдельных измерений, отклонившихся от средних значений влажности				
		до 2%	2,1—3,0%	3,1—4,0%	4,1—5,0%	5,1—6,0%
Горизонтальное просвечивание гамма-лучами	703	592	77	23	11	—
Сушка образцов в термостате (контроль) . . .	702	591	60	36	11	4
Вертикальное просвечивание гамма-лучами	138	119	15	3	1	—
Сушка образцов в термостате (контроль) . . .	135	122	8	2	—	3

емок и позволяет получать результаты непосредственно в поле при затрате на одно определение, включая и вычисления, 2—3 мин. Основное же преимущество его состоит в том, что измерения проводятся не в каких-либо локальных точках, а всегда в одних и тех же слоях почвы.

В качестве источника гамма-лучей применяют Co^{60} или Cs^{137} . Радиоактивный кобальт активностью 4—6 мг-экв. радия (2,5—4 милликюри) позволяет просвечивать 30—40-сантиметровые толщи глинистых, суглинистых, песчаных почв и в полтора раза большие толщи торфов без особых мероприятий по биологической защите наблюдателя (оператора) от излучений.

Для наблюдения за динамикой влажности почвы во времени по какому-либо слою в целом, например по корнеобитаемому (0—50 см), радиокобальт в свинцовом контейнере-коллиматоре помещают в почву на необходимую глубину. Его устанавливают или в нише шурфа, который затем засыпают, или вводят на дно наклонной скважины, которую можно также заделывать землей. В последнем случае отверстие в контейнере-коллиматоре высверливают с учетом наклона скважины, чтобы пучок гамма-лучей направлялся вертикально вверх. Еще удобнее поступать следующим образом (рис. 44). На дно наклонной скважины помещают цилиндрический свинцовый контейнер-коллиматор (1) с боковым отверстием, сделанным с учетом угла наклона скважины и с осевым отверстием. В осевое отверстие вставлена и закреплена тонкостенная металлическая трубочка (4) диаметром 5—7 мм. Скважина после этого заделывается землей. Гамма-излучатель (3) укрепляется на конце металлического прута (2) диаметром 4—5 мм и вводится в контейнер-коллиматор по трубке лишь на время измерений. Это позволяет одним гамма-излучателем обслуживать несколько точек наблюдений. Во всех случаях счетчик размещают на поверхности почвы над пучком гамма-лучей каждый раз в одном и том же месте.

Метод просвечивания почвы гамма-лучами дает на каждый момент времени количество влаги, выражаемое слоем воды, прибавившейся или убавившейся по отношению к начальному значению влажности просвечиваемого слоя. Такое значение влажности почвы определяют высушиванием в термостате почвенных проб, взятых буром.

Расчет количества прибавившейся или убавившейся влаги ведут по уравнению:

$$\Delta W = 10 \frac{\ln I_0 - \ln I_t}{\mu_{H_2O}} \text{ мм},$$

где ΔW — количество прибавившейся или убавившейся влаги (в мм);

I_0 — гамма-излучение в начальный момент времени;

I_t — гамма-излучение в момент t ;

μ_{H_2O} — линейный коэффициент ослабления излучения, не зависящий от характера почвы.

Формула выведена посредством логарифмирования зависимости $I = I_0 e^{-\mu l}$, характеризующей ослабление гам-

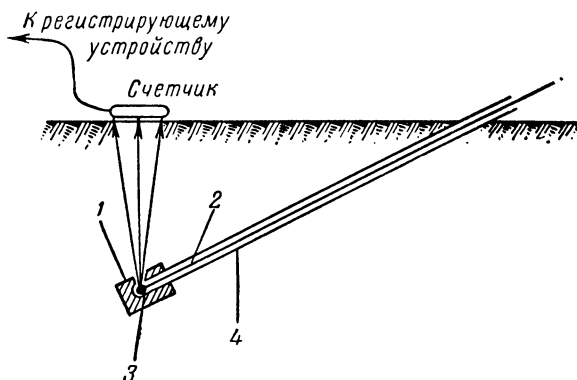


Рис. 44. Схема вертикального просвечивания почвы.

ма-излучения толщей просвечиваемого вещества. За толщю вещества (l) принята толщина слоя воды (ΔW). Исследованиями установлено, что хотя эта формула и не учитывает воздействия на счетчик рассеянного гамма-излучения, ею можно пользоваться для расчетов запасов почвенной влаги, так как линейный коэффициент ослабления излучения для воды (μ_{H_2O}) также определяется в условиях попадания на счетчик рассеянных почвой гамма-квантов.

Абсолютный запас влаги в почве (W) рассчитывают по формуле:

$$W = W_0 + \Delta W \text{ мм},$$

где W_0 — исходный запас влаги в исследуемом слое почвы, выраженный в миллиметрах.

Значение коэффициента μ_{H_2O} , учитывающего также и регистрацию счетчиком рассеянных гамма-квантов, приближенно равно $0,040 \text{ см}^{-1}$, но его следует уточнять опытным путем, что делают однократно для данного контейнера-коллиматора и принятой толщины просвечиваемого

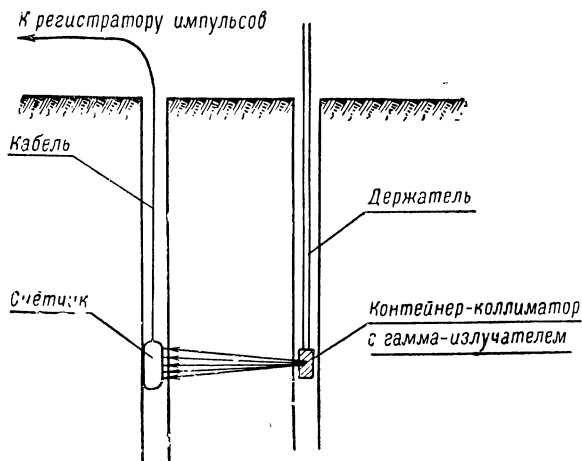


Рис. 45. Схема горизонтального просвечивания почвы.

слоя почвы. Для этого над местом нахождения контейнера с радиокобальтом устанавливают сосуд с плоским дном (ведро, бачок), над дном которого на высоте 5—20 см помещают счетчик и измеряют интенсивность гамма-излучения (I_0). Затем в сосуд наливают воду слоем (h) 4—19 см и измерение интенсивности излучения повторяют, получая новое значение (I_h). Коэффициент μ_{H_2O} рассчитывают по формуле:

$$\mu_{H_2O} = \frac{\ln I_0 - \ln I_h}{h}.$$

Для наблюдения за динамикой влажности почвы по отдельным горизонтам закладывают две вертикальные скважины на расстоянии 30—40 см друг от друга. Стенки скважин закрепляют трубами. В одну скважину опускают на заданную глубину контейнер-коллиматор с радиокобальтом, в другую на ту же глубину счетчик (рис. 45).

По каждому исследуемому горизонту предварительно определяют исходное значение влажности обычным способом высушивания образцов (пробы почвы для этого берут при закладке скважин) и одновременно замеряют интенсивность начального гамма-излучения. В дальнейшем необходимо только просвечивать интересующие горизонты. Расчеты количества поступления или убыли влаги выполняются так же, как и при вертикальном просвечивании почвы.

При определении значения $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ для условий горизонтального просвечивания контейнер с гамма-излучателем закладывают в почву на глубину, равную принятому расстоянию между скважинами, и поступают аналогично вышеописанному способу определения $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$. Но над счетчиком необходимо разместить корсбку (ящик) с 10—20-сантиметровым слоем земли для учета воздействия на него обратно отраженных гамма-квантов.

При вертикальном просвечивании почвы гамма-лучами возможно осуществлять дистанционные наблюдения за динамикой влажности почвы на орошаемых землях и контроль поливных норм. Научно-исследовательским институтом гидрометеорологического приборостроения разработан прибор для таких наблюдений, состоящий из датчика, кабеля, длина которого может достигать нескольких сотен метров, и микроамперметра, отградуированного на миллиметры слоя воды. Датчик прибора включает в себя счетчик СТС-6, несложную радиотехническую схему на одной пальчиковой радиолампе и источник питания — малогабаритные батареи. При просвечивании слоя почвы около 0,5 м чувствительность прибора составляет 1—3 мм слоя воды.

Пример. Co^{60} активностью 5 мг-экв. радия заложен в торфяную почву на глубину 75 см. Начальная интенсивность гамма-излучения на поверхности почвы $I_0 = 327$ импульсов/сек. Коэффициент поглощения гамма-лучей сантиметровым слоем воды $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,040$. Запас воды в просвечиваемой толще почвы в момент закладки радиокобальта 3320 м^3 на 1 га.

После дождевания интенсивность гамма-излучения уменьшилась до $I_g = 295$ импульсов/сек.

$$\begin{aligned} \text{Количество прибавившейся влаги: } \Delta W &= 10 \frac{\ln I_0 - \ln I_g}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} = \\ &= 10 \frac{5,790 - 5,687}{0,040} = 25,7 \text{ мм слоя воды, или } 257 \text{ м}^3 \text{ на 1 га.} \end{aligned}$$

Таким образом, запас влаги в 75-сантиметровом слое почвы после дождевания возрос до $3320 + 257 = 3577 \text{ м}^3$ на 1 га.

Через 10 дней интенсивность гамма-излучения выражалась:

$$I_{10} = 346 \text{ импульсов/сек.}$$

По отношению к начальному моменту времени:

$$\Delta W = 10 \frac{\ln 327 - \ln 346}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} = 10 \frac{5,790 - 5,846}{0,040} = -14 \text{ мм,}$$

или 140 м³ на 1 га.

Следовательно, запас воды в просвечиваемом слое почвы теперь составляет $3320 - 140 = 3180$ м³ на 1 га.

Определение коэффициента $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$

На поверхности почвы над Co^{60} установлен железный бачок. Счетчик расположен на высоте 20 см от дна бачка.

Начальная интенсивность гамма-излучения $I_0 = 173$ импульсов/сек. В бачок налита вода толщиной слоя $h = 5$ см. Интенсивность излучения после этого уменьшилась до $I_5 = 139$ импульсов/сек.

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\ln I_0 - \ln I_5}{h} = \frac{\ln 173 - \ln 139}{5} = \frac{5,1533 - 4,9345}{5} = 0,044.$$

Слой воды в бачке увеличен до $h = 13$ см. Интенсивность излучения $I_{13} = 98$ импульсов/сек.

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\ln 173 - \ln 98}{13} = \frac{5,1533 - 4,5850}{13} = 0,044.$$

Среднее значение $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,044$.

Измерение испарения влаги из почвы

Просвечивая почву гамма-лучами Cs^{137} и измеряя интенсивность излучения на уровне 40—50 тыс. импульсов¹, можно наблюдать динамику влажности почвы в полуметровом слое с точностью до 1 мм водяного слоя (табл. 58). Это позволяет заменить взвешивание монолитов почв (при

¹ Гамма-лучи Cs^{137} по сравнению с Co^{60} обладают меньшей энергией и, следовательно, более интенсивно поглощаются просвечиваемыми веществами.

изучении испарения влаги из почвы методом монолитов) просвечиванием гамма-лучами, а также измерять испарение влаги из почвы в естественных условиях, что трудно осуществимо при использовании существующих методов определения испарения влаги из почвы.

Т а б л и ц а 58

Испарение влаги (в мм) из полуметрового слоя почвы
(данные А. И. Данилина)

№ измерения	Метод вертикального просвечивания гамма-лучами Cs^{137}	Метод взвешивания монолита
1	8,0	9,0
2	1,3	1,2
3	1,3	1,6
4	2,3	2,0
5	3,4	4,5
• • •	• • •	• • •
29	6,0	5,0
30	2,3	2,5

Измерение водяного эквивалента снежного покрова

Сущность этого измерения — вертикальное просвечивание снега. Для этого в него вводят трость, внизу которой укреплен контейнер-коллиматор с гамма-излучателем, формирующий вертикальный пучок гамма-лучей, а сверху — счетчик (рис. 46). По нанесенным на трости делениям одновременно фиксируется и мощность снежного покрова.

В таблице 59 приведены сравнительные данные измерений водяного эквивалента снежного покрова методом просвечивания гамма-лучами и при помощи весового снегомера, выполненных в 1957 г. в бассейне р. Кзылчи.

Применение гамма-лучей особенно уместно при снегсмерных съемках в оттепели и весной, когда весовым снегомером точные измерения не удаются вследствие вытекания воды из мокрого снега.

