

Министерство образования и науки РФ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

А.А. КОРЧАГИН  
М.А. МАЗИРОВ  
Н.И. ШУШКЕВИЧ

## ФИЗИКА ПОЧВ

Лабораторный практикум

*Рекомендовано Учебно-методическим Советом по почвоведению  
при УМО по классическому университетскому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по направлению высшего  
профессионального образования 020700 «Почвоведение»*

Владимир 2011

УДК 631.4  
ББК 40.3  
Ф50

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор агрономического факультета Российского государственного аграрного университета Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева  
*Н.Ф. Хохлов*

Кандидат химических наук, заведующий лабораторией проблем внедрения адаптивно-ландшафтных проблем земледелия Владимирского научно-исследовательского института сельского хозяйства Россельхозакадемии  
*И.Ю. Винокуров*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Корчагин, А. А.**

Ф50 Физика почв : лаб. практикум / А. А. Корчагин, М. А. Мазиров, Н. И. Шушкевич ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 99 с.  
ISBN 978-5-9984-0109-1

Содержит описание лабораторных работ по изучению физических свойств почв. Представлены общепринятые методы структурного и агрегатного анализа, гранулометрического состава и диагностики механического состава почв, видов влажности, плотности и пористости, физико-механических свойств почв.

Предназначен для студентов специальности 020701 – почвоведение дневной формы обучения. Может представлять интерес для преподавателей и учащихся старших классов лицеев, колледжей и общеобразовательных школ.

Рекомендован для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 15. Ил. 19. Библиогр.: 9 назв.

УДК 631.4  
ББК 40.3

ISBN 978-5-9984-0109-1

© Владимирский государственный университет, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

В практикуме представлены теоретические и лабораторные методы изучения основных физических свойств почвы при изложении курса «Физика почв».

Учение о физических свойствах и режимах почвы как естественноисторического тела называют *физикой почвы*.

Знание физических свойств почвы необходимо для выращивания сельскохозяйственных растений, а также для изучения генезиса почв. Наиболее тесный контакт физика почвы как наука имеет с земледелием и мелиорацией, основной задачей которых является временное или коренное улучшение, главным образом, физических свойств почвы для практических целей сельскохозяйственного производства.

В практикуме даны традиционные методы определения физических свойств почвы: структурного и агрегатного анализа, гранулометрического состава, плотности и порозности, видов влажности и физико-механических свойств почвы. При написании данного пособия мы пользовались общепризнанными методиками, ставшими классикой при изучении физических свойств почвы (А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986), а также последними разработками кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (Е.В. Шеин, 2005, Ф.Р. Зайдельман, 1985 и др.). При описании методов анализа мы привели фотографии или схемы приборов и оборудования для проведения физических исследований, что, по нашему мнению, поможет лучше понять предмет физики почв при проведении лабораторных работ.

## **Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ**

### **1.1. Плотность твердой фазы, агрегатов, почвы**

Почва, ее физические свойства – это одно из центральных понятий продукционного процесса. Действительно, она обеспечивает растения питательными веществами и водой, преобразует солнечную радиацию в тепло, хранит это тепло, являясь теплым «одеялом» для семян растений, впитывает осадки, сохраняет воду, избавляясь от ее избытков и предоставляя воздуху свободно циркулировать в поровом пространстве. С точки зрения физики почва – это гетерогенная многофазная дисперсная система с определенными верхней (как правило, дневная поверхность) и нижней (граница с подстилающей породой или уровень грунтовых вод) границами. Она обладает свойствами аккумулировать и выделять, проводить и трансформировать вещества и энергию. Остановимся подробнее на свойствах гетерогенности, многофазности и дисперсности почвы. Гетерогенная характеристика указывает на то, что различные почвенные частицы могут иметь разное происхождение. Могут, например, представлять собой остатки растительного происхождения, образовываться при дроблении минеральных частиц, являться вторичными (глинными) минералами. Даже частицы очень близкие по форме и размерам могут иметь разную природу и обладать различными свойствами, как, в частности, частицы минеральные и органические. Рассмотрим почву при разном увеличении (рис. 1.1): кубик почвы размерами  $5 \times 5 \times 5$  см состоит из отдельных агрегатов, пронизан трещинами, межагрегатными порами. Этот кубик распадается на отдельные агрегаты – почвенные отдельности размерами больше 0.25 мм, которые в свою очередь состоят из микроагрегатов. А вот в микроагрегатах представлены отдельные почвенные частицы. Это частицы первичных минералов, кварца, органические

остатки, очень тонкие глинистые минералы, которые представляют собой первоэлементы почвы, – элементарные почвенные частицы.

Элементарные почвенные частицы совместно представляют собой твердую фазу почвы. Для характеристики твердой фазы мы можем применить традиционные физические параметры, такие как плотность. Эта физическая величина определяется массой вещества в единице объема. В данном случае для *плотности твердой фазы почвы*  $\rho_s$  это будет масса всех почвенных частиц  $m_s$ , отнесенная к их объему  $V_s$ :

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \text{ – плотность твердой фазы почвы, г/см}^3.$$

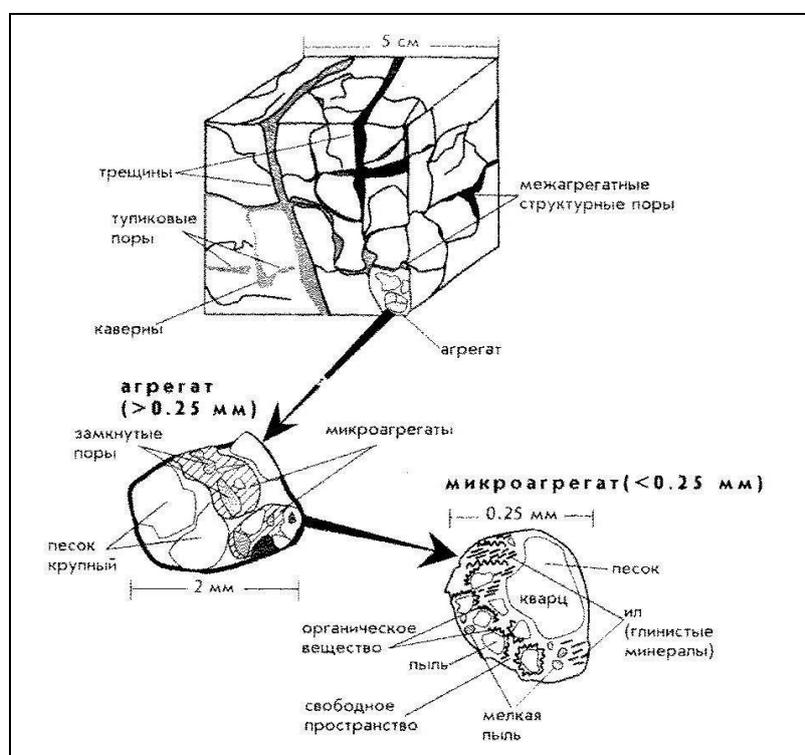


Рис. 1.1. Схема агрегатного строения почвы

Твердая фаза почвы, как это видно из рис. 1.1, представлена частицами различного происхождения и различной своей природной плотности. Например, органическое вещество имеет плотность  $1.3 - 1.5 \text{ г/см}^3$ , а минералы, составляющие твердую фазу почв, –  $2.6 - 2.8 \text{ г/см}^3$ . Плотность же твердой фазы почвы является средневзвешенной величиной всех составляющих ее компонентов: и органических веществ, и различных минералов. Поэтому плотность почвы  $\rho_s$  существенно за-

висит от состава почвенной твердой фазы: для торфяных почв она близка к  $1.4 \text{ г/см}^3$ , для пахотных горизонтов колеблется в пределах  $2.4 - 2.7$ , а в горизонтах В и С может достигать  $2.65 - 2.75 \text{ г/см}^3$  (табл. 1.1).

Из рис. 1.1. видно, что элементарные почвенные частицы объединены в микроагрегаты и агрегаты. Можно определить плотность и этих почвенных образований, *плотность агрегата*,  $\rho_a$  – это масса  $m_s$

единицы объема почвенного агрегата,  $V_a$ :  $\rho_a = \frac{m_s}{V_a}$ . Заметим, что мас-

са в данном выражении та же, что и для плотности твердой фазы: ведь массу агрегата составляют те же самые твердофазные элементарные почвенные частицы. Так как элементарные почвенные частицы, соединяясь в агрегат, образуют поры, то и плотность агрегата будет заметно ниже плотности почвы, составляя  $1.3 - 1.8 \text{ г/см}^3$ . Зная плотность твердой фазы и плотность агрегата, можно рассчитать и порозность агрегата – объем пор агрегата, отнесенный к объему агрегата:

$$\varepsilon_{agr} = \frac{V_{пор}}{V_a},$$

где  $\varepsilon_{agr}$  – порозность агрегатов, выраженная в долях от объема ( $\text{см}^3/\text{см}^3$ ) или в случае умножения на 100 – в процентах. Можно более подробно раскрыть значение этой формулы, учитывая, что

$$V_{пор} = V_a - V_s, \text{ а } V_a = \frac{m_s}{\rho_a} \text{ и } V_s = \frac{m_s}{\rho_s},$$

$$\varepsilon_{agr} = \frac{V_a - V_s}{V_a} = \frac{\frac{m_s}{\rho_a} - \frac{m_s}{\rho_s}}{\frac{m_s}{\rho_a}} = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}.$$

Так по величинам плотности твердой фазы и плотности агрегатов можно рассчитать порозность агрегатов.

Аналогично можно поступить и для почвенного образца. Для него тоже можно ввести понятие плотности: это будет плотность почвы. Но в этом случае следует учесть, что в объем образца вошли свойственные естественной почве трещины, каверны и прочие пусто-

ты (см. рис. 1.1). Поэтому *плотность почвы*  $\rho_b$  – масса единицы объема почвы в ее естественном, ненарушенном состоянии:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} \text{ – плотность почвы, г/см}^3.$$

Плотность почвы – одно из основных фундаментальных свойств почвы. Без знания этой величины невозможны никакие расчеты, никакая количественная оценка почв. Поэтому данные по плотности и порозности почвенных слоев и горизонтов обязательно сопровождают полную характеристику почвенного профиля. Как и для составляющего почву агрегата, для почвы в целом также можно ввести понятие порозности  $\varepsilon$  как отношение объема пор к объему всего образца и определить порозность через плотность почвы и плотность твердой фазы почвы:

$$\varepsilon = \frac{V_{пор}}{V_{почвы}} = \frac{V_{почвы} - V_s}{V_{почвы}} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}.$$

Поры почвы могут быть заняты либо водой, либо воздухом. Для обозначения содержания воды используют понятие влажности почвы: отношение веса (или объема) воды к массе твердой фазы (к массе абсолютно сухой почвы) или объему почвы. При отнесении к массе абсолютно сухой почвы – это массовая влажность (ранее использовали термин «весовая влажность»):

$$W = \frac{m_{воды}}{m_{твердой\_фазы}} = \frac{m_{воды}}{m_{абс-сухой\_почвы}} \text{ (г/г), а при}$$

$$\text{отнесении к объему почвы – объемная влажность: } \theta = \frac{V_{воды}}{V_{почвы}} \text{ (см}^3\text{/см}^3\text{)}.$$

Соответственно объемная доля, занятая в поровом пространстве воздухом, будет равна разности порозности почвы и объёмной влажности:  $\varepsilon_{воздуха} = \varepsilon - \theta$  (см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>).

В табл. 1.1. приведены характерные значения плотности для разнообразных почвенных объектов

Таблица 1.1

**Типичные значения плотности различных почв**

Почвенный объект	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Порозность почвы $\varepsilon$ , см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>
	твердой фазы почвы, $\rho_s$ ,	почвы, $\rho_b$ ,	агрегатов, $\rho_a$ ,	
Пахотные горизонты минеральных почв: суглинистые песчаные	2.55 – 2.65	0.8 – 1.5	1.3 – 1.8	0.69 – 0.46
	2.50 – 2.70	1.4– 1.7	–	0.46 – 0.35
Горизонты В и С	2.65 – 2.75	1.5– 1.8	1.4 – 1.9	0.43 – 0.32
Торф (верховой)	1.35 – 1.45	0.1– 0.3	–	0.93 – 0.79

Приведенные величины – это возможный интервал встречающихся значений. Однако для нормального функционирования почв существует некоторый оптимальный диапазон, находящийся внутри указанных крайних значений. Мы переходим к оценке этих составляющих порового пространства, к рассмотрению плотности почвы, составляющих ее различных видов пористостей как важнейших агрофизических характеристик почвы, от которых зависит урожай растений и другие биосферные функции почв.

*Определения*

**Плотность твердой фазы почв  $\rho_s$**  – масса твердых компонентов почвы в единице объема без учета пор.

**Плотность почвы  $\rho_b$**  – масса абсолютно сухой почвы в единице объема почвы со всеми свойственными естественной почве пустотами.

**Порозность (синоним – пористость) почвы  $\varepsilon$**  – объем почвенных пор в почвенном образце по отношению к объему всего образца (см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>, %). Рассчитывается по данным о плотности почвы  $\rho_b$  и

твердой фазы почвы  $\rho_s$ :  $\varepsilon = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_s}$  (см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>).