Сравнительные данные измерений водяного эквивалента снежного покрова весовым снегомером и методом вертикального просвечивания гамма-лучами (данные А. И. Данилина)

№ п/п.	Количество измерений	Мощность снежного покрова (в см)	Средний запас воды (в мм), определенный	
			весовым снегомером	методом просвечивания гамма-лучами
1	7	61—76	187	186
2	7	75—90	226	230
3	6	85—104	264	259
4	6	102—153	360	361
5	11	121—130	373	374
6	9	118—133	360	361
7	6	129—135	408	407
8	11	70—96	242	242
9	10	85—90	262	267
10	9	107—130	357	359
	82		Среднее 304	Среднее 305

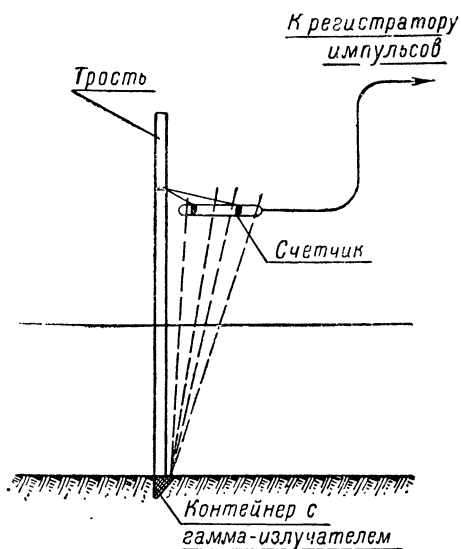


Рис. 46. Схема вертикального просвечивания снежного покрова.

Определение плотности (объемного веса) почвы гамма-лучами

Это определение можно производить двумя методами. Первый основан на том, что рассеивание гамма-лучей в веществе зависит от плотности его. Датчик для определения

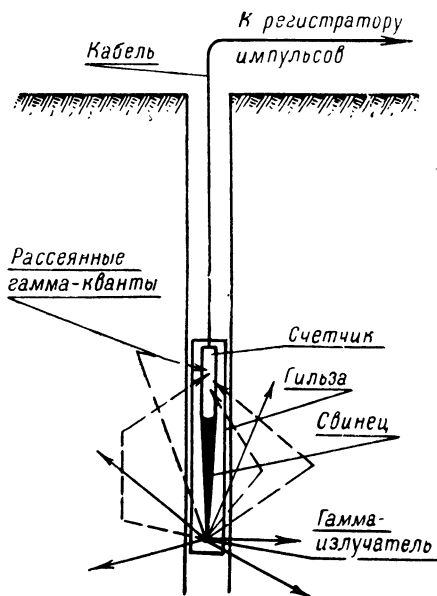


Рис. 47. Схема датчика для измерения плотности почвы по одной скважине методом учета рассеянного гамма-излучения.

плотности почвы по такому методу (рис. 47) представляет собой алюминиевую гильзу диаметром 2,5—5 см, вводимую в скважину на заданную глубину.

В нижней части гильзы помещается гамма-излучатель, например Co^{60} , активностью около 1 мг-экв. радия, а в верхней части гильзы — счетчик. Пространство между гамма-излучателем и счетчиком заполнено свинцом, предотвращающим попадание в счетчик прямых (не рассеянных) гамма-квантов. Предварительно прибор тарируют по почвам с известными значениями объемного веса и вычерчивают график зависимости между плотностью почвы

и интенсивностью регистрируемого излучения. Характер почвы (структура, гранулометрический, минералогический составы, степень гумусированности и др.) роли не играет. Точность определения плотности почвы этим методом 3—5%.

Получаемые значения объемного веса почвы при естественной влажности можно пересчитать на значения объемного веса твердой фазы. Для этого следует определить влажность исследуемых горизонтов почвы, взяв пробы ее при закладке скважины и высушив их в термостате.

Сущность второго метода, дающего более точные результаты, заключается в горизонтальном просвечивании почвы пучком гамма-лучей и определении степени поглощения этих лучей исследуемым слоем; степень поглощения пропорциональна плотности просвечиваемой толщи. С этой целью закладывают две вертикальные параллельные скважины диаметром 4—5 см, в одну из которых, так же как и при погоризонтных наблюдениях за динамикой запасов влаги в почве, вводят на необходимую глубину свинцовый контейнер-коллиматор с гамма-излучателем, а в другую, на ту же глубину, — счетчик, экранированный цилиндрическим свинцовым футляром с вертикальной прорезью, ориентируемой при измерениях на гамма-излучатель. При расстоянии между скважинами (l) 30—40 см активность такого излучателя, как Co^{60} , должна составлять 4—6 мг-экв. радия. Определив интенсивность гамма-лучей над поверхностью почвы (I_0) и при нахождении гамма-излучателя и счетчика на заданной глубине I_n , вычисляют плотность почвы (ρ) по формуле:

$$\rho = \frac{\ln I_0 - \ln I_n k}{\mu_{\text{H}_2\text{O}} l} \text{ г/см}^3,$$

где k — коэффициент для горизонта (глубины) n см, учитывающий воздействие на счетчик рассеянных гамма-квантов, определяется однократно для принятого расстояния между скважинами;

$\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ — линейный коэффициент ослабления гамма-лучей водой для горизонта (глубины) n см и принятого расстояния между скважинами (определяется однократно).

В этой формуле частное $\frac{\ln I_0 - \ln I_n}{l}$ представляет значение линейного коэффициента ослабления гамма-излуче-

ния просвечиваемой толщей почвы. Плотность ее, таким образом, является результатом деления линейного коэффициента ослабления излучения для почвы на линейный коэффициент ослабления излучения для воды, т. е.

$$\rho = \frac{\mu_{\text{почвы}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} \text{ г/см}^3.$$

Теоретические предпосылки для вывода такой зависимости основаны на том, что при просвечивании почвы и воды узким пучком гамма-лучей с энергией 0,5—5 Мэв ослабление интенсивности их потока происходит почти исключительно за счет комптоновского рассеивания. При этом ослабление интенсивности гамма-излучения после прохождения им слоев почв различной плотности и воды толщиной 1 г/см² оказывается одинаковым, т. е. массовые коэффициенты ослабления излучения для почв и воды равны¹. Следовательно, можно написать:

$$\frac{\mu_{\text{почвы}}}{\rho_{\text{почвы}}} = \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}},$$

так как $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1$, то

$$\rho_{\text{почвы}} = \frac{\mu_{\text{почвы}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}.$$

Рассеивание гамма-лучей зависит от энергии этих лучей, толщины и плотности просвечиваемого слоя почвы, от глубины исследуемого горизонта в пределах глубин от поверхности почвы и до 40 см и некоторых других факторов. Значения коэффициента, учитывающего рассеянное излучение для принятого расстояния между скважинами и каждого данного горизонта просвечивания, можно вычислить по вышеприведенной формуле, подставив в нее величины плотности почвы, определенные взвешиванием ее образцов. При этом следует иметь в виду, что, начиная с горизонта примерно 40 см и глубже, значение этого коэффициента, так же как и значение $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$, оказывается постоянным.

Пример. Определение плотности супесчаной почвы в горизонте 40—50 см. Расстояние между скважинами $l = 35,5$ см. Интен-

¹ Следует иметь в виду, что этот коэффициент для воды несколько больше, чем для почвы, но поправка на неравенство этих коэффициентов входит в значение коэффициента K , учитывающего воздействие на счетчик рассеянного излучения. Особого определения ее не требуется.

сивность гамма-излучения над поверхностью почвы $I = 575$ импульсов/сек, интенсивность излучения при просвечивании горизонта 40—50 см $I_{40-50} = 24$ импульсов/сек; $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,044$; $K = 1$.

Плотность просвечиваемого горизонта почвы равна:

$$\rho = \frac{\ln I_0 - \ln I_{40-50} K}{\mu_{\text{H}_2\text{O}} l} = \frac{\ln 575 - \ln 24}{0,044 \cdot 35,5} = \frac{6,3544 - 3,1781}{0,044 \cdot 35,5} = 2,04 \text{ г/см}^3.$$

При использовании пересчетных схем на тиратронах с холодным катодом, при измерении I_0 (в воздухе) вследствие высоких уровней счета, могущих давать искаженные результаты, за начальную интенсивность гамма-излучения можно брать интенсивность излучения, прошедшего через слой воды толщиной, равной расстоянию между стенками скважин. Если при всех определениях плотности почвы расстояние между скважинами будет одинаковым, то интенсивность излучения, прошедшего через слой воды, достаточно установить однократно для данного типа контейнера-коллиматора с гамма-излучателем. Но эту интенсивность излучения необходимо получить по тем горизонтам в пределах глубин до 40 см (например, по горизонтам 5, 10, 20, 30 и 40 см), по каким будет определяться плотность.

Плотность почвы в этом случае вычисляется по зависимости:

$$\rho = 1 + \frac{\ln I_{\text{H}_2\text{O}} - \ln I_n}{\mu_{\text{H}_2\text{O}} l} \text{ г/см}^3,$$

где $I_{\text{H}_2\text{O}}$ и I_n — интенсивность гамма-излучения, прошедшего через слой воды и слой почвы толщиной l см.

Эта зависимость выводится на основе двух формул:

$$I_{\text{для почвы}} = I_0 e^{-\mu_{\text{почвы}} l} \text{ и } I_{\text{H}_2\text{O}} = I_0 e^{-\mu_{\text{H}_2\text{O}} l},$$

где I_0 — интенсивность гамма-излучения, прошедшего слой воздуха толщиной l см.

Можно написать

$$\frac{I_{\text{для почвы}}}{I_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{I_0 e^{-\mu_{\text{почвы}} l}}{I_0 e^{-\mu_{\text{H}_2\text{O}} l}}.$$

Решение уравнения после логарифмирования и деления обеих частей его на $\mu_{\text{H}_2\text{O}} l$ и дает вышеуказанную зависимость.

Исследования показывают, что расхождения между результатами измерения плотности почвы методами просвечивания гамма-лучами и взвешивания образцов почвы не превышают отклонений, допустимых в практике мелиоративных исследований почв (табл. 60).

Т а б л и ц а 60

Плотность почв (в г/см³), определенная методом горизонтального просвечивания гамма-лучами и взвешиванием образцов ненарушенного сложения (южная часть Мещерской низменности)

Глубина (в см)	Торфяная залежь		Пойменный суглинок	
	просвечива- ние гамма- лучами	взвешивание образцов	просвечива- ние гамма- лучами	взвешивание образцов
30	0,910	0,910	1,69	1,71
40	0,945	0,945	1,64	1,65
50	0,935	0,920	1,64	1,63
60	0,960	0,950	1,66	1,65
70	0,980	0,990	1,63	1,64
80	0,995	1,010	1,67	1,65
90	1,000	1,080	1,69	1,67

При измерениях плотности почвы с помощью гамма-лучей результаты получают непосредственно в поле, что резко повышает оперативность работ. При этом отпадает необходимость в отрывке шурфа, требующегося для определения плотности почвы обычным методом.

Определение мутности воды и плотности ила

Принцип определения мутности воды и плотности ила при помощи гамма-лучей основан на том, что чем больше в воде, иле минеральных частиц, тем сильнее поглощаются при просвечивании гамма-лучи.

Для непрерывной регистрации мутности воды, а также выявления плотности ила применяют мягкое гамма-излучение, близкое по длине волны к рентгеновскому. Такое излучение обеспечивает получение большой разницы в интенсивности поглощения гамма-лучей просвечиваемой

толщей воды (ила) при малых изменениях мутности воды (плотности ила). Мягкие гамма-лучи обычно получают, используя эффект тормозного излучения, который проявляется в том, что при прохождении бета-лучей высоких энергий через фильтр из тяжелых элементов энергия бета-лучей, теряемая при торможении их в полях атомных ядер, выделяется квантами мягкого гамма-излучения. Практически это достигается воздействием бета-лучей, например Sr^{90} , на свинцовую пластинку, свинцовый диск (рис. 48).

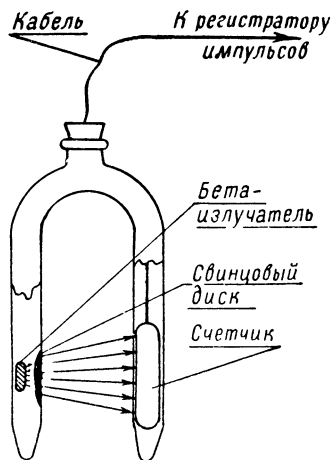


Рис. 48. Схема датчика мутности.

Гамма-излучение можно также применять для непрерывных наблюдений за плотностью грунта при его отсыпке, уплотнении, разуплотнении, для измерения количества органического вещества в болотах и во многих других случаях.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

В почвенно-мелиоративных исследованиях применение нейтронов пока ограничивается нейтронным методом определения влажности. Этот метод основан на облучении почвы быстрыми нейтронами, которые, рассеиваясь, становятся с атомами водорода и превращаются в медленные нейтроны. Так как в почвах и грунтах атомы водорода в переменном количестве содержатся главным образом в молекулах воды, то чем выше влажность почвы, тем сильнее замедляются быстрые нейтроны, тем больше оказывается медленных нейтронов.

Нейтронный метод определения влажности применим для любых типов почв, он обеспечивает регистрацию быстрого изменения влажности и почти не зависит от солевого состава почвы.

Датчик для определения влажности почвы методом нейтронов (рис. 49) представляет собой гильзу диаметром 2,5—3,5 см и высотой 20—26 см, которая вводится в буро-

вую скважину. Внизу нейтронного влагомера находится источник быстрых нейтронов, например полониево-бериллиевый¹, активностью около 5 милликюри, а сверху — детектор (счетчик) медленных нейтронов, например газоразрядный самогасящийся счетчик, содержащий в газовой смеси пары фтористого бора.

Для учета медленных нейтронов можно также использовать обычные газоразрядные самогасящиеся счетчики,

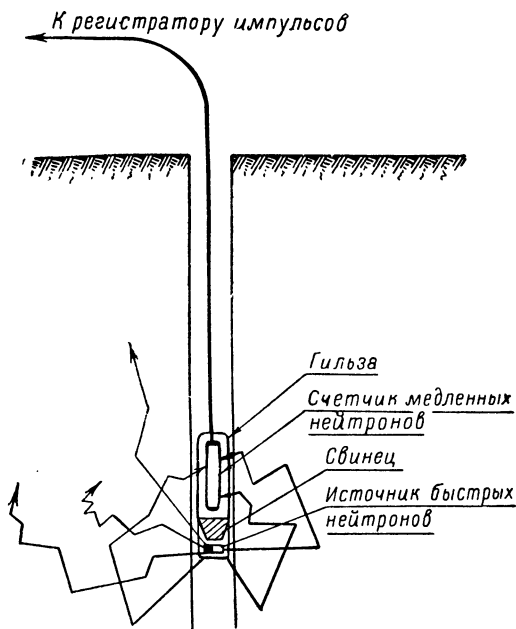


Рис. 49. Схема датчика нейтронного влагомера.

обернутые серебряной, родиевой или индиевой фольгой. Медленные нейтроны, воздействуя на фольгу, вызывают в ней ядерную реакцию, при которой образуется бета-излучение, пропорциональное количеству медленных нейтронов, поглощаемых фольгой. Это бета-излучение и регистрируется счетчиком.

¹ Получение нейтронов основано на ядерной реакции: атомные ядра бериллия, бомбардируемые альфа-частицами, испускаемыми полонием, превращаются в атомные ядра углерода. При этом испускаются быстрые нейтроны.

Для перевода интенсивности воздействия на счетчик медленных нейтронов на данные влажности почвы необходимо иметь тарировочную кривую.

Нейтронный метод измерения влажности почвы имеет преимущество перед гаммаскопическим методом, так он позволяет сразу получать данные об абсолютной влажности почвы на любой момент времени (без учета начальной влажности почвы), что представляет большое удобство для экспедиционных работ.

Время, затрачиваемое на одно определение влажности, измеряется 2—5 мин., точность определения составляет 3—5%.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Применение метода радиоактивных индикаторов в почвенно-мелиоративных исследованиях весьма перспективно для изучения такого важного вопроса мелиоративной науки, как закономерности передвижения отдельных компонентов солевых растворов в засоленных почвах при орошении и промывках, особенно в условиях дренажа. Так, например, бесспорно установлено, что солевые растворы при этом поступают в дрены из почвы по всему смоченному периметру. Но, несмотря на многолетние тщательные исследования, основанные на химических анализах почвы и грунтовой воды, до сих пор не ясно, откуда и как поступают к дренам соли. Установлено, что основная масса солей подходит к дренам из глубины, а вот куда движутся соли, вымываемые из верхних горизонтов при промывках, неизвестно. Неясно даже, поступают ли в конечном итоге соли, вымываемые при промывках и поливах, в дрены или нет. Применение же метода радиоактивных индикаторов позволит проследить траектории движения отдельных компонентов солевых растворов, помеченных радиоактивными изотопами, от мест вымыва и до поступления их в дрены.

Для этого можно воспользоваться прежде всего такими радиоактивными бета-излучателями, как C^{14} , S^{35} , Cl^{36} (в форме Na_2CO_3 ; Na_2SO_4 ; $NaCl$ и других минеральных солей).

Сущность метода радиоактивных индикаторов можно проиллюстрировать следующим примером. Пусть требуется определить интенсивность капиллярного поднятия мине-

рализованной грунтовой воды в зоне капиллярной каймы, т. е. непосредственно над зеркалом грунтовой воды. Для этого отрывают шурф, дно которого заглубляют под уровень грунтовой воды. В собравшуюся на дне шурфа воду вводят 20 милликюри радиоактивной серы-35 в форме Na_2SO_4 . Вес радиоактивного сульфата натрия, имеющего такую активность, составляет всего лишь 0,00000154 г,

т. е. практически это невесомое количество. Этот индикатор будет отражать процесс капиллярного поднятия воды. Определяя радиоактивность на какой-либо стенке шурфа во времени, можно получить данные для количественной характеристики этого процесса. Для

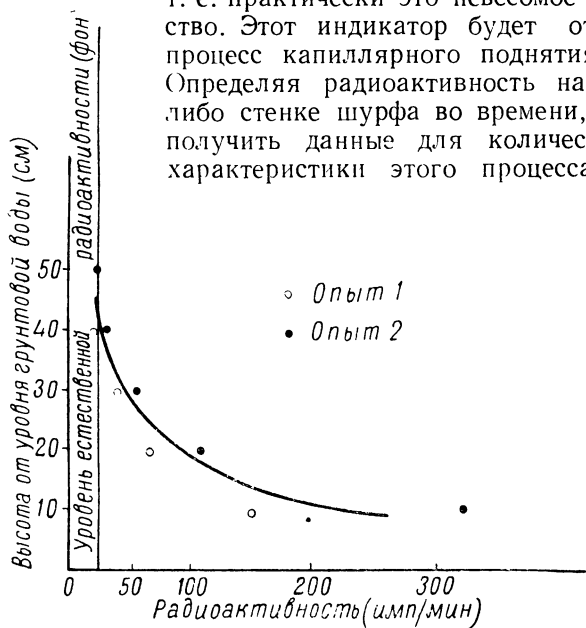


Рис. 50. Распределение меченой воды в зоне капиллярной каймы торфяной почвы на 6-й день после введения радиоактивного индикатора в зеркало грунтовой воды по наклонной скважине.

определения радиоактивности стенки шурфа необходимо либо брать с нее мазки почвы и подносить их к счетчику¹, либо прикладывать счетчик к стенке шурфа и, перемещая его вверх-вниз, регистрировать распределение радиоактивности от верхней границы ее до зеркала грунтовой воды.

¹ S^{35} испускает бета-лучи малой энергии, для регистрации которых счетчик должен находиться весьма близко к излучающему их веществу.

Решая подобные задачи, можно поступать и иначе, вводя раствор радиоактивного индикатора в грунтовую воду через наклонную буровую скважину, заглубленную, так же как и шурф, под уровень воды. Пробы почвы в этом случае берут из вертикальных буровых скважин.

Такие исследования проведены почвенно-мелиоративной лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского ин-

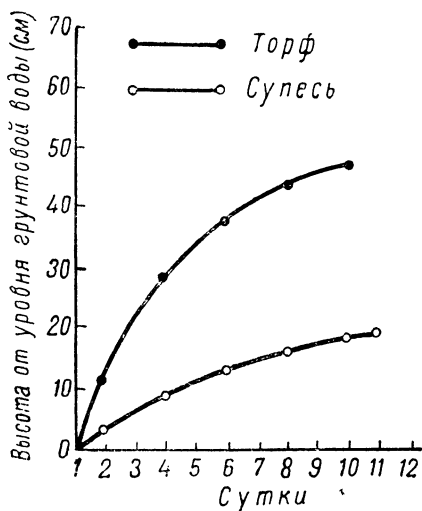


Рис. 51. Интенсивность поднятия меченой грунтовой воды по стенкам шурфа.

ститута гидротехники и мелиорации на Кальском болоте (южная часть Мещерской низменности). Результаты их, приведенные на рисунках 50 и 51, показали, что высота капиллярной каймы в торфе достигает 50—60 см. Эти величины подтвердили ранее полученные данные о высоте капиллярного поднятия воды в торфе, выявленной по кривым распределения естественной влажности торфа над зеркалом грунтовой воды.

Радиоактивными индикаторами, не сорбируемыми почвами и подстилающими их породами, рационально заменять красящие вещества и растворы электролитов при определениях направлений и скоростей потоков грунтовых вод, что резко повышает точность наблюдений. Для этого особенно пригодны S^{35} и J^{131} в виде Na_2SO_4 и KJ . Эти же

индикаторы весьма уместны при определениях коэффициента фильтрации грунтов методом откачек, так как они позволяют регистрировать фактические скорости движения воды от наблюдательных скважин, в которые вводится радиоиндикатор, к центральной, предназначенной для откачки.

В исследованиях водопроницаемости торфов южной Мещеры, выполненных в 1956 г. почвенно-мелиоративной лабораторией ВНИИГиМ для определения коэффициента фильтрации водонасыщенных горизонтов, в пункте исследования закладывались центральная скважина и вокруг нее на расстоянии 0,2—0,5 м несколько периферических, глубина которых определялась изучаемым слоем водонасыщенной толщи. Диаметр скважин 18 см. В центральную скважину вводился раствор радиоактивного йода из расчета 1—2 милликюри на 10 л воды скважины. После этого из периферических скважин производилась откачка воды желонкой. Откачка продолжалась до появления в откачиваемой воде радиоактивности.

Коэффициент фильтрации определялся по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{l\omega}{100\,t\,i} \text{ м/сутки},$$

где K_{ϕ} — коэффициент фильтрации (в м, сутки);

l — расстояние между стенками центральной и периферической скважин (в м);

t — время от начала откачки до появления радиоактивности в откачиваемой воде (в сутках);

i — градиент напора;

ω — активная пористость водоотдачи (в %).

Коэффициент фильтрации воды в изученных горизонтах торфов Кальского болота колебался от 0,11 до 0,80 м/сутки.

Одновременно коэффициент фильтрации торфяной толщи был определен по скорости заполнения скважин водой, а также методом откачек из скважин. В таблице 61 приведены результаты определения коэффициента фильтрации торфа этими методами в сравнении с данными метода радиоактивных индикаторов.

Данные этой таблицы показывают, что метод меченых атомов, основанный на замерах фактической скорости движения воды, подтверждает достоверность результатов определения коэффициента фильтрации торфяных залежей методами откачек и по скорости заполнения скважины водой.

**Коэффициент фильтрации торфяной толщи, определенный
различными методами**

Метод определения	Значения коэффициента (в м/сутки)		
	минимум	максимум	среднее
По скорости заполнения скважин водой (расчет по формуле Кожанова)	0,055	1,22	0,40
Откачек (расчет по формуле Дюпюи)	0,140	0,83	0,48
Радиоактивных индикаторов	0,110	0,80	0,44

В процессе проведения откачек нередко наблюдалось струйчатое движение грунтовой воды со скоростью до 30 см/мин не только в торфах, но и в глинистых грунтах поймы р. Оки. Это объясняет часто наблюдаемые случаи несоответствия фильтрационной способности суглинков и глин Мещерской низменности их гранулометрическому составу: глинистые грунты, вследствие пронизанности их крупными водопроводящими ходами, нередко фильтруют воду так же интенсивно, как фильтруют ее супеси и даже пески.