## **Агрофизическое значение плотности почвы**

Плотность почвы во многом определяет урожай растений. Она оказывает влияние на рост корневой системы растений, так как уплотненная почва является существенной преградой для проникновения корней. В уплотненной почве при высокой величине  $\rho_b$  низка порозность почвы. Значит в почве содержится мало воды. При выпадении осадков поры быстро заполняются водой, и почва содержит мало воздуха, также необходимого для роста корней и развития растений. В случае же излишне рыхлой почвы поровое пространство столь велико, что корни растений не имеют хорошего контакта с поверхностью твердой фазы, где содержатся в поглощенном состоянии многие элементы питания. Это приводит к снижению урожая в разрыхленной почве. Необходимо применять приемы прикатывания почвы для создания оптимального диапазона ее плотности. Поэтому проблема создания пахотного слоя, оптимального по физическому состоянию, по плотности – одна из важнейших проблем современной физики почв и агротехники. Она состоит в том, чтобы разрыхлить почву и не допустить уплотнения почвы тяжелой сельскохозяйственной техникой. Это требует своевременного проведения агротехнических работ, обязательно связанных с распашкой почвы. Почва особенно подвержена уплотнению при повышенной влажности. Стоит тяжелой технике лишь один раз заехать на поле, когда влажность несколько выше оптимальной для обработки, как поверхностный слой почвы становится излишне уплотненным.

Еще один аспект уплотнения – переуплотнение подпахотного слоя, так называемое накопительное, или подпочвенное, уплотнение. Действительно, под влиянием многократных проходов техники уплотнение наблюдается все глубже и глубже. Происходит образование подпахотного уплотненного, плохопроницаемого и для воды, и для воздуха слоя. Сложность в том, что контролировать внутрисочвенное уплотнение очень трудно: оно незаметно с поверхности почвы так, как видны, например, эрозия или поверхностное уплотнение. Анализ и прогноз этого явления тесно связан с оценкой физико-механических свойств почв.

Таким образом, уплотнение как поверхностное, так и подпочвенное – весьма пагубное явление, неизменно сопровождающее интенсивное сельскохозяйственное производство. Вернуть же почву в прежнее состояние весьма затруднительно. С этим связан второй аспект проблемы – разуплотнение почвы. Как правило, разрыхлить поверхностный пахотный слой почвы несложно. Достаточно его вспахать, взрыхлить различными почвообрабатывающими орудиями. Но вот разрыхлить агрегаты – основное хранилище питательных веществ, воды, почвенной биоты – значительно сложнее. Агротехнические меры здесь не помогут. Восстановление внутриагрегатной порозности обязано деятельности почвенных микроорганизмов, накоплению специфических органических веществ. Необходимо применение органических и зеленых удобрений, влияющих на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, улучшающих состояние почвы.

Итак, не только повышенная, но и излишне низкая плотность почвы снижает урожай. На рис. 1.2 схематически показаны области влияния переуплотнения и излишней разрыхленности почвы.

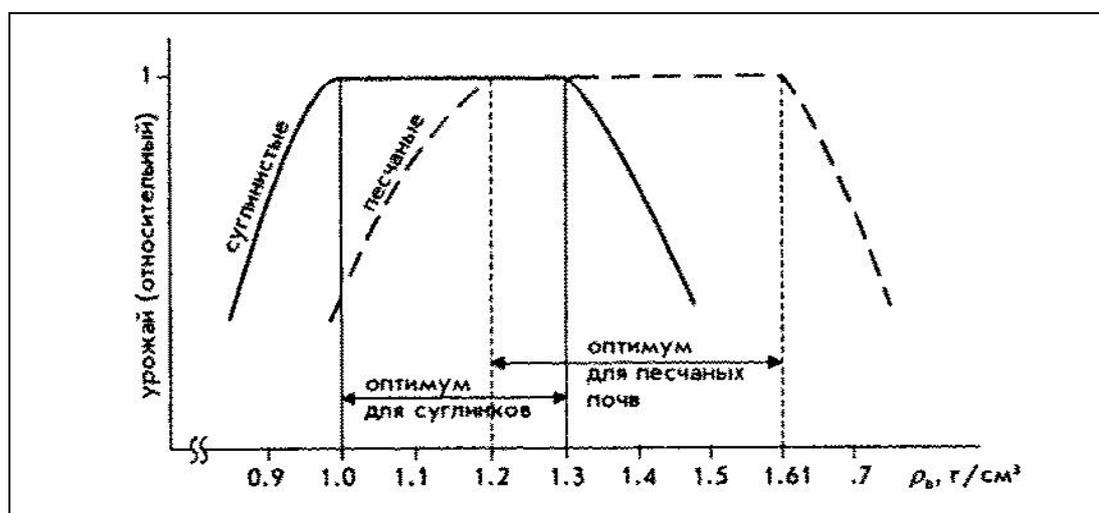


Рис. 1.2. Зависимость урожая (в относительных единицах) от плотности суглинистой и песчаной почв

Оптимум, по данным большинства исследователей (А.Г. Бондарев, 1985), для суглинистых почв находится в области от 1.0 до 1.3 г/см<sup>3</sup>. Если говорить о порозности почвы, которая является прямой функцией от плотности почвы, то и для этой величины предложен ряд критериев и диапазонов оптимальности. Н.А. Качинский (1985) предложил

выделять следующие диапазоны по порозности почвы,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ :

- отличная (культурный пахотный слой) – 0.65 – 0.55;
- удовлетворительная для пахотного слоя – 0.55 – 0.50;
- неудовлетворительная для пахотного слоя – меньше 0.50;
- чрезмерно низкая – 0.40 – 0.25.

Возникает, впрочем, и еще один вопрос: а требуется ли разделение пахотного слоя на слои с различным структурным составом, или он должен быть равномерным по всей своей глубине (обычно 22 – 25 см)?

В специальных опытах известный украинский агрофизик В.В. Медведев попытался ответить на эти вопросы. Из опыта земледельцев средней полосы (в основном Нечерноземья) известно, что лучшим строением пахотного слоя при заделке семян является такое состояние, когда семя лежит на уплотненной подложке, а поверхностный слой представлен разрыхленным мелкокомковатым материалом. В этом случае семена не выпучивались на поверхность почвы при увлажнении, осуществлялся их хороший контакт с почвой, а верхний слой способствовал аэрации и сохранял влагу за счет быстрого образования мульчирующего слоя. Эти закономерности были открыты для зоны южной тайги, дерново-подзолистых, серых лесных почв. Справедливы ли они и для условий засушливых степей?

Опыт включал 3 фактора: 1) структуру в виде трех градаций по размерам агрегатов; 2) удобрения в виде различных доз NPK – 60, 90 и 120 кг/га и 3) плотность в слое, покрывающем семена.

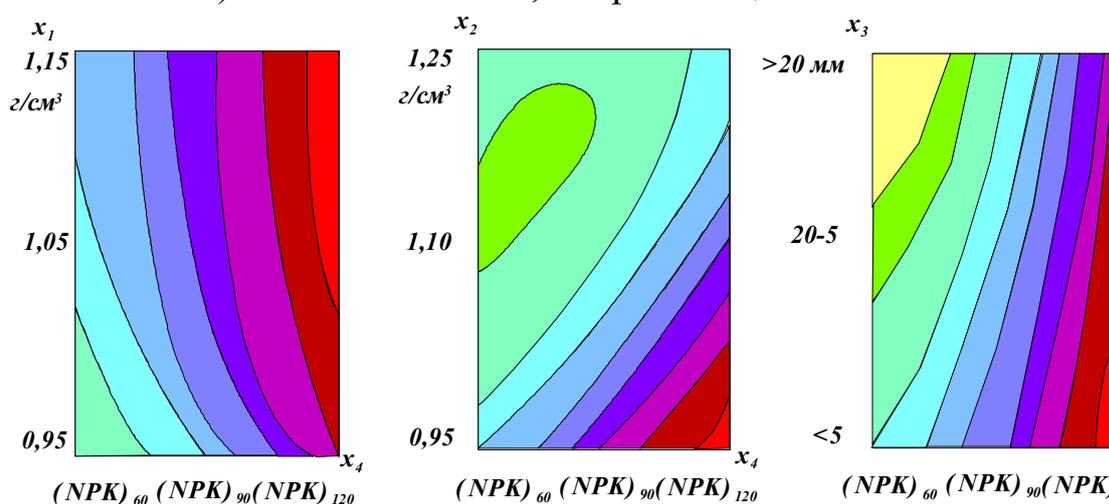


Рис. 1.3. Изолинии массы сухого снопа ячменя на площадь поверхности ( $\text{г}/\text{м}^2$ ) в зависимости от плотности почвы в надсеменном  $x_1$  и подсеменном  $x_2$  слоях, структурного состава семенного слоя  $x_3$  и дозы удобрений  $x_4$  в микрополевым опыте (по Медведеву, 1988). Темный цвет соответствует урожаю  $1326 \text{ г}/\text{м}^2$ , а интервал между изоквантами –  $66 \text{ г}/\text{м}^2$

На рис. 1.3 представлены изолинии урожая на фоне различных доз удобрений. Действительно, для черноземов в условиях частого недостатка влаги наилучшие условия для произрастания растений, потребления ими питательных веществ и их развития складываются тогда, когда поверхностный надсеменной слой более уплотнен в пределах рассматриваемого диапазона ( $0.95 - 1.15 \text{ г/см}^3$ ), а подпахотный слой в большей степени разрыхлен. При одном и том же уровне удобрений больший урожай получался при более разрыхленном подсеменном слое, а наилучший размер агрегатов в самом семенном слое – менее 5 мм. Последнее еще раз подтверждает известный из практики земледелия принцип, гласящий, что размер агрегатов должен быть близок к размеру семян. По всей видимости, в случае черноземных почв, где лимитирующим фактором выступает недостаток влаги в период посева, наибольшие запасы создаются тогда, когда подпахотный слой рыхлый и влагоемкий, а поверхностный слой, уплотненный, способен достаточно быстро проводить капиллярный поток влаги к семенам, и почвенные частицы хорошо контактируют с семенами. Получается, что взаимосвязь подтоков влаги к семенам и в последующем к корням растений, доступность питательных веществ, условия укладки семян во многом зависят не только от размеров семян, количества элементов питания, размера почвенных агрегатов, но и от условий укладки (на плотном или рыхлом слое) и климатических условий. Оптимизация агрофизических условий оказывается делом достаточно тонким, требующим всесторонних знаний.

Оптимальный диапазон плотности почв связан с использованием минеральных веществ растениями. В пахотном слое должны быть обеспечены условия наибольшей доступности питательных веществ для корней растений. Это проблема взаимосвязи физических и агрохимических свойств почв. В ряде опытов было показано, что диапазон плотности пахотного слоя суглинистых почв от 1.1 до  $1.35 \text{ г/см}^3$  в наилучшей степени способствует потреблению удобрений и формированию урожая. При увеличении дозы вносимых азотных удобрений и при росте плотности почвы формируется зона наиболее высокого урожая: эта зона характеризуется дозами от 30 до 85 кг/га азотных

удобрений и диапазоном плотности пахотного слоя от 1.06 до 1.35 г/см<sup>3</sup>. Приведенные факты подчеркивают весьма важный факт: сочетание доз удобрений и создание плотности пахотного слоя должно производиться совместно. Важно именно сочетание факторов, создание и поддержание оптимальных диапазонов физических условий и количества минеральных питательных веществ в пахотном слое.

Важно помнить о том, что оптимальные диапазоны плотности пахотного слоя различаются для песчаных и суглинистых почв (см. рис. 1.2). Рекомендуется использовать следующие пределы оптимальных диапазонов плотности для различных почв (табл. 1.2):

Таблица 1.2

**Оптимальные диапазоны плотности (по А.Г. Бондареву, 1985)**

Гранулометрический состав (текстура) почвы	Оптимальный диапазон плотности, г/см <sup>3</sup>
Глинистые и суглинистые	1.0 – 1.3
Легкосуглинистые	1.10 – 1.40
Супесчаные	1.20 – 1.45
Песчаные	1.25 – 1.60

В этой таблице уже присутствуют градации почвы по гранулометрическому составу. Необходимо более подробно охарактеризовать этот важнейший показатель почвы.

**1.2. Гранулометрический состав**

Снова вернемся к рис. 1.1. На нем изображены элементарные почвенные частицы, составляющие микроагрегат, входящий в состав агрегата и почвы в целом, т.е. вся почва состоит из элементарных почвенных частиц (ЭПЧ). ЭПЧ – это наименьшие частицы твердой фазы почвы, ее первооснова, которые трудно разрушить физическими (растиранием) и химическими (воздействие щелочей и кислот) методами, за что они и называются *элементарными*.

В почве представлены частицы совсем тонкие – илистые, а также крупные – гравий (1–3 мм). Между этими частицами расположена область пылеватых и песчаных частиц. Илистые, как правило, имеют размеры меньше 0.001 мм. Эта целая область очень мелких тонких

частиц, куда входят и коллоиды (меньше 0.0001 мм). Частицы крупнее 3 мм называют каменистой частью. Выделенные по размерам диапазоны (ил, пыль, песок, гравий, каменистая часть) называют *фракциями гранулометрических элементов*, а относительное содержание выделенных фракций – *гранулометрическим составом почв*.

Все элементарные почвенные частицы между илом и коллоидами разделяются на фракции. В зарубежной практике, как правило, используют разделение ЭПЧ на фракции по А. Аттербергу, который предложил выделять следующие фракции: меньше 0.002 мм – глина, 0.002 – 0.05 – пыль, 0.05–0.2 – тонкий песок, 0.2–2 – грубый песок, больше 2 мм – гравий. Эти фракции и составляют основу большинства современных зарубежных классификаций.