При помощи радиоактивных индикаторов, сильно сорбируемых почвами и, наоборот, не сорбируемых почвами, можно изучать распределение оросительной воды на поливаемых площадях. Для этого в первом случае метят оросительную воду сильно адсорбирующимися индикаторами. В процессе впитывания ее в почву радиоиндикаторы практически остаются в самом поверхностном слое почвы, который становится радиоактивным. Интенсивность радиоактивности этого слоя пропорциональна количеству впитавшейся воды.

Такие исследования проведены на орошаемых площадях сахарного тростника на Гавайских островах для выявления эффективности различных оросительных систем. Всего было проведено более 100 опытов, которыми охватывались почти все орошаемые площади. Радиоиндикатором служил Rb^{86} , имеющий период полураспада 19,5 дня и излучающий в основном бета-лучи. Количество его устанавливалось из расчета 1 милликюри на 30 м борозды. Радио-

рубидий целиком поглощался слоем почвы до глубины всего лишь 25 мм.

Во втором случае, когда оросительная вода метится индикаторами, не сорбирующимися почвой, характер распределения в почве введенной влаги выявляется по радиоактивности образцов почвы, выбираемых из нее буром по горизонтам (скважины размещают по створам).

Для изучения движения песчаных наносов в потоках к таким наносам добавляют размельченное до нужных фракций стекло, содержащее в своем составе в виде твердого раствора радиоактивные изотопы. Такие исследования проведены японскими и английскими учеными при исследовании движения донных песков в Томакомайской гавани около г. Хоккайдо и изучении перемещения наносов в устье р. Темзы. В первом случае потребовалось 3 л размельченного до фракций песка радиоактивного стекла, содержащего в себе Zn^{65} общей активности 60 милликюри.

При изучении движения глинистых наносов в потоках и распределения их на орошаемых землях их можно метить введением в поглощающий комплекс таких радиоактивных катионов, как Na^{24} , Ca^{45} , Cs^{137} и др. Траектории движения наносов определяются при помощи обычных счетчиков, которые можно погружать непосредственно в поток, или путем поднесения к счетчику образцов почвы (например, при изучении процессов заиливания почв и перемещения по их профилю мельчайших фракций наносов токами просачивающейся оросительной воды).

Применение радиоактивных индикаторов C^{14} , S^{35} , Cl^{36} , J^{131} рационально, как свидетельствуют результаты работ, проведенных в Почвенном институте АН СССР и во ВНИИГиМ, при изучении критического уровня грунтовых вод, коэффициента завядания растений, передвижения в почве различных форм почвенной влаги, выявления диапазонов оптимальной влажности орошаемых и осушаемых земель и т. д.

Реакции изотопного обмена с использованием радиоактивных индикаторов значительно упрощают и ускоряют определение качества оросительной воды, поглощенных катионов, емкости поглощения и некоторые другие химические анализы почвы, осуществляемые при мелиоративных изысканиях и в процессе эксплуатации мелиорированных земель.

Так, например, для определения емкости поглощения почвы методом изотопного обмена навеску почвы насыщают ионами обычного кальция и вносят ее в раствор, содержащий ионы радиоактивного Ca^{45} (раствор $\text{Ca}^{45}\text{Cl}_2$). Вследствие возникающего изотопного обмена некоторое количество ионов Ca^{45} внедряется в почвенный поглощающий комплекс, обмениваясь на находящиеся в нем ионы обычного кальция. Количество Ca^{45} , переходящего из раствора в почву, пропорционально емкости поглощения ее (насыщенной обычным кальцием). По данным радиоактивности раствора до внесения в него навески почвы и после рассчитывают емкость поглощения почвы.

Реакция изотопного обмена также уместна там, где приходится количественно определять лишь некоторые компоненты солевых растворов почвы, так как в этих случаях определяемые компоненты можно не отделять от остальных.

При выборе радиоактивных индикаторов для метки отдельных компонентов солевых растворов почвы, поверхностных и подземных вод и т. д. необходимо учитывать:

а) период полураспада применяющегося изотопа, который обуславливает продолжительность радиоактивной зараженности объекта исследования и должен обеспечить требуемую степень радиоактивности в течение всего периода наблюдений;

б) тип и энергию излучения, определяющие технику учета радиоактивности и характер биологической защиты наблюдателей от ионизирующей радиации;

в) сорбируемость вводимого элемента, иона или соединения поглощающим комплексом грунта, а также возможность изотопного обмена радиоактивного индикатора на имеющийся в грунте стабильный изотоп — факторы, непосредственно характеризующие пригодность тех или иных радиоизотопов для решения поставленных задач.

Радиоактивные изотопы, перспективные для применения в качестве индикаторов при проведении почвенно-мелиоративных исследований, приведены в конце данной главы (табл. 65).

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С РАДИОИЗОТОПАМИ

При интенсивном облучении тканей животных организмов бета-частицами, гамма-квантами и нейтронами в клетках тканей нарушаются жизненные процессы, что может

привести их к гибели. Это, в свою очередь, пагубно отражается на состоянии всего организма. Поэтому при работе с радиоактивными изотопами необходимо строго выполнять требование техники безопасности, и тогда работа с ними оказывается не более опасной, чем с обычными химическими реактивами.

Основные положения техники безопасности сводятся к предотвращению попадания радиоактивных веществ внутрь организма и к предотвращению воздействия на организм внешнего облучения сверх допустимого уровня.

Радиоактивные вещества могут попадать внутрь организма через легкие, желудочно-кишечный тракт и кровеносную систему (при порезах кожных покровов и т. д.). В связи с этим все манипуляции, при которых в воздух рабочего помещения возможно поступление радиоактивных пыли, паров, газов, должны осуществляться в вытяжных шкафах. Операции с открытыми радиоактивными изотопами и веществами, их содержащими, необходимо проводить в резиновых или хлорвиниловых перчатках. Для засасывания радиоактивных растворов в пипетки следует применять механические приспособления (резиновые груши, шприцы). Нельзя работать с радиоактивными веществами при порезах и ранках на кожных покровах рук. Рабочие поверхности столов должны быть покрыты стеклом, линолеумом и другими гладкими материалами, не впитывающими в себя жидкости.

Для лабораторных работ с бета-излучателями активностью более 1 мкюри, используемыми в качестве индикаторов, требуются специальные помещения с приточно-вытяжной вентиляцией, с гладкими стенами, потолком и дверями, выкрашенными масляной краской, и полом, покрытым линолеумом или метлахской плиткой.

При полевом использовании радиоактивных изотопов в качестве индикаторов необходимо, учитывая их период полураспада, сорбируемость почвой и другие свойства, исследования осуществлять так, чтобы была исключена возможность поступления значительного количества радиоизотопов в растения и открытые водоемы и источники.

Бета-лучи даже относительно высоких энергий проникают при внешнем облучении в тело человека на глубину лишь нескольких миллиметров. Защита от внешнего воздействия этих лучей достигается применением экранов из легких материалов (стекло, алюминий, плексиглас

и т. п.) и защитных очков. Следует иметь в виду, что бета-излучение большинства радиоактивных изотопов довольно сильно поглощается уже стенками той посуды, упаковки, в которых они находятся (табл. 62). Пользуясь этой таблицей, можно рассчитать толщину экранов и из других материалов, обеспечивающую поглощение бета-частиц данной энергии. Она оказывается во столько раз больше или меньше приведенной в таблице толщины алюминия и стекла, во сколько плотность применяемого материала меньше или больше плотности алюминия и стекла.

Таблица 62

Длина максимальных пробегов бета-частиц в различных средах

Максимальная энергия бета-частиц (Мэв)	Алюминий, стекло (в мм) $\rho = 2,70 \text{ г/см}^3$	Вода, животная ткань (в мм)	Воздух (в см)
0,1	0,05	0,16	10,1
0,2	0,16	0,50	31,3
0,3	0,28	0,89	56,7
0,5	0,59	1,87	119,0
0,7	0,93	2,92	186,0
1,0	1,52	4,80	306,0
1,25	2,02	6,32	406,0
1,50	2,47	7,80	494,0
1,75	3,01	9,50	610,0
2,00	3,51	11,10	710,0

При работе с гамма-излучателями защита, которая должна обеспечивать снижение уровня ионизирующего воздействия от внешнего облучения до допустимых значений, достигается тремя способами:

- 1) использованием расстояния между гамма-излучателем и телом (кистями рук) экспериментатора;
- 2) сокращением времени облучения;
- 3) применением экранов из тяжелых материалов.

Для вычисления допустимых расстояний, времени облучения и необходимой толщины экранов, позволяющих снижать в требуемой степени интенсивность гамма-излучения, руководствуются следующими положениями.

Предельно допустимая доза гамма-лучей при облучении всего тела человека составляет 0,05 рентгена¹ за сутки

¹ Рентген (р) — доза рентгеновских и гамма-лучей, при которой в 1 см³ сухого воздуха возникают ионы каждого знака с суммарным зарядом в одну электростатическую единицу. Производные от этой единицы — миллирентген (мр) и микрорентген (мкр).

(табл. 63). В некоторых случаях эту дозу можно несколько увеличивать, но так, чтобы недельная доза получаемого излучения не превышала 0,3 *p*.

Таблица 63

Предельно допустимые уровни ионизирующих излучений при внешнем облучении всего тела (по Н. Г. Гусеву)

Вид излучения	Относительная биологическая эффективность	Допустимая доза за сутки (<i>p</i> или Фэр ¹)	Допустимая мощность физической дозы или интенсивность излучения				
			единица измерения	8 час.	6 час.	4 часа	2 часа
Гамма-лучи	1,0	0,05	мкр/сек	1,8	2,5	3,7	7,0
Бета-лучи	1,0	0,05	бета-частиц/см ² /сек	75	100	150	300
Медленные нейтроны	5,0	0,01	медленные нейтроны см ² /сек	1100	1500	2200	4400
Быстрые нейтроны (> 0,5 МэВ)	10,0	0,005	быстрые нейтроны см ² /сек	35	50	70	140

Для кистей рук, если все тело получает не более 0,05 *p* за сутки, предельная доза в 5 раз выше, т. е. равняется 0,25 *p* в сутки.

Значение предельно допустимой дозы для всего тела (0,05 *p* в сутки) примерно в 250 раз больше суточной дозы ионизирующего воздействия, получаемого человеком в естественных условиях за счет космических лучей и естественных радиоактивных изотопов. В порядке сравнения можно указать, что при просвечивании грудной клетки и желудка рентгеновскими лучами облучаемые участки тела обычно получают дозу 0,05—2 *p*.

Дозу излучения (*D*), отнесенную к единице времени (*t*), называют мощностью дозы (*P*):

$$P = \frac{D}{t}.$$

Допустимая мощность дозы приведена в таблице 63.

¹ Фэр—физический эквивалент рентгена—доза любого ионизирующего излучения, при которой энергия, поглощаемая 1 г вещества, соответствует энергии, поглощаемой 1 г воздуха при дозе 1 *p*.

В мелиоративных исследованиях гамма-излучатели относительно высокой активности используются при просвечивании почв и употребляются в этих случаях в виде точечных источников. Практически такими источниками можно считать препараты, линейные размеры которых значительно меньше расстояния между источником и счетчиком (телом оператора). Например, источник с линейным размером 1×1 см возможно принимать за точечный уже с расстояния около 25 см. Излучение точечного источника, не заключенного в коллимирующее устройство, представлено широким пучком.

Доза излучения (D) на расстоянии L см от точечного источника рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{8,4 \, m t}{L^2} \, p,$$

где m — активность излучателя (в мг-экв. радия);
 t — время облучения (в час.).

Пример 1. Определить дозу, создаваемую гамма-излучателем активностью 10 мг-экв. радия за 2 часа на расстоянии 100 см.

$$D = \frac{8,4 \cdot 10 \cdot 2}{10\,000} = 0,017 \, p.$$

При суточной предельно допустимой дозе 0,05 p зависимость между активностью источника (m), выраженной миллиграмм-эквивалентом радия, расстоянием (L), выраженным в метрах, и временем облучения (t), выраженным в часах, для точечного источника характеризуется формулой:

$$\frac{m \cdot t}{L^2} = 60.$$

Пример 2. Активность препарата 5 мг-экв. радия, расстояние между препаратом и телом экспериментатора 0,5 м. Определить допустимое время пребывания на этом расстоянии.

$$t = \frac{60 \, L^2}{m} = \frac{60 \cdot 0,25}{5} = 3 \text{ часа.}$$

Между мощностью дозы и временем облучения при суточной предельно допустимой дозе 0,05 p для источника любой формы существует зависимость:

$$P = \frac{15}{t},$$

где P — мощность дозы (в микрорентгенах за 1 сек.);
 t — время облучения (в час.).