В российской классификации выделяют следующие фракции ЭПЧ: меньше 0.001 – ил, 0.001 – 0.005 – пыль мелкая, 0.005 – 0.01 – пыль средняя, 0.01 – 0.05 – пыль крупная, 0.05 – 0.25 – песок мелкий, 0.25 – 0.5 – песок средний, 0.5 – 1.0 – песок крупный, больше 1 мм – гравий. Частицы меньше 0.01 мм объединены в более крупную группу физической глины, а частицы больше 0.01 мм – во фракцию физического песка. Некоторые фракции имеют и свое название. Так, фракция крупной пыли носит название «лессовидной фракции», так как именно она преобладает в лессах. Впрочем, справедливо и обратное: если в суглинке заметно преобладает именно эта лессовидная фракция, то суглинок называют лессовидным. Границей такого преобладания служит величина 40 %: если в суглинке содержание крупной пыли больше 40 %, то это лессовидный суглинок. Российскую классификацию частиц по фракциям разработал Н.А. Качинский, она носит его имя.

Итак, выделены определенные фракции ЭПЧ по размерам, и каждая фракция получила свое название. Определение фракций необходимо нам для классификации и оценки гранулометрического состава почв, так как он – это относительное (в массовых процентах) содержание фракций элементарных почвенных частиц.

На данный момент в мире приняты два основных принципа построения классификаций почв по гранулометрии: 1) основанный на относительном содержании физической глины (частицы меньше 0.01 мм)

с учетом содержания доминирующих фракций (классификация Н.А. Качинского) и 2) основанный на учете относительного содержания выделенных Аттербергом фракций физического песка, пыли и глины (международная классификация и близкие к ней классификации общества почвоведов, агрономов США и др.). Иначе говоря, классификация Качинского – двучленная, так как основана на использовании, прежде всего, содержаний физического песка и физической глины, а международная – трехчленная, причем в разных странах границы размеров фракций между глиной, песком, пылью несколько различаются.

Отечественная (классификация Н.А. Качинского), как указывалось, основана на соотношении содержания физического песка и глины. Вполне понятно, что сумма физического песка и физической глины составляет 100 %, и классификацию можно представить на основе лишь одного показателя, например физической глины. Эта классификация представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Классификация почв по гранулометрическому составу  
(по Н.А. Качинскому)**

Содержание физической глины (частиц меньше 0.01 мм), %			Краткое название почвы по гранулометрическому составу
Подзолистый тип почвообразо- вания	Степной тип почвообразо- вания	Солонцы и сильно солонцеватые почвы	
0 – 5	0 – 5	0 – 5	Песок рыхлый (П <sub>р</sub> )
5 – 10	5 – 10	5 – 10	Песок связанный (П <sub>св</sub> )
10 – 20	10 – 20	10 – 15	Супесь (С)
20 – 30	20 – 30	15 – 20	Суглинок легкий (С <sub>л</sub> )
30 – 40	30 – 45	20 – 30	Суглинок средний (С <sub>ср</sub> )
40 – 50	45 – 60	30 – 40	Суглинок тяжелый (С <sub>т</sub> )
50 – 65	60 – 75	40 – 50	Глина легкая (Г <sub>л</sub> )
65 – 80	75 – 85	50 – 65	Глина средняя (Г <sub>ср</sub> )
Больше 80	Меньше 85	Больше 65	Глина тяжелая (Г <sub>т</sub> )

Обратим внимание на два весьма характерных момента в отечественной классификации.

Рассмотрим первую графу табл. 1.3. Диапазоны в содержании физической глины для различных категорий почв неравномерны. Например, для перехода от «песка рыхлого» к «песку связному» необходимо увеличение содержания физической глины всего на 5 %, а вот от супеси к суглинкам и между суглинками – уже на 10 %. Диапазоны глин имеют еще более широкий интервал – до 15 %. По-видимому, это связано с тем, что в песках даже небольшое количество глины ведет к заметному изменению свойств почвы в целом. Напротив, для глинистых почв необходимо значительное количество физической глины, чтобы отличить глину легкую от глины средней.

Второй момент касается введения в классификацию типа почвообразования. Очень важным является то, что Н.А. Качинский выделил градации не просто по содержанию физической глины, но и с учетом типа почвообразования. Действительно, например, глина тяжелая в подзолистых почвах будет выделяться при содержании физической глины более 80 %, а в солонцах – уже при 65 %. Связано это с тем, что в солонце частицы глины совсем по-иному ведут себя, чем, скажем, в подзолистой почве. Глинистые частицы в солонце, как правило, насыщены ионом Na. Эти частицы сильнее набухают, лучше прилипают к различным предметам. Следовательно, они начинают проявлять свойства «тяжелых» почв при их более низком содержании, чем частицы того же размера, но в почвах гумидной области. Таким образом, в своей классификации Н.А. Качинский учел влияние качественного состава глины и прежде всего состава почвенного поглощающего комплекса и минералогии на различие легких и тяжелых почв в их поведении.

Учитывая, что в зарубежных классификациях 3 фракции ЭПЧ, для определения гранулометрического состава почв используется так называемый «треугольник Ферре». Он изображен на рис. 1.4. В этом равносравном треугольнике по левой стороне отложено содержание ила (частиц меньше 0.002 мм), по правой – пыли (0.002 – 0.05 мм), а по основанию треугольника – содержание песка (0.05 – 2 мм). Чтобы определить классификационную принадлежность почвы по гранулометрии, необходимо совместно анализировать уже три фракции. Для этого на левой стороне треугольника, где отложено содержание илистых частиц,

находят точку, соответствующую содержанию ила (меньше 0.002 мм). Из этой точки проводят прямую, параллельную основанию (сторона «песка»).

Затем на правой стороне треугольника (содержание пыли) также находят точку, соответствующую содержанию пыли в исследуемой почве, и из нее проводят линию, параллельную левой стороне – параллельно оси «содержание ила». Две прямые линии пересекутся внутри треугольника в некоторой точке, в которую также попадает и третья линия, проведенная из точки, соответствующей содержанию песка на основании треугольника, параллельно оси «пыль». Эта точка пересечения трех линий треугольника обязательно окажется внутри какой-либо области, отвечающей за определенную классификационную группу почв по гранулометрии.

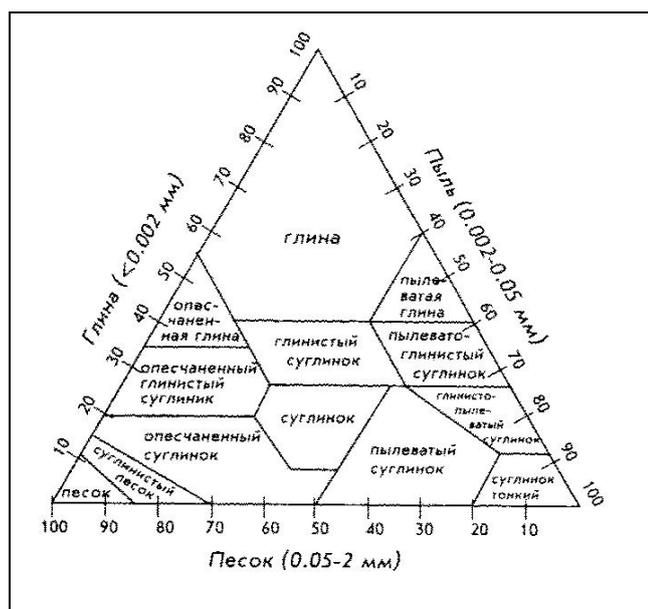


Рис. 1.4. Треугольник Ферре для классификации почв по гранулометрическому составу

Как уже указывалось, отечественная классификация – двухмерная, использует соотношение физической глины и физического песка, зарубежные – трехмерные. Кроме того, и границы фракций в этих классификациях не совпадают (сравните, в нашей – физическая глина меньше 0.01, а в зарубежных меньше 0.002 мм. Очень значительные

различия!). Поэтому прямого перехода из одной классификации в другую не существует.

### *Определения*

**Элементарные почвенные частицы (ЭПЧ)** – обломки горных пород и минералов, а также аморфные соединения, все элементы которых находятся в химической взаимосвязи и не поддаются разрушению общепринятыми методами пептизации.

**Фракция элементарных почвенных частиц, или фракция гранулометрическая**, – элементарные почвенные частицы, объединенные по своим размерам в определенную группу. Выделяют фракции: 1 – 0,25 мм (крупный песок), 0,25 – 0,05 мм (мелкий песок), 0,05 – 0,01 мм (лессовидная крупная пыль), 0,01 – 0,005 мм (средняя пыль), 0,005 – 0,001 мм (мелкая пыль) и меньше 0,001 мм (ил). По содержанию фракций определяют гранулометрический состав почв.

Под **гранулометрическим (механическим – устаревшее, почвенной текстурой)** составом почв и почвообразующих пород понимают относительное содержание в почве фракций элементарных почвенных частиц различного диаметра независимо от их минералогического и химического состава. Гранулометрический состав выражается в виде массовых процентов фракций гранулометрических частиц различных размеров.

**Гранулометрический состав почв** – фундаментальное, базовое свойство почвы, во многом определяющее другие ее свойства и характеристики.

Следует отметить, что гранулометрический состав – один из основных факторов почвенного плодородия. Поэтому неоднократно делались попытки связать гранулометрический состав с потенциальным плодородием. Одна из наиболее удачных попыток принадлежит Н.А. Качинскому, который оценил в балльной системе почвы по гранулометрическому составу. При этом дерново-подзолистые почвы имели наивысший балл для среднего или легкого суглинков,

а вот черноземы – для тяжелых суглинков и глин. Чем же обусловлена такая связь почвенно-генетических типов с гранулометрическим составом? По всей видимости, опять-таки с формированием оптимального водно-воздушного режима: дерново-подзолистые почвы более легкого состава лучше дренируют воду, и в гумидной зоне в этом случае в почвах такого гранулометрического состава больше почвенного воздуха, который во влажных почвах может оказаться лимитирующим фактором, а вот в черноземной зоне лимитирующей, как правило, является влага. Глинистые почвы ее удерживают больше, чем почвы легкого состава. Поэтому тяжелые почвы получают наивысший балл среди черноземов. Однако Н.А. Качинский учитывал и то, что черноземы хорошо структурированы. Структура оказывается специфическим и важнейшим почвенным агрофизическим фактором.

### **1.3. Структура почвы**

Если опять обратиться к рис. 1.1, то совершенно очевидным становится тот факт, что почвенные частицы объединены в устойчивые образования – агрегаты. Свойство почвы образовывать устойчивые агрегаты – это свойство почвенной структуры, пожалуй, самое важное структурное и функциональное свойство почвы. На этом же рисунке видно, что агрегат характеризуется тем, что связи внутри него, между отдельными частицами (в микроагрегате) или микроагрегатами (в макроагрегате) выражены сильнее, чем между агрегатами. Поэтому-то в почве и выделяются отдельные агрегаты, поэтому-то почвенная структура представлена рассыпчатым зерноподобным агрегированным веществом, а не единой монолитной массой. Чем лучше выражена эта структура, чем устойчивее к воздействию воды и механических нагрузок почвенные агрегаты, тем лучше функционирует почва, тем выше и устойчивее ее продуктивность. Это вполне понятно: ведь хорошая структура определяет и хорошее проникновение влаги, за счет пониженной плотности повышается ее порозность, и почва способна вместить и удержать большее количество воды, питательных веществ, в ней лучше движутся газы, активнее газообмен. Однако это все каче-

ственные понятия. Существуют и количественные. Остановимся на характеристиках микроагрегатов (агрегатов диаметром менее 0.25 мм) и макроагрегатов, или просто агрегатов (более 0.25 мм).

### **Микроагрегатный состав почв**

Традиционно распределение микроагрегатов по размерам (микроагрегатный состав почв) рассматривается совместно с гранулометрическим составом почв. Более того, фракции микроагрегатов по размерам аналогичны фракциям гранулометрических элементов. Это позволяет провести ряд оценок устойчивости микроструктуры. Однако возникает проблема выделения этих первичных агрегатных образований без их разрушения. Для того чтобы выделить микроагрегаты, надо почву подвергнуть такому воздействию, чтобы разрушить макроагрегаты, при этом сохранив микроагрегаты. По всей видимости, это воздействие должно быть более слабое, чем используемое при гранулометрическом анализе. Именно поэтому при микроагрегатном анализе применяют концентрацию пирофосфата натрия на порядок ниже (или его не используют вовсе) и очень слабое механическое воздействие. Эта физико-химическая диспергация позволяет разрушить макроагрегаты, но сохранить микроагрегаты.

Гранулометрический и микроагрегатный анализы будут различаться прежде всего во фракциях ила и песка. Так как при микроагрегатном анализе мы не разрушили часть микроагрегатов, включающих ил (см. рис. 1.1), количество которого меньше, он участвует в структурообразовании микроагрегатов. Разница в содержании ила между гранулометрическим и микроагрегатным составами будет говорить о структурообразующей роли почвенного ила. Напротив, содержание песчаных фракций в микроагрегатном составе увеличится: к элементарным почвенным частицам песчаного размера прибавятся еще и микроагрегатики с диаметрами, равными диаметрам песчаных компонентов. Вот на этих соотношения ила, песчаных фракций в гранулометрическом и микроагрегатном составах и построены основные количественные оценки микроагрегированности почв.

Коэффициент дисперсности по Качинскому  $K_d$ , %:  $K_d = \frac{I_m}{I_r} 100 \%$ ,

где  $I_m$  и  $I_z$  – содержание фракции ила (частицы меньше 0.001 мм) при микроагрегатном и гранулометрическом составах соответственно. Чем выше этот коэффициент, тем более дисперсна, легче пептизируется, менее микроагрегирована почва. Об этом говорит и само название коэффициента – коэффициент дисперсности. Вот некоторые классификационные градации почвенной микроагрегированности по этому показателю:

- меньше 15 – высокая микроструктуренность;
- 15 – 25 – хорошая;
- 25 – 40 – удовлетворительная;
- 40 – 60 – неудовлетворительная;
- больше 60 – весьма низкая.

Степень агрегированности по Бэйверу  $A_r$ , %:  $A_r = \frac{P_m - P_r}{P_m} 100$  %,

где  $P_m$  и  $P_r$  – содержания фракций песка (мелкого, среднего, крупного), т.е. частиц диаметром больше 0.05 мм при микроагрегатном и гранулометрическом анализах соответственно. Но при использовании указанного коэффициента следует помнить, что чем он выше, тем лучше агрегирована почва. Возможна классификация микроструктуренности почв на основании показателя  $A_r$ :

- больше 90 – очень высокая микроагрегированность;
- 80 – 90 – высокая;
- 65 – 80 – хорошая;
- 50 – 65 – удовлетворительная;
- 35 – 50 – слабая;
- 20 – 35 – весьма слабая;
- меньше 20 – низкая.

Приведенными показателями микроагрегированности можно пользоваться как при сравнении почвенных образцов, так и при характеристике микроагрегатной устойчивости конкретной почвы.

### **Структурный (макроагрегатный) состав почв**

В физике почв структуру почвы оценивают количественно на основании распределения содержания агрегатов (воздушно-сухих и в

воде) по их размерам. Аналогично тому, как это делается в гранулометрическом и микроагрегатном анализах, структура выражается в содержании фракций агрегатов определенного размера (диаметра). Первым количественным показателем структуры является содержание воздушно-сухих агрегатов различных размеров. Получается этот показатель благодаря рассеву воздушно-сухого почвенного образца в лаборатории на ситах с различными диаметрами отверстий. Как правило, используют сита с диаметрами отверстий 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5 и 0.25 мм, соединяя их в последовательный набор – от большего диаметра к меньшему. На верхнее сито диаметром 10 мм высыпается предварительно взвешенный средний образец почвы, сита встряхивают, и агрегаты располагаются в ситах соответственно их размерам: на верхнем – больше 10 мм (фракция больше 10 мм), на следующем диаметром 7 мм – фракция 7 – 10 мм, диаметром 5 мм – фракция 5 – 7 мм и так далее, а в остатке будут микроагрегаты и элементарные почвенные частицы диаметром меньше 0.25 мм – пылеватая часть почвы. Содержание каждой фракции легко можно рассчитать как отношение этой фракции к взятой навеске. Естественно, что самые крупные агрегаты – глыбы – и самые мелкие – пылеватая часть почвы – указывают на неблагоприятное агрофизическое состояние почвенной структуры, а агрегаты размерами 10 – 0.25 мм придают почвенной структуре ее уникальный вид в виде почвенных комочков и определяют почвенное плодородие. Поэтому их и называют *агрономически ценными*. Содержание агрономически ценных агрегатов – важнейший показатель ее состояния: чем выше их содержание, тем лучше почва. Недаром говорят: «Культурная почва – структурная почва». Итак, содержание агрономически ценных агрегатов – один из важнейших показателей структурного состояния почвы.

Другим показателем структуры является ее устойчивость к внешним воздействиям, среди которых наиболее существенным является воздействие воды. Почва должна сохранять свою уникальную комковатую зернистую структуру после обильных осадков и последующего легкого подсушивания, когда образуются не плотная непроницаемая для газов и воды корка, а вновь хорошо различимые почвенные ко-

мочки, агрегаты. Это качество структуры называют *водоустойчивостью*. Как может вода воздействовать на структурные отдельности, за счет чего их разрушать? Прежде всего, почвенные частицы смачиваются водой, вокруг них образуются пленки воды, которые их «раздвигают», или, как иногда говорят, «расклинивают» – это расклинивающее давление водных пленок. Кроме того, при увлажнении агрегата в него быстро входит вода, закупоривает в порах воздух, «защемляет» его. Так как вода всасывается почвой с огромной силой, с очень большим «всасывающим» давлением, то и в «защемленном» воздухе это давление весьма высоко. Он просто разрывает, «взрывает» почвенный агрегат. Такое взрывное воздействие защемленного воздуха наиболее часто встречается в природе при увлажнении сухой почвы. Противостоять этому воздействию могут лишь агрегаты, обладающие соответствующими связями между слагающими агрегат частицами, т.е. водоустойчивые.

Характеризуют это качество структуры также с помощью отсева на ситах, но не на воздухе, а в стоячей воде. Для этого предварительно (капиллярно) увлажненный почвенный образец переносят на верхнее сито (в данном случае – это сито с отверстиями диаметром 5 мм, сита с отверстиями диаметром 10 и 7 мм не используются: такого размера водоустойчивых агрегатов в естественных почвах практически не наблюдается). После легкого покачивания набора сит в воде с каждого из них смывают водоустойчивые агрегаты и определяют их содержание. Как и в случае с ситовым анализом воздушно-сухих агрегатов – «сухого» просеивания, получают распределение содержания водоустойчивых агрегатов по их размерам (диаметрам).

По содержанию агрономически ценных агрегатов, а также водоустойчивых агрегатов диаметрами больше 0.25 мм характеризуют агрегированность и водоустойчивость структуры почвы.

По содержанию агрономически ценных агрегатов, размерами 10 – 0.25 мм выделяют:

- больше 60 % – отличное агрегатное состояние;
- 60 – 40 – хорошее;
- меньше 40% – неудовлетворительное.

Можно использовать так называемый коэффициент структурности  $K_{стр}$ :

$$K_{стр} = \frac{\sum (10 - 0.25 \text{ мм})}{\sum (\text{больше } 10 \text{ мм, меньше } 0.25 \text{ мм})}.$$

Этот коэффициент также основан на количестве агрономически ценных агрегатов, диапазоны  $K_{стр}$ , используемые для качественной оценки структуры, составляют:

больше 1.5 – отличное агрегатное состояние;

1.5 – 0.67 – хорошее;

меньше 0.67 – неудовлетворительное.

Оценку водоустойчивости структуры почвы проводят по агрегатному составу после «мокрого» просеивания, например, по количеству агрегатов размерами больше 0.25 мм. Чем больше таких агрегатов получено в результате просеивания почвы в воде, тем лучше водоустойчивость структуры. Приводим классификационные диапазоны для качественной характеристики водоустойчивости структуры по сумме агрегатов размерами больше 0.25 мм:

меньше 30 % – неудовлетворительная;

30 – 40 – удовлетворительная;

40 – 75 – хорошая;

больше 75 % – избыточно высокая.

Нередко требуется использовать данные ситового анализа в виде одного-единственного показателя, а не в виде распределения агрегатов по фракциям. Так как распределение агрегатов по фракциям – это распределение, которое трудно описать единой математической зависимостью, используют следующие показатели в виде средневзвешенного диаметра агрегатов (СВД) и среднегеометрического диаметра (СГД):

$$СВД = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i M_i,$$

$$СГД = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n M_i \log \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \right].$$

В указанных выражениях везде  $M_i$  – весовой процент фракции агрегатов со средним диаметром  $\bar{x}_i$ ;  $n$  – количество фракций. Нетрудно заметить, что выражение, стоящее в знаменателе под знаком экспоненты в  $СГД$ ,  $\sum_{i=1}^n M_i$  – это общий вес образца. Чем выше  $СВД$  и  $СГД$ , тем в большей мере в структуре выражены крупные фракции, чем ниже – пылеватая структура. Отметим также, что  $СГД$  и  $СВД$  очень хорошо скоррелированы, коэффициент корреляции близок к 0.9.

В заключение этого пункта о твердой фазе почвы обратим внимание на характерную для физики почв цифру 40 % и запомним её. Рассматривая структуру почвы, ее поровое пространство, безусловно, необходимо отметить и такую почвенную характеристику, как способность почвенных частиц двигаться относительно друг друга, сопротивляться силам сдавливания, проникновению различных предметов внутрь почвы. Эту область традиционно называют почвенной механикой – наукой, которая изучает физико-механические свойства почв.

#### **1.4. Физико-механические свойства почв**

Механические воздействия на почву производятся силами, которые могут быть направлены перпендикулярно ее поверхности, тогда это будут силы сжатия или растяжения, или под углом, «сбоку» к почве – это силы сдвига, вызывающие движение почвенных слоев относительно друг друга, их внутреннее трение. Вообще-то в природных ситуациях эти силы (сжатия и сдвига) различить трудно, они обязательно сопровождают друг друга. Это хорошо иллюстрируется сжатием и сдвигом почвы под действием колеса техники.

Из-за механического давления почва будет уплотняться непосредственно под колесом, а также передвигаться в стороны от воздействующего колеса. Изменения почвы под действием силы, расположенной перпендикулярно к поверхности, т.е. непосредственно вниз от колеса, – это уплотнение под действием напряжения сжатия или под действием нормального давления (напряжения), что подчеркивает расположение воздействующей силы по нормали к поверхности.

Изменение почвы, наблюдающееся в стороне от воздействующего колеса, происходит за счет напряжения сдвига. Это давление (напряжение) заставляет почвенные слои перемещаться относительно друг друга, «скользить» один по другому. Для удобства рассмотрения ознакомимся поочередно с деформациями сжатия и сдвига.

### Деформация сжатия

Под действием нормального давления  $P_\sigma$  почва уплотняется, т.е. уменьшается объем ее порового пространства. Если в поровом пространстве заключена вода, а она несжимаема, то сжатие будет определяться только оттоком влаги из этого порового пространства. Этот процесс называется *консолидацией*. Если же образец не насыщен влагой, то его уплотнение будет происходить за счет уменьшения объема порового пространства, заполненного воздухом, – это процесс уплотнения, а если образец сжимается за счет как уменьшения воздухоносной порозности, так и оттока воды, – это процесс *компрессии*. Итак, компрессия в целом включает процессы уплотнения и консолидации. Длительные механические воздействия на насыщенную почву в природе встречаются редко. Поэтому в реальных условиях нередко отождествляют компрессию с уплотнением, хотя в общем виде следует помнить формулу «компрессия = уплотнение + консолидация».

Параметрами, которые регистрируют изменение объема почвенного образца при сдавливании, являются следующие:

1) величина *осадки*, или уплотнения, почвы – процент (доля) изменения линейных или объемных характеристик почвы:  $l_p = \frac{l_0 - l}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$

или  $\frac{V_0 - V}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$  (%), где  $l$  и  $l_0$ ,  $V$  и  $V_0$  – измененная и начальная длина (высота), объем почвенного образца. Иногда используют модуль осадки – величину, аналогичную осадке, или уплотнению,  $e_p$  – это величина уменьшения длины ( $\Delta l$ , мм) образца исходной высотой  $l_0$  в 1 м при приложении дополнительной нагрузки:  $e_p = 1000 \frac{\Delta l}{l_0}$ , мм/м;

2) коэффициент пористости  $e$  есть отношение объема пор к объему твердой фазы почвы:  $e = \frac{V_{ПОР}}{V_{ТВ.ФАЗЫ}}$ , или, если использовать традиционное для физики почв понятие пористости  $\varepsilon$ , то  $e = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_b}$ .

Коэффициент пористости является физически более обоснованным параметром при оценке деформаций, чем традиционная пористость, так как в процессе деформаций необходимо относить все линейные или объемные изменения к независящему от этих воздействий неизменному объему, а этот объем – объем твердой фазы. Только в этом случае возможен сравнительный анализ деформационных явлений – при постоянстве знаменателя в выражении коэффициента пористости:  $e = \frac{V_{ПОР}}{V_{ТВ.ФАЗЫ}}$ . Поэтому в данном пункте мы будем в основном пользоваться коэффициентом пористости.

Итак, если подвергать почву уплотняющему нормальному давлению, ее поровое пространство будет уменьшаться. Для разных почв, для почв в разном состоянии это уплотнение будет различным. Поэтому зависимость изменения коэффициента пористости от нормального давления – это характерная для данной почвы зависимость, называемая компрессионной кривой.

Компрессионная кривая обычно имеет вид экспоненциально убывающей зависимости. Сначала почвенная структура способна выдерживать малые нагрузки, а затем небольшое приложенное давление заметно уменьшает поровое пространство. По мере уменьшения порового пространства почвенные частицы начинают все больше и больше контактировать друг с другом, почва сжимается все меньше и меньше, кривая выполаживается. Как правило, используют полулогарифмические координаты: «коэффициент пористости» – « $\log$  эффективной нагрузки». В этом случае деформационная часть кривой имеет вид, близкий к линейному. Значительно лучше выделяется начальный участок малого изменения порового пространства почв при малых нагрузках вплоть до некоторой величины  $P_{стр}$ . До  $P_{стр}$  структурные

связи в почве способны выдержать прилагаемое давление. Это прежде всего ближние сильнодействующие структурные связи. Если их нет и связи представлены дальними коагуляционными, то этот участок не выражен и кривая плавно экспоненциально убывает. При наличии ближних структурных связей, при достижении некоторого критического давления они разрушаются, порозность почвы резко убывает. Величину критического давления, при котором происходит резкое изменение порозности, называют структурной прочностью ( $P_{cmp}$ ) и характеризуют соответствующей величиной давления – предкомпрессионным давлением  $P_{precom}$  ( $P_{cmp}=P_{precom}$ ). Этой величиной количественно оценивают внутрипочвенные структурные связи, которые не разрушаются под действием эффективных нагрузок в диапазоне напряжений от 0 до  $P_{precom}$ . Она имеет большое значение для оценки устойчивости природных объектов под действием внешних нагрузок.