Пример 3. Мощность дозы на данном расстоянии от гамма-излучателя, измеренная радиометром, составляет 20 мкр/сек.

Какое время допустимо находиться в этом месте без защиты?

$$t = \frac{15}{P} = \frac{15}{20} = 0,75 \text{ часа.}$$

Толщина слоев свинца, бетона и воды, обеспечивающая различные кратности ослабления широкого пучка гамма-лучей наиболее употребительных в мелиоративных исследованиях излучателей (Co^{60} и Cs^{137}), приведена в таблице 64.

Т а б л и ц а 64

Толщина слоев (в см) свинца, бетона и воды для различных кратностей ослабления широкого пучка гамма-лучей Co^{60} и Cs^{137}
(по Н. Г. Гусеву)

Кратность ослабле- ния	Свинец $\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$		Бетон $\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$		Вода $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$	
	Co^{60}	Cs^{137}	Co^{60}	Cs^{137}	Co^{60}	Cs^{137}
2	1,5	0,8	13,3	12,4	27	27,5
5	3,4	1,7	24,6	22,1	51	46,5
10	4,5	2,4	31,9	27,2	67	59,0
20	5,8	3,0	39,9	32,8	81	72,0
30	6,5	3,3	43,7	35,6	89	76,0
40	6,9	3,5	45,3	37,1	93	80,0
50	7,2	3,7	48,5	38,5	99	83,0
60	7,5	3,9	50,1	39,5	102	86,0
80	8,0	4,1	52,4	42,1	108	90,0
100	8,5	4,3	54,5	44,2	112	94,0
200	9,7	4,9	60,8	49,2	126	104,0
500	11,3	5,6	69,8	55,9	143	118,0
1000	12,3	6,3	76,1	60,4	155	127,0

Пользуясь таблицей 64, можно рассчитывать требующиеся толщины экранов из приведенных в ней материалов и степень уменьшения интенсивности излучения Co^{60} и Cs^{137} стенками контейнеров, в которых они находятся.

П р и м е р 4. Устраивают хранилище свинцового контейнера КВ-36 с Co^{60} активностью 52 мг-экв. радия. Оно представляет собой зарытую в грунт железную трубу с дном глубиной 1 м. Какой толщины должна быть бетонная пробка, обеспечивающая снижение интенсивности излучения до 0,17 мкр/сек на поверхности пробки?

Расстояние (L) между гамма-излучателем и поверхностью пробки измеряется 90 см (рис. 52). Доза, создаваемая Co^{60} на по-

верхности пробки без учета поглощения излучения самой пробкой и свинцом контейнера, например за 1 час, составляет:

$$D = \frac{8,4 \cdot 52 \cdot 1}{8100} = 0,054 \text{ р.}$$

Эта доза соответствует мощности ее 15 мкр/сек (рассчитывают по формуле $P = \frac{D}{t}$). Контейнер КВ-36 имеет толщину свинца 3,6 см. Такая толщина, согласно таблице 64, снижает мощность дозы в 5,3 раза, т. е. до 2,8 мкр/сек. Для получения на поверхности пробки мощности дозы в 0,17 мкр/сек необходимо уменьшить еще в 16,5 раза, используя для этого поглощение гамма-лучей бетоном пробки. Пользуясь таблицей 64, рассчитываем, что для 16,5-кратного снижения мощности дозы бетоном толщина его должна составлять 37 см. Это и является искомой толщиной бетонной пробки.

Для гаммаскопии почвы с целью определения плотности ее и запасов влаги обычно применяют Co^{60} и Cs^{137} активностью около 5 мг-экв. радия, заключенные в свинцовый контейнер-коллиматор с толщиной стенок примерно 2 см. При этих условиях можно находиться (не в створе сколлимированного пучка лучей):

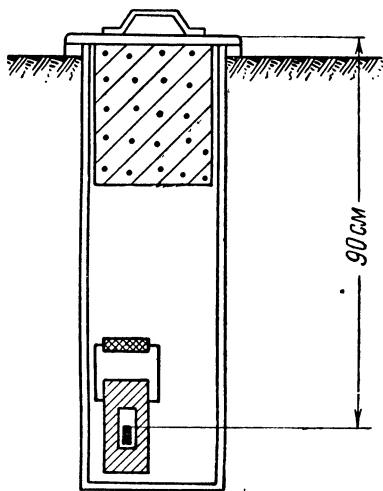


Рис. 52. Схема хранилища контейнера с гамма-излучением.

Расстояние (в см)	Допустимое время облучения (в час)	
	Co^{60}	Cs^{137}
25	1,8	7
50	7,5	27
100	30,0	—

Для ускорения вычисления допустимых расстояний и времени облучения при работе с радиоактивными изото-

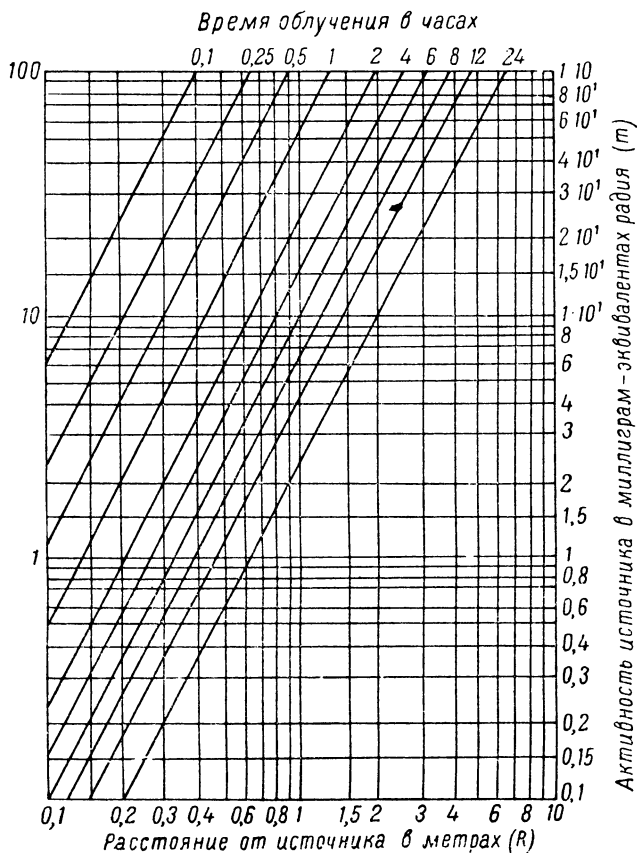


Рис. 53. Номограмма для вычисления допустимого времени облучения при работе с гамма-излучателями.

пами, испускающими бета-частицы и гамма-кванты, можно пользоваться нижеприводимыми номограммой (рис. 53) и таблицей 65.

Характеристика радиоактивных изотопов перспективных для применения в почвенно-мелиоративных исследованиях

Изотоп	Период полураспада	Энергия излучения (Мэв)		Длина мак- симального пробега бе- та-частиц в алюминии и стекле	Активность, 1 мкюри (в мг-экв. радия)
		бета-ча- стиц	гамма- квантов		
Бета-излучатели					
H ³	12,4 года	0,018	—	0,003	—
C ¹⁴	5568 лет	0,155	—	0,10	—
P ³²	14,3 дня	2,708	—	2,90	—
S ³⁵	87,1 дня	0,167	—	0,12	—
Cl ³⁶	4,4 · 10 ⁵ лет	0,714	—	0,93	—
Ca ⁴⁵	152 дня	0,250	—	0,22	—
Sr ⁸⁹	53 дня	1,463	—	2,40	—
Бета-гамма-излучатели					
Na ²²	2,6 года	0,542	1,28	0,66	1,49
Co ⁶⁰	5,27 года	0,306	1,17 и 1,33	0,28	1,57
Zn ⁶⁵	250 дней	0,325	1,12	0,31	0,34
Pb ⁸⁶	19,5 дня	1,820	1,08	3,11	0,06
I ¹³¹	8,1 дня	0,608	0,36	0,78	0,27
Cs ¹³⁷	33 года	0,523	0,66	0,63	0,42
Ty ¹⁷⁰	129 дней	0,968	0,08	1,45	0,004

Глава XV

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОНОЛИТОВ И ИХ МЕЛИОРАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. ЧТЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОЧВЕННЫХ КАРТ

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОНОЛИТОВ И ИХ МЕЛИОРАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Занятие имеет целью познакомить студентов с основными приемами морфологической характеристики почв, с основными типами почв, важными в мелиоративном отношении, и с простейшими мелиоративными показателями этих почв.

Для работы берут монолиты основных почвенных типов, важных в мелиоративном отношении: торфяников, дерново-глеевых, подзолисто-глеевых, дерново-подзолистых, черноземных, каштановых, сероземных, солонцовых и солончаковых почв. По каждому монолиту выявляют строение почвы по генетическим горизонтам и затем проводят подробное описание генетических горизонтов. На этой основе устанавливают тип почвы. Одновременно для получения дополнительных мелиоративных характеристик проводят ряд качественных аналитических проб по всем генетическим горизонтам.

Проба на присутствие закисных соединений. Кусочек почвы кладут на фильтровальную бумагу и смачивают 10-процентной соляной кислотой, на бумаге получается мокрое пятно. Рядом с этим пятном наносят каплю раствора железосинеродистого калия, в месте соприкосновения пятен наблюдают интенсивность синего окрашивания (если таковое возникает) и отмечают: нет — слабо — сильно.

Пробу на рН производят обычным образом, с универсальным индикатором; только навески и воду берут без веса (приблизительно) в пробирку.

Пробу на присутствие карбонатов (CaCO_3) осуществляют непосредственно на монолите. Для этого вносят каплю 10-процентной HCl , наблюдают вскипание и при наличии его отмечают: нет — слабо — сильно.

Пробу на хлористые соли делают, как обычно, в водной вытяжке, приготовленной (без веса) в пробирке и профильтрованной через маленький фильтр в другую пробирку. Фильтрат подкисляют раствором азотной кислоты и прибавляют к нему каплю раствора азотно-кислого серебра. Количественно отмечают: нет — слабая муть — сильная муть — осадок — обильный осадок.

На основании полученных данных выписывают мелиоративные показатели и делают заключение о необходимых мелиоративных воздействиях.

Форма для морфологического описания монолитов

Группа № . . .
Фамилия, имя, отчество
Монолит № . . .

I. Схема морфологического строения монолита.

Нарисовать схему строения монолита и разбить его на генетические горизонты: $A_0, A_1, A_2 \dots B_1, B_2, B_3 \dots BC, C_1, C_2$ и т. д.

Сделать описание горизонтов по нижеприводимой последовательности.

Г о р и з о н т (А, В и т. д.).

М о щ н о с т ь (в см).

Ц в е т (черный, темно-серый, светло-серый, темно-бурый, светло-бурый и др.).

С л о ж е н и е (плотное, рыхлое и т. д.).

С т р у к т у р а (комковатая, зернистая, ореховатая, пороховидная, плитчатая, столбчатая, чешуйчатая, бесструктурность и др.).

В к л ю ч е н и я (обломки горных пород, галька, черепки, ракушки, валуны и т. п.).

Н о в о о б р а з о в а н и я (известковые стяжения, выцветы хлористых и сернокислых солей, бобовины, ортштейны и др.).

Д р у г и е п р и з н а к и (кротовины, ходы червей, трещины и т. д.).

М е х а н и ч е с к и й с о с т а в: глина, суглинок (тяжелый, средний, легкий), супесь, песок.

В с к и п а н и е от HCl (нет, сильное, среднее, слабое).

Начинается на глубине (в см).

II. Название почвы на основе вышеуказанных признаков (указывается название почвы).

III. Мелиоративные признаки для почв, требующих осушительных мелиораций.

а) С т е п е н ь о т о р ф о в а н и я (сильная, средняя, слабая); мощность торфа... (в см).

б) С т е п е н ь р а з л о ж е н и я т о р ф а (сильная, средняя, мало разложившийся торф).

в) Степень оглеения почвы по горизонтам: Горизонт А — сильное, среднее, слабое

В
С

г) Пробы на закисные соединения: Горизонт А -- нет, слабо, сильно

В
С

д) Величины рН:

Горизонт А
В
С

е) Наличие водонепроницаемых прослоек: орштейновых, глинистых и др.; их глубина и мощность.