#### *Определения*

Процесс уменьшения порозности не насыщенных водой почв под влиянием эффективного давления за счет уменьшения объема порового пространства, занятого воздухом, называется **уплотнением**.

**Консолидация** – процесс уплотнения первоначально насыщенной почвы путем отбора (медленного «выжимания») воды при свободном ее оттоке. Определяется скоростью оттока воды.

**Компрессия** – процесс уплотнения не насыщенной влагой почвы, при котором происходит изменение порового пространства почв как за счет уменьшения объема воздухоносных пор, так и за счет оттока влаги из порового пространства. Компрессия почвы включает процессы уплотнения и консолидации. Деформация сжатия характеризуется **компрессионной кривой**: зависимостью коэффициента пористости от эффективного давления (сумма нормального механического давления и всасывающего давления почвенной влаги). Оценивается по индексу уплотнения  $C_c$  или коэффициенту уплотнения  $\alpha$ , показывающему изменение порового пространства почвы на единицу изменения давления (1/Па, 1/атм и проч.).

Величина критического давления, при которой происходит перво-

начальное изменение порозности и начинают проявляться деформационные изменения, называется «**структурной прочностью**» ( $P_{cmp}$ ) и характеризуется соответствующей величиной давления – «**предкомпрессионным давлением**»,  $P_{precom}$  ( $P_{precom} = P_{cmp}$ ). Данная величина характеризует внутрпочвенные структурные связи, которые не разрушаются под действием небольших эффективных нагрузок.

Линейная часть компрессионной кривой (в полулогарифмических координатах) характеризует способность, «податливость» почвы к уплотнению. Эту часть кривой можно описать с помощью линейного

уравнения типа  $e = e_1 - C_c \log(P'_\sigma)$ , или  $C_c = -\frac{de}{d \log P'}$ . Величина  $C_c$  –

это индекс уплотнения, показывающий, насколько изменится поровое пространство при изменении логарифма эффективного давления. Учитывая, что коэффициент пористости при уплотнении зависит только от плотности почвы  $\rho_b$ , индекс уплотнения нередко записыва-

ют в виде  $C_\rho = -\frac{d\rho_b}{d \log P'}$ . Кроме того, в большинстве практических

случаев размах применяемых напряжений не слишком велик, что позволяет считать близкой к линейной и деформационную часть компрессионной кривой в линейных координатах. В этом случае линейное компрессионное уравнение будет иметь вид  $e = A - \alpha P'_\sigma$ , где  $A$  – некоторая константа, характеризующая исходную пористость грунта,  $\alpha$  – коэффициент уплотнения, (1/Па) или (см<sup>2</sup>/г). Этот коэффициент так же, как и индекс уплотнения, характеризует способность почвы уплотняться под внешним воздействием при условии небольшого диапазона действующих напряжений и вида деформационной части компрессионной кривой, близкой к линейной. Коэффициент уплотнения во многом будет зависеть от фундаментальных свойств почвы (гранулометрического и минералогического составов, агрегированности и др.), а также от исходной порозности и содержания воды в поровом пространстве. Если воды в порах совсем нет, то твердые почвенные частицы соприкасаются друг с другом, эти контакты достаточно прочные, чтобы выдержать солидные сдвливающие усилия.

Если в поровом пространстве присутствует влага, то почвенные поры заполнены водой, играющей роль определенной смазки для почвенной частицы. В этом случае уплотнение будет существенно зависеть от содержания влаги в почве.

Итак, сухие почвы практически не изменяют своего объема под действием внешних нагрузок – почвенные частицы находятся в непосредственном контакте друг с другом, их движение относительно друг друга весьма затруднено при отсутствии влаги. По мере увеличения влажности частицы получают возможность двигаться относительно друг друга, и чем больше увеличивается влажность, тем легче это происходит. При некоторой влажности достигается максимум уплотнения почвы, так как при дальнейшем увеличении влажности почвы сжимаются хуже – поровое пространство постепенно заполняется водой, начинают преобладать медленные процессы консолидации. Поэтому в определенном среднем диапазоне влажностей компрессионные кривые лежат ниже кривых для более влажных или более сухих образцов. Отмеченное крайнее положение кривой означает, что при этой влажности происходит наиболее заметное уменьшение пористости прежде всего за счет доли порового воздуха. В этом диапазоне почва в наибольшей степени подвержена механическим нагрузкам. Как правило, в почвоведении принято использовать не величину коэффициента пористости, а величину плотности, которую мы непосредственно определяем в поле. В этом случае зависимость будет иметь максимум плотности в некотором диапазоне влажностей, а при различных уплотняющих воздействиях уже появится семейство кривых с одним максимумом.

Но что характерно – чем слабее уплотняющее воздействие, тем меньше плотность при максимальном уплотнении и тем при большей влажности наблюдается этот максимум. Если первый отмеченный факт тривиален, то второй – весьма интересен. Получается, что большие нагрузки способны «сломать» связи, разрушить структуру порового пространства уже в довольно сухих образцах, уплотнить их до предельных значений для данного уплотняющего воздействия. Небольшие же, напротив, не способны разрушить структурные связи при низкой

влажности, и для изменения порового пространства требуется высокая влажность. Только при высокой влажности создаются условия для уплотнения почвы. Поэтому столь важно производить обработку почвы в определенном состоянии влажности, не заезжать в поле при высокой влажности.

Рассмотренное влияние влажности представлено в схематичном виде. Но это действительно «схематическое» представление. В каждом конкретном случае, для каждого почвенного образца эти кривые будут различаться и изменяться в соответствии с гранулометрическим составом, структурой почвы, содержанием органического вещества. Общие правила здесь таковы: заметному уплотнению подвергаются лишь почвы тяжелого гранулометрического состава: средние и тяжелые суглинки, глины, т.е. почвы, содержание физической глины в которых превышает 30 – 40 %. Кроме того, если почвенные агрегаты водоустойчивы, прочные и достаточно плотные, то почва подвергается меньшему уплотнению. Влияние органического вещества на уплотнение сказывается прежде всего в том, что чем выше содержание почвенной органики, тем почва легче уплотняется. Это вполне понятно: органическое вещество, также как вода в почве, может служить определенной «смазкой» и само легко уплотняется. Но в данном случае роль органического вещества состоит прежде всего в том, что при его высоком содержании почва может легко разуплотняться, снова переходить в рыхлое состояние. Это особенно важно для почвенных агрегатов, которые являются хранилищем питательных веществ, «домом» почвенной биоты, а их разрыхлить никакой вспашкой, культивацией невозможно. Только почвенная биота, разнообразно поглощая и превращая почвенное органическое вещество, может разрыхлить почвенные агрегаты. Поэтому столь важно внесение органических удобрений, в том числе зеленых органических удобрений для разрыхления почвы и составляющих ее почвенных агрегатов.

### **Деформация сдвига**

Если к почвенному образцу прикладывать боковое усилие, тангенциальное давление  $P_{\tau}$ , то почвенные слои будут смещаться относи-

тельно друг друга. При этом будет возникать сопротивление, называемое *сопротивлением сдвига*. Это сопротивление имеет природу внутреннего трения, возникающего за счет сил сцепления почвенных частиц, агрегатов друг с другом, обозначается как  $\tau_\varepsilon$  (Па, атм и пр.).

#### *Определения*

**Сопротивление сдвигу** ( $\tau_\varepsilon$ , Па, атм и проч.) – это давление, оказываемое почвой при действии касательных (тангенциальных) напряжений.

**Сцепление** ( $C$ , Па, атм и проч.) – это взаимодействие между отдельными почвенными частицами, обусловленное, как правило, жесткими необратимыми кристаллизационными и смешанными связями. Это часть сопротивления сдвигу, которая не зависит от нормального давления.

Как уже указывалось выше, сдвиговые деформации в почве возникают совместно с деформациями сжатия. Поэтому в самом общем случае сопротивление сдвигу будет определяться еще и нормальным давлением  $P_\sigma$ , которое будет влиять на величину внутреннего трения, и независимой от нормального давления величиной сцепления. Эта взаимосвязь выражается классическим уравнением Кулона.

$$\tau_\varepsilon = P_\sigma \operatorname{tg}\varphi + C,$$

где  $P_\sigma$  – нормальное давление [кПа, атм];  $C$  – сцепление [кПа, атм];  $\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент внутреннего трения (безразмерная величина). Из этой формулы становится понятным смысл коэффициента внутреннего трения – это коэффициент пропорциональности между вертикальным уплотняющим давлением и частью сопротивления сдвигу, обусловленного только возрастанием внутреннего трения за счет этого уплотняющего воздействия.

Это хорошо видно из рис 1.5, представляющего график зависимости сопротивления сдвигу от нормального давления – прямой, имеющей наклон, равный  $\varphi$ , и отсекающей на оси ординат постоянную величину – величину сцепления  $C$ . Физический же смысл этого пара-

метра заключается в том, что на поверхности скольжения образуется тонкая зона разрыхления, частицы трутся друг об друга, что отражается на величине  $\operatorname{tg}\varphi$ , которая может быть больше единицы (т.е. увеличивать воздействие нормальной силы) в плотных с призматической блочной структурой почвах, песках, и меньше единицы – в рыхлых глинах.

### Сопротивление пенетрации

В почвоведении всегда была потребность быстро и точно оценить состояние почвы в отношении условий проникновения в нее корней растений, сельскохозяйственных орудий и прочего. Поэтому было предложено понятие «сопротивление пенетрации почвы (грунта)» ( $P_{pen}$ ) – сопротивление почвы внедрению в нее металлического зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра (обычно от 1 до 5 мм). Традиционно до сих пор в почвоведении в отношении сопротивления пенетрации используют и термин «твердость почвы». Таким образом, «сопротивление пенетрации» и «твердость почвы» – термины-аналоги, но использование термина «сопротивление пенетрации» физически более правильное, так как «твердость» – сопротивление материала вдавливанию или царапанию, не является физической постоянной, а представляет собой сложное свойство, зависящее как от прочности и пластичности материала, так и от метода измерения.

Определение сопротивления пенетрации проводят специальными приборами – пенетрометрами (твердомерами). При внедрении зонда пенетрометра в почву происходят разнообразные процессы. Лучше всего это рассмотреть на схеме (рис. 1.6, а).

Как видно, при внедрении конусного зонда наблюдаются уплотне-

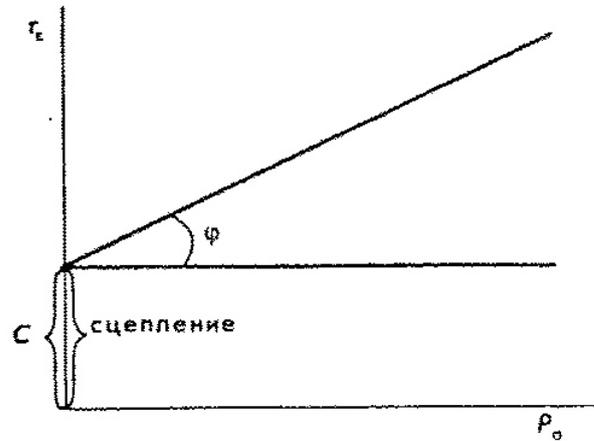


Рис. 1.5. Зависимость сопротивления сдвигу от нормального давления

ние почвы, деформации сдвига, а также трение металла о почву, поэтому получаемый параметр несет в себе разнообразную информацию и в большинстве случаев важен как самостоятельная величина – сопротивление пенетрации.

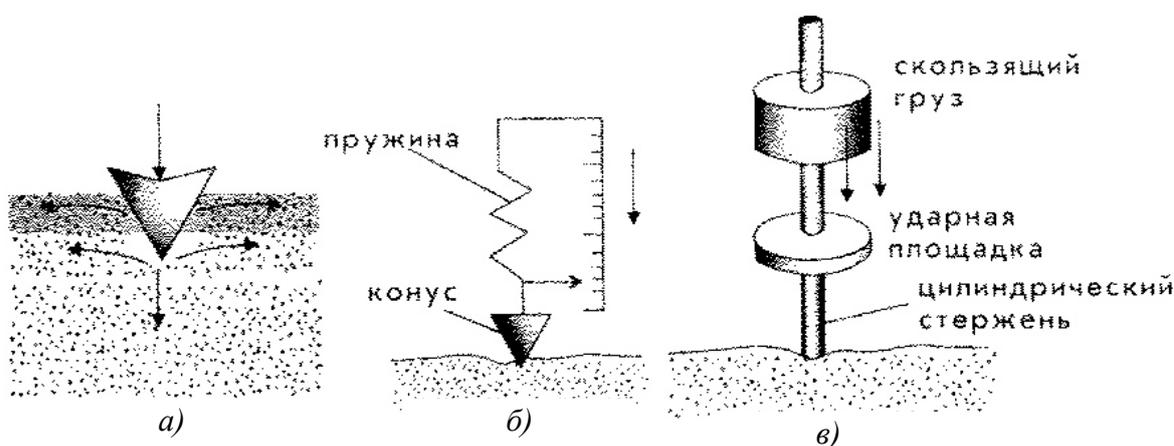


Рис. 1.6. Схема внедрения конического штампа пенетromетра (а) и основные типы пенетromетров: пружинный (б) и ударного типа (в)

В результате при использовании пенетromетров мы экспериментально определяем силу, которая необходима для внедрения штампа (конусного либо цилиндрического) в почву. Эту силу можно измерить с помощью пружины как в пенетromетре МВ-2 или конструкции Н.А. Качинского (рис. 1.6, б). В этом случае следует обратить внимание на тарировку прибора. Необходимо регулярно тарировать пружинные пенетromетры, прикладывая известные грузы к пружине (или сдавливая пружину и одновременно измеряя сдавливающую нагрузку, например, на весах, в килограммах или граммах) и снимая соответствующие показания со шкалы прибора. Значения регистрируемой силы  $F$  следует относить к постоянной площади цилиндрического штампа или основания конусного  $S$ , получая значения сдавливающего напряжения (или давления):  $P = \frac{F}{S}$ . Зависимость показаний прибора от придаваемой нагрузки должна быть линейной, что позволяет пользоваться одной величиной – постоянной пенетromетра.

Сопротивление пенетрации для приборов ударного типа (рис. 1.6, в)

рассчитывается по массе скользящего груза, высоте и количеству падений. Используется следующая формула:  $P_{pen} = n \frac{mgh_1}{Sh_2}$ , где  $n$  – количество падений груза массой  $m$  ( $m \cdot g$  – вес груза, кг) с высоты  $h_1$ ;  $S$  – площадь погружаемого в почву стержня;  $h_2$  – глубина внедрения стержня. Измеряется в килограммах на квадратный сантиметр.

Сопротивление пенетрации зависит от разнообразных почвенных свойств так же, как и компрессия, и сопротивление сдвигу. Прежде всего, это влажность, при которой производят измерение, ведь, как правило, это происходит в полевых условиях. Эта зависимость  $P_{pen}(W)$  весьма интересна, она нелинейная, зависит от агрегированности почвы. В песчаных и хорошо структурированных почвах по мере подсыхания почвы сопротивление пенетрации имеет максимум при некоторой влажности, а при дальнейшем иссушении сопротивление пенетрации убывает, так как почва распадается на отдельные песчинки или агрегаты. В бесструктурной почве или почве с призматической структурой сопротивление пенетрации возрастает при уменьшении влажности практически линейно.

Кроме того, сопротивление пенетрации, конечно же, будет зависеть от таких фундаментальных свойств, как гранулометрический состав, минералогический состав и состав ППК, агрегатный состав, и наконец, плотность почвы. Из общих закономерностей отметим следующие. Сопротивление пенетрации увеличивается при одной и той же влажности (давлении влаги) в почве:

- в песчаных почвах (песок непластичен, обладает жестким каркасом);
- при увеличении плотности почвы;
- уменьшении доли  $\text{Na}^+$  в ППК;
- снижении доли смектитовых минералов в составе глинистой части почвы;
- снижении содержания агрономически ценных агрегатов в структуре почвы.

Даже это весьма упрощенное и схематичное представление о зависимости сопротивления пенетрации от почвенных свойств указывает

на его важность для оценки почв. Именно поэтому измерение этого свойства является одним из обязательных при агрофизических обследованиях почвенного покрова. Однако всегда следует учитывать состояние влаги в почве, ее влажность, а также метод (прибор), с помощью которого производится измерение этой важной характеристики. Критическим значением сопротивления пенетрации, при котором затруднено проникновение корней в почву, и растения начинают заметно страдать, считается величина 3 МПа (примерно 30 кг/см<sup>2</sup>). Хотя в ряде стран приняты более строгие нормы, до 0.5 Мпа.

#### *Определения*

**Сопротивление пенетрации почвы** – сопротивление почвы внедрению в нее зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра ( $P_{pen}$ , кПа или другие единицы давления). Определяется с помощью специальных приборов – пенетрометров, которые необходимо тарировать, экспериментально находя постоянную прибора – величину напряжения сжатия или растяжения на единицу шкалы прибора (Па/см или (кг/см<sup>2</sup>)/см, т.е. давление/длина).

**Сопротивление пенетрации** характеризует способность почвы противодействовать проникновению в нее не только агротехнических орудий, но и корней растений. Повышенное сопротивление пенетрации указывает на переуплотненность почвы. Критическое значение  $P_{pen}$  для суглинков составляет около 3 МПа.

### **1.5. Влажность и водные свойства почв**

#### **Влажность почв**

Влажность почвы в почвоведении определяется как количество воды, приходящееся на единицу веса абсолютно сухой почвы. Важно подчеркнуть, что расчет влажности ведется именно на абсолютно сухую навеску. Поэтому если встречаются значения влажности более 100 % (при процентном выражении доли воды к весу абсолютно сухой почвы), значит, речь идет об оторфованных почвах, торфах, лесных подстилках, степном войлоке и тому подобном, когда вес абсо-

лютно сухого вещества значительно меньше, чем вес влаги, вмещающейся в нем. Обычные же минеральные почвы имеют диапазон изменения влажности от долей до 50 % к весу.

Существует три способа представления данных о влаге в почве. Первый способ – это отношение массы воды к массе абсолютно сухой почвы, т.е. к массе твердой фазы (г/г) или, если умножить на 100, то в процентах:

$$W = \frac{m_w}{m_s} \text{ (г/г или \% к весу); } W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}},$$

где  $m_w$  – масса воды;  $m_s$  – масса твердой фазы;  $m_{\text{вл}}$  – масса влажной почвы;  $m_{\text{сух}}$  – масса сухой почвы (равная  $m_s$ );  $W$  – весовая или массовая влажность почв (г/г или % к весу при умножении на 100).

2-й способ выражения – это отношение массы (или объема) воды к объему почвы  $V_t$ , – объемная влажность ( $\theta$ , см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>):

$$\theta = \frac{m_w}{V_t}.$$

Нетрудно показать, что объемная и весовая влажности взаимосвязаны через плотность почвы  $\rho_b$ :  $\theta = W\rho_b$ .

Существует еще один очень важный способ выражения влаги – в виде запасов влаги (ЗВ) в конкретном слое почвы:

$$\text{ЗВ} = \frac{W\rho_b h}{100} \text{ (см водного слоя),}$$

где  $h$  – мощность слоя, см;  $\rho_b$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $W$  – влажность весовая, %.

Это балансовая форма представления данных по влажности. Используется она в основном для характеристики запасов влаги, балансовых расчетов, для выражения всех составляющих водного баланса в одних единицах.

С помощью указанных трех способов выражения влажности почвы всегда можно рассчитать количество воды в почве, приходные и расходные статьи водного баланса почвы. Но для оценки состояния влаги, ее подвижности, ее доступности для растений этого недостаточно (существует образное выражение “Вода в почве – это

совсем не то же самое, что вода в ведре”). Вода в почве представлена различными формами, характеризующимися прежде всего различной степенью ее связи с твердой фазой почвы. Это тоже одна из специальных гипотез в физике почв – учение о почвенно-гидрологических константах, которое формировалось в основном в рамках отечественной физики почв. Такие известные российские физики почв, как А.А. Роде, С.И. Долгов, Н.А. Качинский неоднократно в специальных экспериментах доказывали, что вода в почве при различном ее содержании (влажности) далеко не равнозначна по своим свойствам. Более того, одно и то же влагосодержание (влажность) в различных почвах может быть различно по подвижности, по доступности для растений. Например, если влажность почвы равна 15 % к массе почвы, то из песчаного образца с такой влажностью вода может свободно вытекать и будет доступна растениям. Но на тяжелосуглинистой или глинистой почвах при такой влажности растения будут испытывать недостаток влаги и засыхать. Получается, что абсолютная величина влажности без сопутствующих знаний о других фундаментальных свойствах почв дает ограниченную информацию. В связи с этим и было развито учение о почвенно-гидрологических константах как о состояниях воды в почве, отличающихся по скорости ее передвижения в почве, возможности потребления растениями и другим функциональным характеристикам почвенной влаги.

#### *Определения*

**Влажность (весовая)** – количество воды, приходящееся на единицу массы абсолютно сухой почвы.

**Влажность (объемная)** – количество воды, приходящееся на единицу объема абсолютно сухой почвы.

**Влагоемкость** – максимальное количество воды, удерживаемое в почве силами определенной природы. Понятие влагоемкости является основой учения о почвенно-гидрологических константах.

**Почвенно-гидрологическая константа** – характерная влажность почвы, определяемая по ее состоянию или по состоянию контактирующих с почвой объектов и используемая в практических почвенно-физических, гидрологических, мелиоративных расчетах.

## Почвенно-гидрологические константы

Представим себе весьма большой высокий почвенный монолит, который помещен в поддон с водой (рис. 1.7).

Начнем с условий, когда все поровое пространство заполнено водой. Эта величина влажности называется *полной влагоемкостью*, или *водовместимостью* ( $W_s$  или  $\theta_s$ ). Теоретически величина  $\theta_s$  должна быть равна порозности  $\varepsilon$ , так как обе они выражают объем порового пространства (заполненного или не заполненного водой) в отношении всего объема образца. Практически такого соответствия достичь весьма трудно даже в лабораторных условиях: в образце всегда останутся пузырьки воздуха, всегда будет присутствовать во всевозможных кавернах так называемый «защемленный воздух». Поэтому величина водовместимости всегда несколько меньше порозности. В природных условиях величина водовместимости наблюдается в зоне грунтовых вод, верховодки.

Как известно, над уровнем грунтовых вод располагается верховодка. В верховодке влага содержится в капиллярах, которые в нижней своей части находятся в грунтовой воде. Поэтому, по образному выражению классиков физики почв, – это «капиллярно-подпертая вода». Влажность, соответствующая этому состоянию воды, носит название *капиллярной влагоемкости* (КВ), или влажности при КВ  $\theta_{кв}$ . Здесь поровое пространство, кроме заполненных водой капилляров, уже будет содержать некоторое количество воздуха. Его количество будет равно  $\varepsilon_{кв} = \varepsilon - \theta_{кв}$ . Строго говоря, в пределах капиллярной каймы не наблюдается постоянной влажности, ведь в нижней части вода содержится в крупных капиллярах, и по мере продвижения вверх по капиллярной кайме – все в более тонких. Соответственно от низа кверху капиллярной каймы и влажность будет изменяться. Поэтому

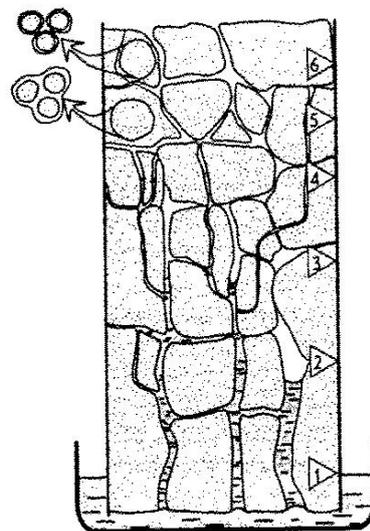


Рис. 1.7. Схема заполнения капилляров почвенного монолита водой

величина капиллярной влагоемкости строго не определена, это некоторая усредненная влажность, свойственная капиллярной кайме, «капиллярно-подпертой влаге».

Если грунтовые воды опустились, находятся глубоко, а влага из почвы свободно стекает, дренируется под действием гравитационных сил, то в почве останется влага, удерживаемая только капиллярными силами. Эта влажность называется *наименьшей влагоемкостью* (НВ или  $\theta_{НВ}$ ) (синонимы: предельно полевая влагоемкость, полевая влагоемкость, field capacity). Эта величина определяется физически уже более строго, чем капиллярная влагоемкость: если почву при условии свободного оттока и отсутствия слоистости сначала насытить водой до водовместимости, а затем подождать, когда стечет вся вода, способная передвигаться под действием сил гравитации, останется вода, удерживаемая капиллярными силами. При достижении равновесия в почве будет наблюдаться величина влажности, соответствующая наименьшей влагоемкости. Это уже определенный качественный критерий: если влажность в почвенном горизонте будет выше НВ, то из него влага будет перетекать в нижележащий до тех пор, пока не будет достигнута в верхнем слое влажность, равная НВ. Этим качеством НВ пользуются при расчетах перетекания влаги из слоя в слой. Кроме того, это равновесная влажность, которую возможно определить в поле, она наблюдается в почве весной, после таяния снега, стекания гравитационной воды и представляет собой весенние запасы влаги. Именно потому, что НВ представляет количество воды, которое удерживается почвой после осадков или полива, эта величина является основой большинства гидрологических, мелиоративных расчетов.

Таким образом, наименьшая влагоемкость – важнейшая в агрофизике почвенно-гидрологическая константа. Она важна и тем, что характеризует содержание в почве воздуха в этот момент. Характеристическая величина воздухоудержания при влажности НВ носит название *воздухоемкости*:  $\varepsilon_{\text{возд}} = \varepsilon - \theta_{\text{нв}}$ . Ниже приведены оптимальные

диапазоны воздухоемкости для различных по гранулометрии почв:

- песчаные – 20 – 25 %;
- суглинистые – больше 15 – 20 %;
- глинистые – больше 10 %.

Если величина воздухоемкости будет ниже указанного оптимума, то в почве будут наблюдаться неблагоприятные, близкие к анаэробным условия. Может это происходить, например, при уплотнении почв, когда заметно уменьшается поровое пространство почв, и при некоторых других процессах.