IV. Мелиоративные признаки для почв, требующих оросительных мелиораций.

а) Показатели водных свойств: механический и агрегатный состав, структурность, слоистость и однородность.

б) Наличие воднорастворимых солей по горизонтам и глубинам; глубины залегания хлоридов (качественные пробы).

в) Наличие солонцовых горизонтов.

V. Заключение о необходимой мелиорации.

Указывается сущность необходимых мелиоративных мероприятий для повышения плодородия данного типа почвы.

ЧТЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОЧВЕННЫХ КАРТ

Почвенная карта является одним из основных документов, на основе которого осуществляют как проектирование, так и эксплуатацию мелиоративных систем. Поэтому уметь читать и анализировать почвенную карту необходимо каждому инженеру-гидротехнику. Данное занятие имеет целью:

1) познакомить студентов с почвенными картами различных масштабов, научить читать и анализировать их;

2) познакомить с основными геоморфологическими и топографическими закономерностями распределения почв в природе;

3) познакомить с методом составления мелиоративной характеристики почв и основами почвенно-мелиоративного районирования.

В качестве материала для работы берут почвенные карты различных районов, интересных в мелиоративном отноше-

нии. Например, из лесотундровой, лугово-степной, сухо-степной и пустынно-степной зон.

Желательный масштаб карт — от 1 : 10 000 до 1 : 25 000.

На каждой карте заранее проводят один или два продольных профиля, пересекающих основные геоморфологические и топографические элементы районов и, следовательно, важнейшие почвенные разности.

Получив карту, необходимо прежде всего освоить экспликацию в части основных группировок имеющихся почв по типам, подтипам, группам или разновидностям.

Например, на карте участка Савинской опытно-мелиоративной станции в Заволжье (рис. 54) выделены: группа каштановых почв, группа солонцовых почв и группа темноцветных почв типа южного чернозема.

По этим основным группировкам на почвенной карте устанавливают связь их с основными геоморфологическими и топографическими элементами района, например группа вариантов пойменных почв, высоких террас, затем склонов водораздела и, наконец, плато водораздела.

Если в данном районе резко выражена смена почвообразующих пород, то это может вызвать выделение особой группы почв, по своему положению не увязывающихся с общей геоморфологией и топографией. Это обстоятельство должно быть учтено при анализе карты.

Разобравшись и записав общую схему закономерной связи почв с геоморфологией участка, следует уяснить, какие почвы слагают каждую из выделенных геоморфологических областей и насколько закономерно почвенные варианты связаны с местными топографическими условиями в пределах этой области.

После этого переходят к анализу намеченного на карте профиля. Для этого прежде всего на клетчатой бумаге или миллиметровке вычерчивают высотный профиль поверхности земли. Горизонтальный масштаб берут соответствующий масштабу карты, а вертикальный — произвольный, но такой, чтобы разница уровней отдельных участков профиля была выявлена вполне наглядно и резко.

Если на карте имеются горизонтالي, то высоты берут прямо по ним; если же горизонталей нет (что часто бывает на почвенных картах), то профиль строят в условных отметках по общей физико-географической обстановке данного района и характеру почвенного покрова (здесь необходима некоторая помощь руководителя занятия).

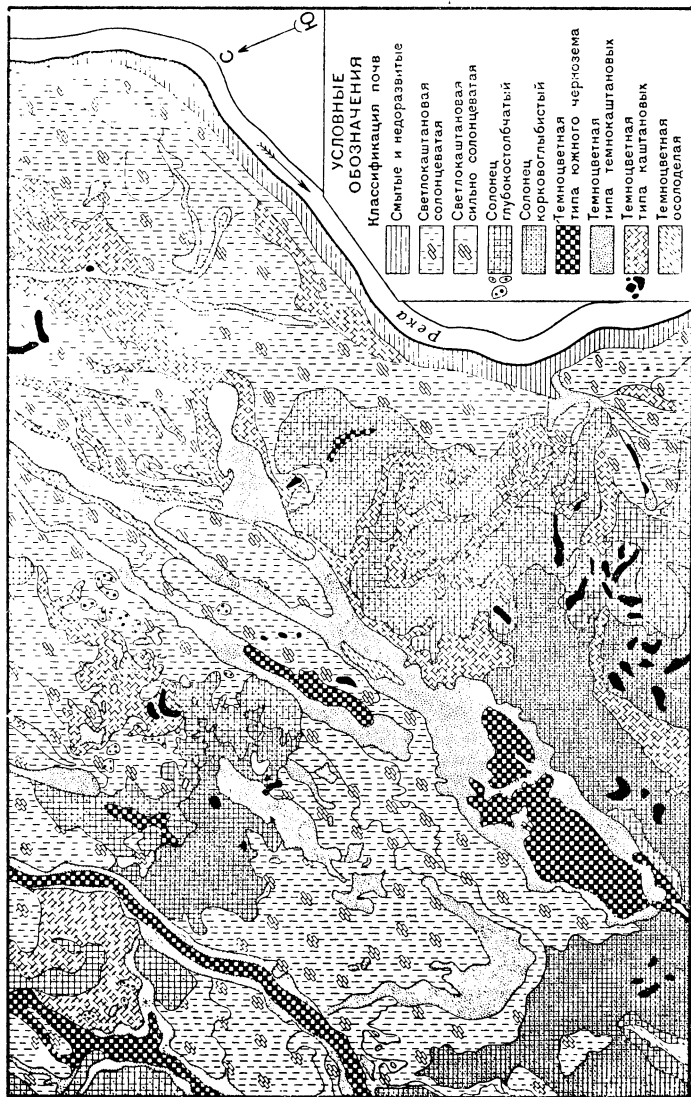


Рис. 54. Схематическая почвенная карта Савинской опытно-мелиоративной станции.

На проведенном профиле в принятом вертикальном масштабе наносят линию уровня грунтовых вод и одновременно отмечают общий характер водоносного горизонта (например, галечник, суглинок, пестрая аллювиальная свита и т. д.). Эту линию строят или по данным гидрогеологической карты, или по указанию легенды почвенной карты. Если ни того, ни другого нет, то глубины и характер водоносного горизонта должны быть взяты по соображению общей физико-географической обстановки, геоморфологического строения района и почвенного покрова (здесь вновь потребуется помощь руководителя).

Очертив таким образом почвенную толщу и подстилающие ее породы, весь профиль разбивают вертикальными линиями на участки, занятые индивидуальными почвенными разностями, соответственно контурам почвенной карты. Наименование этих участков переносят из легенды.

Для каждого участка строят в виде вертикальной колонки подробный морфологический профиль данной почвы. Это последнее построение следует начинать с почвенных разностей, наиболее типичных генетически для данного района, а уже потом строить профили для промежуточных разностей.

Так, например, для комплексного почвенного покрова, представленного в основном каштановыми почвами и солонцами, следует сначала построить профили каштановой почвы и солонцов, а затем уже для промежуточных — солонцеватых и темноцветных западных. При составлении морфологического профиля следует пользоваться легендой почвенной карты и типовыми морфологическими профилями основных типов, которые в виде схематических графиков должны быть вывешены в лаборатории.

Студент не просто переносит эти типовые схемы на почвенный профиль, а модифицирует их в соответствии с экспликацией карты. Так, например, если в качестве типовых схем даны морфологические профили солонца и каштановой почвы, а в экспликации карты имеются почвы, обозначенные как «солонцеватые каштановые», то в графике это промежуточное положение данной почвы и должно быть отражено.

На морфологическом профиле обязательно должны быть отмечены важнейшие мелиоративные показатели, которые обычно могут быть зарегистрированы при морфологическом описании как визуально, так и путем качественных проб

(оглеение, закисные соединения, горизонты карбонатов, хлоридов, сульфатов и пр.).

После вычерчивания морфологических профилей к некоторым из них (важнейшим) здесь же рядом вычерчивают профили главных мелиоративных показателей в условном (относительном) масштабе. Например, для дерново-подзолистых почв вычерчивают в виде кривой график распределения по горизонтам величины рН, график механического состава и коэффициента фильтрации; для солонцевой почвы — график распределения по горизонтам поглощенного натрия, воднорастворимых солей и коэффициента фильтрации.

Вспомогательным материалом для вычерчивания этих графиков (так же, как и для вычерчивания морфологических профилей) служат типовые графики мелиоративных характеристик разных типов почв, которые должны быть вывешены в лаборатории для общего пользования. После окончания этой работы, когда характер каждой почвенной разности, обозначенной на карте, станет более или менее ясным, все эти разности сводят в общие мелиоративные группы по признаку общности требующихся мелиоративных воздействий.

Так, на картах северных областей (рис. 55) дерново-подзолистой зоны, почвы которых требуют в основном осушительных мелиораций, выделяют следующие группы почв:

1) почвы, не имеющие признаков заболачивания и, следовательно, не нуждающиеся в осушительных мелиорациях;

2) почвы с признаками заболачивания и, следовательно, требующие тех или иных мелиоративных воздействий.

Вторая группа подразделяется на подгруппы:

а) почвы торфяные и б) почвы минеральные заболоченные.

Каждая из этих подгрупп подразделяется, в свою очередь, по признаку источника заболачивания на три класса:

почвы поверхностного заболачивания, следовательно, требующие в первую очередь регулирования поверхностного стока;

почвы грунтового водного питания, требующие регулирования внутреннего стока; выделение напорного и безнапорного грунтового питания возможно только при наличии специальных данных;

2) почвы засоленные, требующие, кроме орошения, дополнительных мероприятий по удалению солей (промывки);

3) почвы солонцовые, требующие гипсования и промывок.

Почвы засоленные можно подразделять на две подгруппы:

слабо засоленные, допускающие культуру сельскохозяйственных растений, с суммарным содержанием солей до 0,5—1,0% от веса сухой почвы, в зависимости от их состава;

сильно засоленные и солончаки, требующие предварительных промывок.

В солонцовых почвах выделяют четыре подгруппы: несолонцеватые почвы, с количеством поглощенного натрия не более 5% от емкости поглощения;

слабосолонцеватые почвы, с количеством поглощенного натрия 5—10% от емкости;

солонцеватые почвы с количеством поглощенного натрия более 10—20% от емкости;

солонцы — содержание поглощенного натрия более 20%.

На этом упражнение заканчивается; однако для окончательного мелиоративного районирования необходимо еще оценить каждый контур почв с точки зрения будущего, после орошения, водно-солевого баланса, для того чтобы предупредить возможность развития процессов заболачивания и солонцеватости. Эта задача решается в каждом частном случае на основе конкретного проектирования мелиоративной системы.

Глава XVI

ПОЛЕВАЯ УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА ПО ПОЧВОВЕДЕНИЮ¹

Задачи полевой учебной практики состоят в том, чтобы научить студентов разбираться в поле в основных закономерностях залегания различных почвенных типов и разностей в зависимости от геоморфологических и топографических условий и на этой основе составлять схематическую почвенную карту; научить их выявлять в поле на почвенном разрезе основные генетические и мелиоративные признаки почвы.

Занятия проводят на участке площадью 100—300 га, для которого имеется топографическая карта с горизонталями масштаба 1 : 2000—1 : 10 000, участок должен включать в себя по возможности различные геоморфологические и топографические элементы и, следовательно, различные почвы, характерные для данной области или зоны и важные в мелиоративном отношении.

В лесной зоне желательно охватить различные варианты подзолов, дерново-подзолистых, дерновых и болотных почв.

В лугово-степной, сухостепной и пустынно-степной зонах следует показать, кроме типичных зональных почв, почвы солонцового и солончакового типов.

Соответственно этому участок обычно располагают поперек горизонталей, от водораздела по склону к пойме или к местному эрозионному базису.

¹ В соответствии с учебным планом занятия рассчитаны на 3—4 рабочих дня. Ввиду того, что полевая практика в различных высших учебных заведениях, в зависимости от местных условий, может несколько видоизменяться как по своему содержанию, так и по организационным формам, данный раздел излагается в обобщенной форме, устанавливающей лишь основное содержание упражнений, которое желательно выдержать во всех случаях.

Желательно, чтобы один экземпляр топографической карты приходился на каждое звено студентов в 3—5 человек.

Перед выходом в поле руководитель кратко анализирует перед всей группой общую карту района и положение на ней выбранного участка; затем характеризует гидрогеологические условия и указывает основные геоморфологические и топографические элементы этого участка.