Итак, мы достигли такого состояния почвы, когда влага содержится только в капиллярах. Эта влага легко передвигается из одной точки почвы в другую под действием капиллярных сил, легко переносит ионы растворимых солей. Однако по мере иссушения почвы влага остается во все более тонких капиллярах, движение в них становится медленнее и в какой-то момент влажности замедляется весьма резко и заметно. Качественно этот момент может характеризоваться прерыванием сплошной сети капилляров. В отдельные капилляры входит воздух, гидравлическая связь между капиллярами нарушается, что и отмечается резкой потерей подвижности воды. По предложению А.А. Роде и М.М. Абрамовой, эта величина влажности получила название *влажности разрыва капиллярной связи* (ВРК). Эта почвенно-гидрологическая константа весьма важна. Она характеризуется заметным уменьшением подвижности почвенной влаги, так как почвенная капиллярная влага уже не представляет собой единой гидравлической связи, а распадается на отдельные капилляры и остается в виде пленок. Движение воды, ее доступность для растений резко снижаются. И хотя общепринятых методов определения капиллярной влаги нет, иногда эту величину считают близкой к 70 % от наименьшей влагоемкости для суглинистых почв, а для песчаных и супесчаных – около 50 – 60 % от НВ.

Представим далее, что на нашей почве росли бы растения. До сих пор они чувствовали себя достаточно влагообеспеченными. При ВРК они еще явно не страдают от недостатка влаги. Однако предположим,

что почва продолжаете иссушаться, терять влагу. В некоторый момент у растений появятся первые признаки завядания, которые исчезнут, если воздухообеспеченность улучшится. Если же продолжать иссушение, то будет достигнут тот момент, когда влажность почвы понизится настолько, что растения приобретут признаки устойчивого завядания. Наступит почвенная засуха. Влажность в этот момент будет равна влажности устойчивого завядания растений, или просто *влажности завядания* (ВЗ). Это также важная гидрологическая константа, указывающая, что в почве больше не содержится доступной для растений влаги. Если и есть вода, то она недоступна для растений, это уже непродуктивная влага. Эта величина экспериментально определяется методом вегетационных миниатюр, когда растения (как правило, ячмень или овес, впрочем, в США принят подсолнечник) выращивают в небольших стаканчиках вместительностью около 100 см<sup>3</sup> до стадии третьего листа. Поверхность почвы прикрывают от испарения песком и парафином и прекращают их полив. Когда обнаруживаются признаки завядания, растения ставят на ночь во влажную камеру. Если после нахождения во влажной атмосфере потеря тургора будет заметна, это означает, что в почве достигнута влажность, соответствующая ВЗ (более подробно см. А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина, 1986).

Если и дальше иссушать почву или двигаться вверх по почвенному монолиту ближе к его поверхности (см. рис. 1.7), то у самой его поверхности будет наблюдаться влажность, соответствующая максимальной гигроскопической влажности. Эта величина также «рубежная», характеризующая наличие в почве адсорбированной, прочно-связанной сорбционными силами твердой фазы влаги. Эта величина условна, определять ее можно только в лаборатории, в условиях равновесия почвы и паров воды при их содержании в окружающей атмосфере, равном 98 %. Поэтому *максимальная гигроскопическая влажность* (МГ,  $W_{мг}$ ) – влажность почвы при нахождении ее в атмосфере с относительной влажностью 98 %, т.е. максимальное количество, которое почва способна сорбировать из близкого к насыщенному парами воды воздуха.

И наконец, самая низкая влажность, которая может наблюдаться только в почвенных образцах, которые находятся в условиях лаборатории и очень редко в природных условиях, – это *гигроскопическая влажность* (ГВ,  $W_2$ ) – влажность почвы, свойственная образцу в атмосфере лаборатории. Относительная влажность воздуха (или относительное давление паров воды) в лаборатории – величина, хотя и заметно колеблющаяся (от 30 до 80 %), но не сильно изменяющая ГВ. Она нужна для расчета массы абсолютно сухой навески  $m_{a-c}$  по данным о массе воздушно-сухой (т.е. в атмосфере лаборатории,  $m_{в-с}$ )

навески:  $m_{a-c} = \frac{m_{в-с}}{W_2 + 1}$ , если  $W_2$  выражена в граммах на грамм, или

$m_{a-c} = \frac{m_{в-с} \cdot 100}{W_2 + 100}$  при использовании выражения  $W$  в процентах.

#### *Определения*

**Полная влагоемкость (водовместимость, ПВ)** – наибольшее количество воды, содержащееся в почве при полном заполнении всех пор и пустот за исключением занятых «защемленным» и адсорбированным воздухом.

**Капиллярная влагоемкость (КВ)** – количество влаги в почве, удерживаемое капиллярными силами в зоне капиллярной каймы грунтовых вод (капиллярно-подпертая влага).

**Наименьшая влагоемкость (НВ)** – это установившаяся после стекания избытка воды влажность предварительно насыщенной почвы; достигается, как правило, через 2 – 3 дня после интенсивного дождя или полива хорошо дренируемой гомогенной почвы.

**НВ** – это наибольшее количество влаги, которое почва в природном залегании может удержать в неподвижном или практически неподвижном состоянии после обильного или искусственного увлажнения и стекания влаги при глубоком залегании грунтовых вод (капиллярно-подвешенная влага).

**Влажность разрыва капиллярной связи (ВРК)** – влажность почвы, при которой прерывается гидравлическая связь капиллярной сети и подвижность влаги в процессе иссушения резко уменьшается. Находится в интервале влажностей между наименьшей влагоемкостью и влажностью устойчивого завядания растений.

**Влажность завядания растений (ВЗ)** – влажность почвы, при которой влага становится недоступной для растений и они, теряя тургор, необратимо (даже при помещении в насыщенную парами воды атмосферу) завядают.

**Максимальная гигроскопическая влажность (МГ)** – влажность, устанавливающаяся в почве при помещении ее в атмосферу с относительной влажностью воздуха 98 %.

**Гигроскопическая влажность (ГВ)** – влажность почвы, соответствующая относительному давлению паров воды в лабораторных условиях. Соответствует влажности воздушно-сухой почвы.

Существует некоторое правило (далеко не всегда соблюдающееся!) о соотношении величин влажностей, соответствующих почвенно-гидрологическим константам.  $ПВ:НВ:ВРК:ВЗ:МГ=1:0.5:0.35:0.25:0.05$ . Но (очень важно!) это правило можно применять лишь для ориентации в величинах почвенно-гидрологических констант, но оно неприменимо для количественных расчетов. Основой для нахождения величин почвенно-гидрологических констант является их экспериментальное определение.

Таким образом, почвенно-гидрологические константы отражают характерные почвенно-гидрологические условия, связанные с определенными силами удерживания воды в почве и ее подвижности и доступности для растений (табл. 1.4).

Если рассмотреть диапазоны между отдельными почвенно-гидрологическими константами, то принято выделять следующие категории:

(ПВ–НВ) – *диапазон подвижной влаги*. Указывает на количество воды, которое может стечь при наличии свободного стока из рассматриваемой почвенной толщи.

**Формы воды и почвенно-гидрологические константы  
для всей области влажностей в почве**

Абсолютно сухая почва	Гигр.	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	ПВ	Водовместимость
Форма связи	Прочносвязанная		Рыхлосвязанная		Слабосвязанная	Несвязанная	Несвязанная
Подвижность	Неподвижная		Слабоподвижная		Подвижная	Подвижная	Свободная
Состояние	Адсорбированная		Пленочная		Пленочно-капиллярная	Капиллярная	Гравитационная
Механизм удерживания (физическая природа сил)	Молекулярные (Ван-дер-Ваальса) химические электростатические		Поверхностное молекулярное натяжение		Капиллярно-сорбционные	Капиллярные	Гравитационные
Природные объекты	Тонкие поверхностные слои почвы полного физического иссушения		Слои почвы от слабого до полного биологического иссушения		Слой почвы после длительно-двух сут) свободного стекания	Капиллярная кайма над грунтовыми водами, горизонт с подперто-подвешенной влагой (при смене слоев по гранулометрическому составу)	Грунтовые воды, почвенные верховодки, надмерзлотные верховодки

*Примечание.* Гигр – гигроскопическая влажность; МГ – максимальная гигроскопическая влажность; ВЗ – влажность завядания ; ВРК – влажность разрыва капилляров; НВ – наименьшая влагоемкость; ПВ – полная влагоемкость

(ПВ – НВ) или (ПВ – динамическая влагоемкость) – *водоотдача*. Это количественная характеристика, отражающая количество воды, вытекающее из почвенного слоя при понижении уровня грунтовых вод от верхней до нижней границы этого слоя. Если уровень грунтовых вод опустился заметно ниже рассматриваемой почвенной толщи,

то для расчета водоотдачи используют разницу между ПВ и НВ. Если же уровень остался в пределах рассматриваемой толщи, то между ПВ и динамической влагоемкостью учитывают распределение влажности в капиллярной кайме грунтовых вод.

(НВ – ВЗ) – *диапазон доступной (продуктивной) влаги*. Для различных почв диапазон, указывающий на количество доступной для растений влаги, может быть различным, например, в песчаных почвах он может достигать 6 – 8, а в суглинистых – 12 – 17 %. Поэтому говорят, что суглинистые почвы содержат больше продуктивной влаги, чем песчаные. Тяжелосуглинистые почвы будут содержать большее количество влаги, чем средне- и легкосуглинистые. В глинах и тем более в тяжелых глинах доступной влаги может быть меньше, чем в средне- и тяжелосуглинистых почвах: в глинах стремительно возрастает количество связанной воды, больше увеличивается ВЗ, чем растет НВ.

(НВ – ВРК) – *диапазон легкоподвижной, легкодоступной для растений влаги*. Это наиболее эффективная часть той продуктивной влаги, которая характеризуется диапазоном (НВ – ВЗ). Иногда этот диапазон заменяют другим – (НВ – 70 %НВ). Этот диапазон влажности следует поддерживать в корнеобитаемом слое, чтобы избежать непродуктивных потерь влаги на стекание ее в нижележащие слои и в то же время способствовать наиболее эффективной работе фотосинтетического аппарата растений.

$W/НВ$  – *относительная влажность*. Это отношение предложено для того, чтобы сравнивать состояние влаги в различных по гранулометрическому составу почвах, ведь сравнение по абсолютным величинам влажности ( $W$ ) мало о чем говорит: в глинистой почве влажность может достигать 20 %, а в песчаной, например, 10 %. Это не означает, что в глинистой почве влага более доступна и подвижна. Напротив, эта величина влажности близка к влажности завядания, в песчаной же – ближе к НВ. Если нормировать влажность величиной наименьшей влагоемкости, характерной для каждого почвенного слоя, то качественное сравнение производить можно. В приведенном примере НВ для глинистой и песчаной почвы будут составлять,

например, 35 и 12 %. Тогда относительные влажности составят 57 и 83 %, что говорит о значительно большей доступности и подвижности влаги в песчаной почве.

Наряду с определением влажности почвы, важным агрофизическим фактором является и содержание в почве воздуха. Известно, что недостаток воздуха в почве приводит к анаэробным процессам, изменению доступности питательных веществ и другим неблагоприятным процессам. Известно также, что эти неблагоприятные процессы развиваются в почве при содержании воздуха менее 10 %. Таким образом, 10 % воздухоудержания – критическая агрофизическая величина.

## **Глава 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ**

### **Лабораторная работа № 1 ПОДГОТОВКА ПОЧВЫ К АНАЛИЗУ**

О свойствах исследуемой почвы судят по результатам анализа. Поэтому очень важно правильно взять образец почвы в поле и умело подготовить его к анализу.

Большинство анализов проводят с образцами почвы в воздушно-сухом состоянии и просеянной через сито с отверстиями 1 мм.

Для определения содержания азота и гумуса, а также механического состава почв требуется специальная подготовка.

Для некоторых видов анализов нужны образцы почвы, только что взятые в поле без предварительного просушивания (для определения нитратов) и образцы воздушно-сухой почвы без предварительного измельчения (для определения структуры).

#### **Общая подготовка образца почвы к анализу**

Образец почвы 500 – 1000 г распределяют тонким слоем на листе бумаги и доводят до воздушно-сухого состояния в чистом и сухом помещении, не содержащем в воздухе пыли и газов. Для определения скелетной части почвы образец после просушивания взвешивают на теххимических весах.

Крупные комочки почвы в образце раздавливают руками, тщательно отбирают корни, различные включения и новообразования. Из подготовленной таким образом почвы берут среднюю пробу для определения содержания гумуса, азота и других анализов. Почву разравнивают тонким слоем на листе оберточной бумаги в виде квадрата или прямоугольника и делят по диагонали на четыре части. Две противоположные части почвы ссыпают в картонную коробку и хранят в нерастертом состоянии. Один экземпляр этикетки образца вкладывают в коробку, а другой наклеивают на ее стенку.

Оставшуюся на бумаге почву тщательно перемешивают, разравнивают тонким слоем и из разных мест небольшой ложкой берут такое количество почвы, чтобы общий вес ее составил 25 – 30 г. Среднюю пробу хранят в бумажном пакете и в дальнейшем используют для определения **гумуса и азота**.

Другую часть почвы измельчают в фарфоровой ступке деревянным пестиком или пестиком с резиновым наконечником и просеивают через сито с отверстиями 1 мм.

Просеянную почву тщательно перемешивают и разравнивают тонким слоем на листе бумаги, разделяют на квадраты и из каждого квадрата берут около 10 г, которые после соответствующей подготовки идут на валовой анализ. Всю оставшуюся почву ссыпают в картонную коробку или бумажный пакет и используют для большинства анализов.

Не прошедшую через сито часть почвы (ее скелет) переносят в фарфоровую чашку, сюда же помещают ранее отобранные каменистые включения и новообразования, наливают дистиллированную воду и содержимое кипятят в течение часа. Затем почву снова переносят на сито с отверстиями 1 мм, тщательно промывают водой и высушивают.