В соответствии с этим здесь же намечается положение основных почвенных разрезов и почвенных профилей, необходимых для выявления почвенного покрова участка.

Точки этих разрезов каждое звено отмечает на своих планшетах.

После этого группа идет в поле, забрав с собой весь необходимый инвентарь (планшет, дневник, лопаты, буры, реактивы и пр.).

В поле руководитель обходит с группой весь участок, на месте анализирует и сличает с картой геоморфологию, топографию и окончательно устанавливает место закладки необходимых почвенных разрезов. Все эти разрезы распределяются между отдельными звеньями, по 1—2 разреза на звено.

Каждое звено закладывает нормальный почвенный разрез — прямоугольную яму размером не менее 70 см шириной, около 1,5—2,0 м длиной и 1,0—1,5 м глубиной. Разрез ориентируют таким образом, чтобы рабочая сторона его была вертикальной и имела прямое солнечное освещение. Противоположную сторону делают ступенчатой, с таким расчетом, чтобы нижняя площадка (дно разреза) была длиной не менее 70 см. На дне в дальнейшем делают буровую скважину по возможности до уровня грунтовой воды или, по крайней мере, на 1—2 м ниже дна разреза.

Длинные боковые стенки разреза делают вертикальными (рис. 56). При копке разреза землю нужно выбрасывать только на стороны; переднюю стенку оставляют совершенно чистой, так как по ней производят все измерения и описания.

Закончив копку разреза, звено производит по его передней стенке подробное морфологическое описание в дневнике и устанавливает тип почвы.

При морфологическом описании особое внимание необходимо обращать на признаки, важные в мелиоративном отношении, а именно механический и агрегатный со-

став горизонтов, трещиноватость их, степень оторфованния, оглеения, развития ортштейнов (в подзолисто-болотной зоне), выцветы солей, карбонатность, солонцовые горизонты и их характер (в степной зоне) и пр.

После окончания морфологического описания определяют распределение влажности по профилю почвы от ее верхнего горизонта и, если возможно, до уровня грунтовой воды или, по крайней мере, на 1—2 м ниже дна разреза.

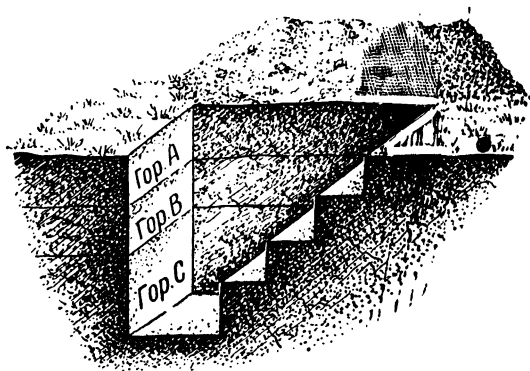


Рис. 56. Почвенный разрез.

Если проходима буром толща почвы морфологически более или менее однородна, то образцы на влажность берут непосредственно из нижнего конца бура через каждые 20—30 см. Если же встречаются ясно различимые горизонты (например, по механическому составу), то пробы берут из каждого такого горизонта. Взятые пробы хранят в поле в течение рабочего дня в закрытых алюминиевых стаканчиках в деревянном ящике (чемодане) и в конце дня переносят в лабораторию, где их взвешивают и ставят сушить. Цель определения влажности по горизонтам почвы заключается в том, чтобы установить роль капиллярных токов грунтовой воды в режиме влажности почвы.

По окончании этой работы проводят качественные определения на закисные соединения, вскипание от HCl , содержание Cl' и выявляют рН и др. Все эти определения делают так, как они проводились в лаборатории; получаемые показатели записывают в дневник. На этом первый цикл работ каждого звена на своем основном разрезе заканчивается.

После этого каждое звено обходит готовые разрезы других звеньев и проводит их морфологическое описание со всеми полагающимися качественными химическими реакциями. Если позволяют условия, то на 1—2 разрезах, наиболее резко отличающихся от основного, производят также определение объемного веса и влажности почвы.

Закончив описание всех разрезов, каждое звено намечает на своем планшете схему расположения на участке почвенных разностей, т. е. составляет схематическую почвенную карту. Для уточнения границ выделяемых почвенных разностей делают необходимое количество прикопок (т. е. почвенных разрезов глубиной 40—50 см), а также ориентируются по изменениям состава растительности.

После составления карты звено возвращается к своему основному разрезу для определения скорости впитывания воды по горизонтам и величинам предельной влагоемкости почвы.

Определение скорости впитывания воды. Скорость впитывания воды в каждом разрезе желательно определить не менее чем в трех горизонтах: например, для дерново-подзолистой почвы в перегнойном горизонте, подзолистом и иллювиальном (ортштейновом), для солонцевой почвы в горизонте А, солонцеватом горизонте В и т. д. Самый опыт по впитыванию воды проводят следующим образом.

Одну из стенок разреза делают ступенчатой, с глубиной ступеней, соответствующей выбранным для опыта горизонтам. На обнаженных таким образом трех площадках врезают на глубину 5 см по два латунных цилиндра диаметром 5 см и высотой 10 см. В цилиндрах создают напор воды 4 см посредством, например, градуированного цилиндра объемом 150 мл, служащего в качестве сосуда Мариотта (рис. 57).

По понижению горизонта воды в цилиндре за определенный промежуток времени (для легких почв через каждые 5 мин. и для тяжелых через 10—15 мин.) учитывают расход на впитывание и рассчитывают скорость поступления воды в почву по формуле:

$$v = \frac{Q}{St} \text{ см/мин,}$$

где Q — общий расход (в см^3);

t — время (в мин.);

S — площадь цилиндра (в см^2).

Таких замеров нужно сделать в каждом горизонте не менее 5—6, чтобы можно было по полученным данным построить кривые впитывания воды по каждому горизонту.

Определение предельной влагоемкости почвы. Опыт проводят каждое звено на площади, непосредственно примыкающей к его основному почвенному разрезу. Глубину расчетного слоя почвы следует брать не менее 50 см, а в условиях орошения 1 м.

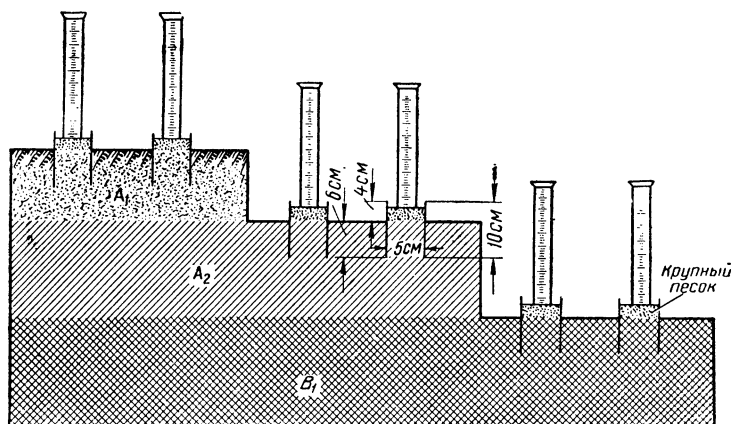


Рис. 57. Схема установки для изучения скорости впитывания воды в почву.

Опыт проводится следующим образом: квадратную рамку площадью 1 м^2 (деревянную или из листового железа), с высотой стенок около 20 см, врезают на выбранной площадке в почву на глубину 5—10 см таким образом, чтобы под рамку не могла подтекать вода. Кругом всей рамы, на расстоянии 30—50 см от нее, делают земляной утрамбованный валик высотой около 20 см, чем создают защитную полосу. Землю для валика берут с наружной его стороны.

В условиях орошаемого поля рекомендуется брать опытную площадку не менее $2\text{—}3 \text{ м}^2$ и защитную полосу огораживать на расстоянии 1 м от основной площадки. В этих условиях вместо деревянной рамы может быть сделан также земляной валик.

Из результатов определения влажности и скважности изученного перед этим разреза рассчитывают суммарный

объем пор и воды в слое почвы, предельную влагоемкость которого нужно определить. По разности между скважностью и влажностью определяется объем воды, необходимой для заполнения всех свободных пор расчетного слоя почвы. Этот объем воды и дается одновременно как на опытную площадку, так и на защитную полосу.

Как только вода на площадке впитается, поверхность ее немедленно закрывают соломой или другим рыхлым материалом для уменьшения испарения и оставляют в таком виде на срок, необходимый для стекания из расчетного слоя почвы избыточной воды и установления в нем равновесного состояния влажности, соответствующего предельной влагоемкости. Практически равновесие наступает обычно не ранее чем за 3—5 дней; когда опыт ставится в учебных целях, срок этот может быть принят меньшим (но не менее одних суток).

По истечении принятого срока в центре площадки по генетическим горизонтам и глубинам, соответствующим и изучавшимся в основном разрезе, буром берут пробы на влажность и таким образом устанавливают величину предельной влагоемкости расчетного слоя данного типа почвы. По полученным цифрам строят график предельной влагоемкости.

Из полученных данных для отдельных горизонтов почвы и для всего расчетного слоя вычисляют величину водоотдачи как разницу между величиной порозности почвы и ее предельной влагоемкости.

Очевидно, эта же величина характеризует собой степень аэрации при влажности ее, соответствующей предельной влагоемкости.

Оформление материалов. В результате проделанных работ студенты (по звеньям) сдают следующие материалы; 1) дневник морфологических описаний разрезов; 2) почвенную карту участка; 3) один из почвенных профилей участка с указанием на нем уровней залегания грунтовых вод и схем строения почвенных разностей; 4) данные мелиоративных показателей по основному разрезу: рН, количество солей, степень оглеения, порозность, водопроницаемость, предельная влагоемкость и водоотдача.

Экскурсия. Последний день учебной практики желательно посвятить экскурсии по району.

Цель экскурсии заключается в том, чтобы познакомить студентов более широко, чем это было возможно на локальном участке,

с типами почв района и закономерностями их распределения по геоморфологическим и топографическим элементам.

Так, например, в лесо-луговой зоне следует познакомить студентов с закономерностями расположения различных вариантов дерново-подзолистых почв (подзолы водоразделов и дерново-подзолистые почвы склонов), переходами подзолистых почв в дерново-подзолисто-глеевые и торфяно-подзолистые почвы и др.

На пойме следует выявить основные элементы ее строения: притеррасную часть, приусловую и центральную поймы.

Если на пойме есть болота, то необходимо обратить внимание на условия их питания: притеррасное грунтовое, напорное, низинное грунтовое и пр. Здесь же следует охарактеризовать торфяную толщу зондировкой буром Гиллера и определить степень разложения торфа по Вальгрёну.

При экскурсии на верховое болото анализируются условия его образования как болота атмосферного питания, зондировкой характеризуют мощность и строение торфа и прослеживают связь этого типа болота с подзолообразовательным процессом. При посещении зарастающих водных бассейнов анализируют зоны зарастания, характер формирующихся здесь торфов, накопление на дне иловатых органических масс (сапропелиты) и пр.

В степной зоне при экскурсии следует обратить особое внимание на условия развития солонцовых и солончаковых почв.

При каждой экскурсии желательно посетить интересные мелиоративные устройства (например, разные типы осушения, обвалования, дренажи при орошении, водохранилища и пр.) и разобраться во влиянии этих устройств на изменение природных свойств почв.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Астапов С. В. и Спенглер В. В. Предупреждение и борьба с засолением и заболачиванием орошаемых земель. Сельхозгиз, М., 1956.

Андрианов П. И. Теплота смачивания и удельная поверхность почв. Изд. ВАСХНИЛ, 1937.

Астапов С. В. Промывка засоленных земель. Сельхозгиз, М., 1943.

Бибергель А. В., У. Я. Маргулис, Е. И. Воробьев. Защита от рентгеновских и гаммалучей. Медгиз, М., 1955.

Биндеман Н. Н. Методы определения водопроницаемости горных пород откачками, поливами и нагнетаниями. Углетехиздат, М., 1951.

Брудастов А. Д. Осушение минеральных и болотных земель. Сельхозгиз, 1955.

Будаговский А. И. Впитывание воды в почву. АН СССР, М., 1955.

Васильев А. М. Исследование физических свойств почвы. Кишинев, 1952.

Васильев А. М. Основы расчета скорости осаждения грунтовых частиц в жидкости. ОНТИ, М.—Л., 1936.

Виленский Д. Г. Почвоведение. Учпедгиз, М., 1951.

Вильямс В. Р. Естественнo-исторические основы луговодства. «Новая деревня», 1922.

Гедройц К. К. Химический анализ почв. Избранные сочинения, т. II. Сельхозгиз, М., 1955.

Гусев Н. Г. Справочник по радиоактивным излучениям и защите. Медгиз, М., 1956.

Денисов Н. Я. К методике определения водопроницаемости неводоносных грунтов путем инфильтрации из шурфов. Ростов, Облгиз, 1936.

Докторовский В. С. Торфяные болота. Научно-техническое издательство, М., 1932.

Долгов С. И. Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. АН СССР, М.—Л., 1948.

Домрачева Е. А. Физико-механический и химический анализ почв. Сельхозгиз, М., 1939.

Земятченский П. А. Глины СССР. Изд. АН СССР, 1935.

Израэльсон О. Научные основы и практика орошения. Перевод с английского. Сельхозгиз, М., 1936.

Качинский Н. А. О влажности почвы и методах ее изучения. Сельхозгиз, М., 1927.

Качинский Н. А. Методы механического и микроагрегатного анализа почвы. АН СССР, М., 1943.

Карпинский А. А. Определение коэффициента фильтрации рыхлых пород. ОНТИ, М., 1932.

Ковда В. А. Солончаки и солонцы. АН СССР, М.—Л., 1937.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. АН СССР, М.—Л., 1946—1947.

Костяков А. Н. Основы мелиорации. Сельхозгиз, М., 1951.

Л и т в и н о в И. М. Исследование грунтов в полевых условиях. Углетехиздат., М., 1951.

Л о м т а д з е В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеол-издат., М., 1952.

Л э п п Р. Е. и Э н д р ю с Г. Л. Физика ядерного излучения. Воениздат, М., 1956.

Л е б е д е в А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. АН СССР, М., 1936.

О н о ш к о Б. Д. Культура болот. Сельхозгиз, М., 1934.

О н о ш к о Б. Д. Болотоведение. Сельхозгиз, М., 1931.

П е т е р б у р г с к и й А. В. Практикум по агрохимии. Сельхозгиз, М., 1954.

Применение радиоактивных изотопов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Доклады иностранных ученых на международной конференции по мирному использованию атомной энергии. АН СССР, М., 1956.

П р и к л о н с к и й В. А. Грунтоведение, ч. I. Госгеол-издат, М., 1949, ч. II, М., 1951.

Применение изотопов в агрохимических и почвенных исследованиях АН СССР, М., 1955.

Р о д е А. А. Водные свойства почв и грунтов. АН СССР, М., 1955.

Р о д е А. А. Почвенная влага. АН СССР, М., 1952.

Р о з о в Л. П. Мелиоративное почвоведение. Сельхозгиз, М., 1956.

С п и ц ы н В. И., К о д о ч и г о в П. Н. и др. Методы работы с применением радиоактивных индикаторов. АН СССР, М., 1955.

С о к о л о в с к и й А. Н. Сельскохозяйственное почвоведение. Сельхозгиз, М., 1956.

С о к о л о в с к и й А. Н. Борьба с фильтрацией осолонцеванием грунтов при постройке водоемов. Сельхозгиз, М., 1952.

С а д о в н и к о в И. Ф. Почвенные исследования и составление почвенных карт. Сельхозгиз, М., 1953.

С а в в и н о в Н. И. Структура почвы и ее прочность на целине, перелог и старопахотных участках. ВАСХНИЛ, Ин-т агропочвоведения, 1931.

С е р г е е в Е. М. Общее грунтоведение. Изд. Московского университета, М., 1952.

С у к а ч е в В. Н. Болота, их образование, развитие и свойства. Ленлесинститут, Л., 1926.

С а в а р е н с к и й Ф. П. Гидрогеология. ОНТИ, М.—Л., 1935.

Современные методы исследования физико-химических свойств почв, вып. I. АН СССР, М.—Л., 1945; вып. 2, М.—Л., 1947; вып. 3, М.—Л., 1947.

Т ю р е м н о в С. И. Торфяные месторождения. Гостоптехиздат, М., 1940.

Ч е р к а с о в А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Сельхозгиз, М., 1950.

Ш и ш к о в К. Н. Сельскохозяйственное использование осушенных болот. Сельхозгиз, М., 1955.

B a v e r L. D. Soil phgjes. New-York, 1956.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Глава I. Механический, микроагрегатный и структурный анализы почвы	5
Механический анализ почвы методом пипетки	7
Сифонный метод механического анализа почвы	21
Упрощенный метод механического анализа суглинистых и глинистых почв (по Рутковскому)	26
Визуальное определение механического состава почвы	27
Микроагрегатный анализ почвы методом пипетки	29
Структурный анализ почвы по методу Н. И. Саввинова	36
Исследование структуры пахотного слоя почвы в полевых условиях методом водопроницаемости	39
Расчет гранулометрических показателей	42
Глава II. Влажность почвы и методы ее измерения	47
Задачи изучения влажности почвы	47
Изучение полевой влажности почвы	51
Методы определения влажности почвы	53
Метод высушивания	55
Пикнометрический метод	59
Карбидный метод	60
Спиртовой метод	62
Электрометрический метод	63
Упрощенные методы	68
Глава III. Определение объемного, удельного весов и скважности почвы	73
Определение объемного веса почвы	73
Метод режущего кольца	73
Метод цилиндров	74
Взятие проб почвы из шурфов для определения объемного веса ее	75
Определение объемного веса и влажности почвы плотномером-влажномером УкрДОРНИИ	79
Определение объемного веса почвы методом парафинирования	81
Определение объемного веса почвы методом вытеснения ртути	82

Определение удельного веса почвы	83
Расчет скважности почвы	86
Определение эффективных размеров почвенных пор	87
Глава IV. Предельная влагоемкость почвы, максимальная молекулярная влагоемкость и максимальная гигроскопичность почвы	96
Предельная влагоемкость почвы	96
Определение предельной влагоемкости почвы методом насыпных колонн	96
Определение предельной влагоемкости почвы методом монолитов	98
Определение предельной влагоемкости почвы в полевых условиях	103
Определение максимальной молекулярной влагоемкости почвы по методу А. Ф. Лебедева	108
Максимальная гигроскопичность почвы	110
Определение максимальной гигроскопичности методом А. В. Николаева	110
Определение максимальной гигроскопичности методом Митчерлиха	111
Определение максимальной гигроскопичности методом В. А. Францессона	113
Определение коэффициента завядания растений методом проростков	114
Определение эквивалентной влажности почвы	117
Глава V. Водопроницаемость почвы	120
Впитывание и фильтрация воды в несвязной почве нарушенного сложения	121
Впитывание и фильтрация воды в связной почве ненарушенного сложения	125
Определение коэффициента фильтрации трубкой Спецгео	126
Определение скорости впитывания воды и контуров промачивания почвы в полевых условиях	128
Определение коэффициента фильтрации почв в полевых условиях	137
Метод откачки из скважины (по Н. Н. Биндеману)	137
Метод налива в скважины	142
Метод заполнения скважины водой	143
Глава VI. Характеристика капиллярных свойств почвы	150
Определение капиллярных свойств почвы в лабораторных условиях	150
Определение высоты капиллярного поднятия при помощи капилляриметра	153
Определение капиллярных свойств почвы в полевых условиях	156
Глава VII. Измерение всасывающей способности почвы и определение pF воды в почве	160
Измерение всасывающей способности почвы	160
Определение влажности почвы тензиометром К. Н. Шишкова	167

Определение тензиометром промачивания почвы при различных способах полива и момента капиллярного насыщения почвы	172
Определение pF воды в почве	173
Глава VIII. Определение теплоты смачивания, пластичности почвы и просадочности грунтов	181
Определение теплоты смачивания почвы по методу П. И. Андрианова	181
Определение пластичности почвы	185
Определение нижней границы (предела) текучести почвы (по методу А. М. Васильева)	187
Определение нижней границы пластичности почвы	188
Определение просадочности грунтов	190
Глава IX. Определение воднорастворимых солей в почве	198
Анализ водной вытяжки по методу К. К. Гедройца	198
Комплексометрический метод	209
Определение суммы ионов Са и Mg	210
Определение ионов кальция	211
Определение ионов магния	212
Определение ионов SO_4	213
Вычисление количества ионов натрия	215
Определение реакции почвенного раствора	217
Глава X. Поглощающий комплекс почвы, коагуляция суспензий, промывка солончаков, искусственное солонцевание почвы	222
Поглощающий комплекс почвы	222
Определение поглощенного кальция	222
Определение обменного иона натрия по К. К. Гедройцу	223
Определение емкости поглощения по К. К. Гедройцу	225
Коагуляция почвенных суспензий под влиянием электролитов	226
Промывка натриевого и кальциевого солончака	229
Искусственное солонцевание почвы	232
Глава XI. Солевой режим почвы, определение критического уровня грунтовых вод и промывка засоленных почв	236
Изучение солевого режима почвы	236
1. Количественная и качественная характеристика имеющихся в почве солей и их динамика	236
2. Влияние солей на почву и почвенные процессы	238
3. Значение солей для растительности	240
Определение критического уровня грунтовых вод	241
Промывка засоленных почв	245
Глава XII. Исследование торфяных почв	254
Характеристика болот и видов торфа	254
Образование и развитие болот и видов торфа	255
Ботанический анализ торфа	257
Определение степени разложения торфа	259
Физические свойства торфяных почв	262
Тепловые свойства торфяных почв	262

Объемная усадка торфа	264
Распыление торфяных почв	265
Определение объемного веса торфа	265
Определение удельного веса торфа	267
Сквозность, или порозность, торфа	267
Водные свойства торфяных почв	268
Максимальная гигроскопическая влажность и максимальная молекулярная влагосемкость торфяных почв	270
Доступность воды торфяных почв растениям	271
Высота капиллярного поднятия воды в торфяных почвах	272
Определение скорости впитывания воды на торфяных почвах	272
Водоотдача торфяных грунтов	273
Определение коэффициента фильтрации торфа	273
Испарение с поверхности торфяных почв	276
Агрохимические свойства торфяных почв	276
Определение влажности торфа весовым методом с сушкой в термостате	276
Колориметрический метод определения кислотности торфяных и заболоченных почв	277
Определение подвижной фосфорной кислоты, нитратов, нитритов в вытяжке по методу Кирсанова	279
Глава XIII. Почвенно-мелиоративные исследования для обоснования схем оросительных и осушительных мелиораций	284
Задачи и состав почвенно-мелиоративных исследований	284
Методика почвенно-мелиоративных исследований	293
Мелиоративная характеристика почв и почвообразующих пород	300
Глава XIV. Методы радиоактивных излучений и индикаторов в почвенно-мелиоративных исследованиях	304
Радиоактивный распад и свойства радиоактивных излучений	305
Регистрация (измерение) радиоактивных излучений	312
Применение гаммаскопии	316
Определение запасов влаги в почве	316
Определение коэффициента μ_{H_2O}	321
Измерение испарения влаги из почвы	321
Измерение водяного эквивалента снежного покрова	322
Определение плотности (объемного веса) почвы гамма-лучами	324
Определение мутности воды и плотности ила	328
Применение нейтронов	329
Применение радиоактивных индикаторов	331
Техника безопасности при работе с радиоизотопами	337
Глава XV. Морфологическое описание монолитов, их мелиоративная характеристика. Чтение и анализ почвенных карт	346
Морфологическое описание монолитов и их мелиоративная характеристика	346
Чтение и анализ почвенных карт	348
Глава XVI. Полевая учебная практика по почвоведению	355

Астапов Сергей Васильевич

Мелиоративное почвоведение (практикум)

Редактор *Б. И. Плешков.*

Художник *Л. Г. Ларский.*

Художественный редактор *Н. М. Хохрина.*

Технический редактор *А. И. Баллод.*

Корректор *М. Н. Перкус*



Сдано в набор 24/V 1958 г. Подписано к печати 29/IX 1958 г. Т08790. Формат 84×108¹/₃₂. Печ. л. 23 (18,86). Уч.-изд. л. 19,49. Изд. № 18. Тираж 6000 экз. Заказ № 267. Цена 6 р. 35 к.



Сельхозгиз, Москва, Б-66, 1-й Басманный пер. 3.
16-я типография Московского городского Совета нархоза. Москва, Трехпрудный пер., 9.