Промытую и высушенную до постоянного веса почву просеивают через колонку сит с отверстиями 10, 5, 3 и 1 мм и разделяют на камни (частицы больше 10 мм), крупный хрящ (10 – 5 мм), мелкий хрящ (5 – 3 мм) и гравий (3 – 1 мм). Затем вычисляют содержание каждой фракции в процентах к весу всей почвы, взятой для анализа.

## **Лабораторная работа № 2** **ГИГРОСКОПИЧЕСКАЯ ВЛАЖНОСТЬ**

Для большинства анализов в лаборатории почву просушивают до воздушно-сухого состояния. Такая почва всегда содержит некоторое количество влаги, называемой *гигроскопической*. Это связано с тем, что почва способна адсорбировать парообразную влагу из воздуха и прочно удерживать ее на поверхности своих частиц. Состоянию увлажнения до гигроскопической влажности соответствует термин “*воздушно-сухая почва*”.

Наибольшее количество гигроскопической влаги почва содержит при полном насыщении воздуха водяным паром, т. е. при относительной влажности 100 %. Это количество гигроскопической влаги называется *максимальной гигроскопической влагой*.

Необходимость определения гигроскопической влаги заключается в следующем: 1) почва для лабораторного анализа поступает в воздушно-сухом состоянии, а результаты его принято рассчитывать на абсолютно-сухую почву; такой расчет можно сделать, если известно содержание гигроскопической влаги; 2) знание величины максимальной гигроскопической влаги позволяет подсчитать запасы доступной (продуктивной) и недоступной влаги в почве.

### Определение гигроскопической влажности

Стеклянный стаканчик с притертой крышкой (бюкс) просушивают до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 100 – 105 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах около 5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, предварительно размельченной в фарфоровой ступке.

Почву в стаканчике (крышку открыть!) сушат в сушильном шкафу при температуре 100 – 105 °С до постоянного веса около 3 ч, после чего стаканчик закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Затем просушивают снова в течение 2 ч. Если вес стаканчика после второй сушки остался постоянным, просушивание заканчивают. В том случае, когда вес уменьшился, почву опять просушивают до тех пор, пока вес не станет постоянным или разница не будет превышать 0,001 г. Гигроскопическую влагу  $W_r$  вычисляют по формуле

$$W_r = \frac{a \cdot 100}{b} \%,$$

где  $a$  – вес испарившейся влаги;

$b$  – вес абсолютно-сухой почвы;

Коэффициент пересчета воздушно-сухой почвы на абсолютно-сухую вычисляют по формуле

$$K = \frac{100}{100 + W_r}.$$

**Пример.** Необходимо вычислить абсолютно сухой вес  $X$  воздушно-сухой навески (10 г), взятой для механического анализа. Гигроскопическая влажность 5 %.

$$K = \frac{100}{100 + 5} \approx 0,95.$$

Тогда  $X = вК = 10 \cdot 0,95 = 9,5$  г.

### Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

*Максимальной гигроскопической влажностью почвы* называют наибольшее количество воды, которое почва может поглотить из воздуха, насыщенного водяными парами.

Максимальная гигроскопичность в сильной степени зависит от гранулометрического состава почвы и содержания в ней гумуса. Чем тяжелее гранулометрический состав и больше содержится гумуса в почве, тем больше максимальная гигроскопичность. Максимальную гигроскопичность используют для приблизительной оценки влажности завядания растений, соответствующей количеству в почве воды, при котором растения начинают завядать. Принято считать, что влажность завядания примерно в 1,34 раза больше максимальной гигроскопичности. Показатель влажности завядания растений используют для расчетов запаса продуктивной влаги в почве.

#### Порядок выполнения работы

Из пробы воздушно-сухой почвы отбирают корни и растительные остатки, растирают ее в ступке и просеивают через сито с отверстиями 1мм. Навеску (небольшое количество просеянной почвы, 1/3 бюкса) помещают в предварительно высушенный и взвешенный бюкс с пришлифованной крышкой. Взвешивания проводят на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Стекланный бюкс с почвой в раскрытом виде ставят в эксикатор, на дно которого налит 10%-ный раствор серной кислоты (метод Митчерлиха) или насыщенный раствор сернокислого калия (метод Николаева) (рис. 2.1).

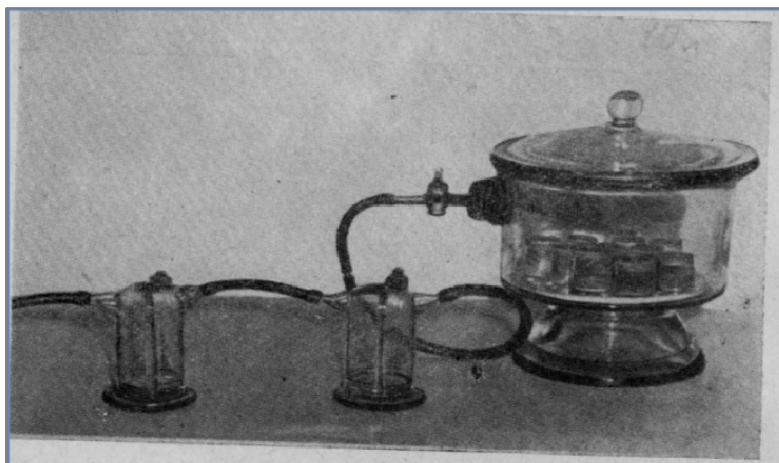


Рис. 2.1. Вакуумный эксикатор для определения максимальной гигроскопической влажности почвы

В эксикаторе над этими растворами создается относительная влажность воздуха 95 – 98 %. При определении максимальной гигроскопичности методом Митчерлиха в эксикаторе создают вакуум с помощью водоструйного или масляного насоса.

Насыщение ведется до постоянной массы, что определяется повторными взвешиваниями почвы и продолжается в зависимости от условий 2 – 4 недели.

После насыщения путем высушивания определяется влажность почвы, которая соответствует максимальной гигроскопичности.

Расчет максимальной гигроскопичности почвы ведется по следующей формуле:

$$W_{\text{мг}} = \frac{a \cdot 100}{b} \%,$$

где  $a$  – масса гигроскопической влаги, г;  $b$  – масса абсолютно сухой почвы, г;  $W_{\text{мг}}$  – максимальная гигроскопичность, %.

#### **Пример расчета максимальной гигроскопичности**

<i>Масса пустого бюкса</i>	12,60 г
<i>Масса бюкса с почвой при насыщении:</i>	
1-е взвешивание	24,52 г
2-е взвешивание	24,53 г
3-е взвешивание	24,53 г
<i>Масса бюкса с почвой после высушивания:</i>	
1-е взвешивание	23,90 г
2-е взвешивание	23,80 г
<i>Масса гигроскопической влаги</i>	0,73 г
<i>Масса абсолютно сухой почвы</i>	11,20 г
<i>Максимальная гигроскопичность</i>	6,50 %
<i>Влажность завядания</i>	8,71 %

Максимальную гигроскопичность из-за большой длительности анализа студенты определяют по сокращенной методике или не определяют. Тогда для расчетов можно использовать данные, приведенные в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Максимальная гигроскопичность и влажность завядания  
некоторых почв, % к массе сухой почвы**

Почва	Влажность завядания	Максимальная гигроскопичность	Отношение влажности завядания к максимальной гигроскопичности
Песчаная	3,3	2,3	1,44
Супесчаная	6,3	4,4	1,45
Легкосуглинистая	9,7	6,5	1,49
Среднесуглинистая	13,9	9,8	1,42
Тяжелосуглинистая	16,3	11,4	1,43

**Лабораторная работа № 4  
ПОЛЕВАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ**

**Определение полевой влажности почвы весовым методом**

Под полевой влажностью почвы понимают количество содержащейся в ней воды. Вода в почве является одним из основных факторов ее плодородия. Недостаток влаги в почве так же, как и избыток ее, сильно снижает урожай сельскохозяйственных культур. Значение полевой влажности почвы дает возможность судить об обеспеченности растений влагой и давать оценку различным агротехнологическим мероприятиям в регулировании водного режима почв. Полевая влажность выражается в процентах к массе абсолютной сухой почвы.

**Взятие образца почвы на влажность**

В поле пробы для определения влажности почвы берут буром из скважины или ножом со стенки разреза. Из пахотного слоя берут одну пробу на всю мощность горизонта (например, 0 – 20 см) или несколько проб из разных его слоев (0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 см). Из других горизонтов пробы почвы для определения влажности берут через 10 см.

Контроль взятия образцов в поверхностном слое пятикратный, глубже – трехкратный или двукратный. Существует несколько конструкций буров для

выемки почвенных проб на влажность (рис. 2.2). Пробы из бура берут стамеской во взвешенный сушильный бюкс.

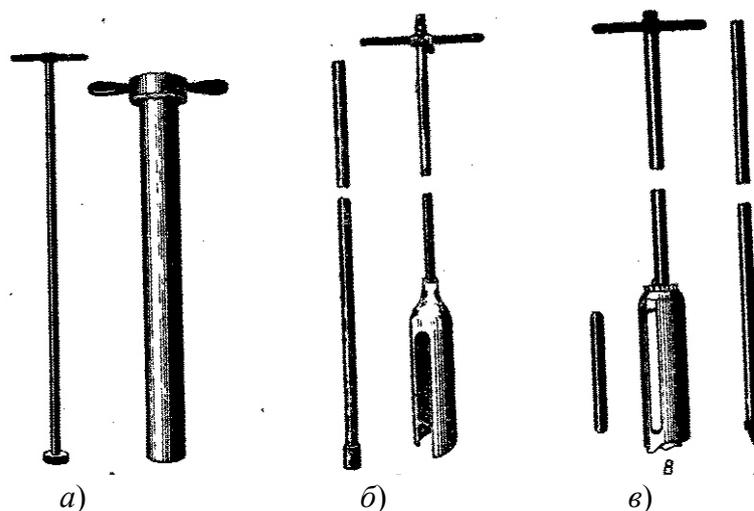


Рис. 2.2. Буры для взятия проб почвы на влажность:  
*а* – бур Качинского; *б* – бур Измаильского; *в* – бур Некрасова

### Порядок выполнения работы

Алюминиевый стаканчик взвешивают на теххимических весах с точностью до 0,01 г, наполняют его на 2/3 части почвой (25 – 30 г), закрывают крышкой и взвешивают на теххимических весах. Затем ставят в сушильный шкаф при температуре 100 – 105 °С и сушат до постоянного веса. Крышку надо снять и надеть на дно стаканчика. После просушивания закрытый стаканчик охлаждают в эксикаторе и взвешивают (рис. 2.3).

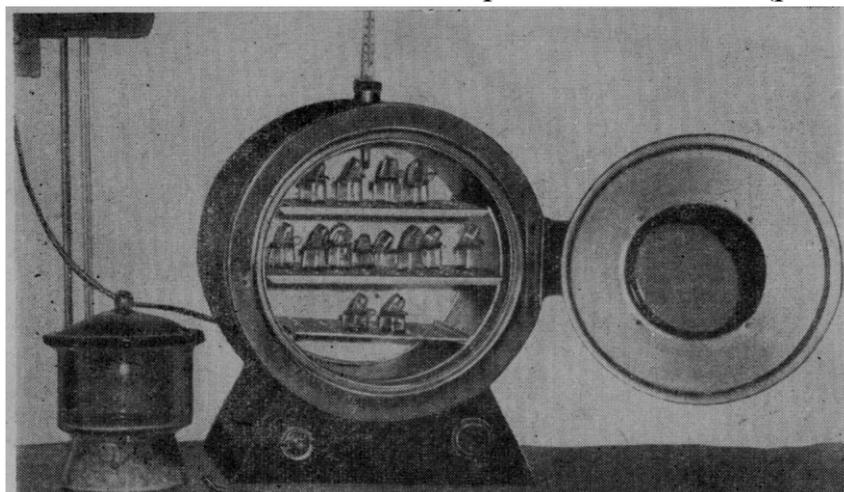


Рис. 2.3. Шкаф для сушки образцов почвы при определении влажности

Результаты взвешивания записывают в рабочую тетрадь.

**Вычисление:** массу испарившейся воды в пробе почвы определяют по разности массы стаканчика с почвой до и после высушивания. Для выражения влажности почвы в процентах вычисляют массу абсолютно сухой почвы по разнице массы стаканчика с почвой после сушки и массы пустого стаканчика.

Полевая влажность в процентах от массы сухой почвы вычисляется по формуле

$$W = a/b \cdot 100,$$

где  $a$  – масса испарившейся воды, г;  $b$  – масса абсолютно-сухой почвы, г;  
 $W$  – полевая влажность, %

#### **Пример расчета определения влажности почвы**

Масса стаканчика пустого	24,5 г
Масса стаканчика с почвой до высушивания	49,3 г
Масса стаканчика с почвой после высушивания	46,4 г
Масса испарившейся воды (49,3 – 46,4)	2,9 г
Масса абсолютно-сухой почвы в пробе (46,4 – 24,5)	21,9 г
Полевая влажность почвы (2,9/21,9)×100	13,2 %

Записи ведут в рабочей тетради для лабораторно-практических занятий.

### **Лабораторная работа № 5 ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ**

Твердая фаза почвы состоит из частиц различной величины, которые называются механическими элементами, или гранулами.

*Гранулой*, или элементарной почвенной частицей, называют обособленную минеральную, органоминеральную или органическую частицу кристаллического или аморфного строения, все молекулы которой находятся в химической взаимосвязи. Различают первичные механические элементы, которые образуются в процессе выветривания, дробления горных пород и минералов (под влиянием физических атмосферных факторов – температуры, ветра и водных потоков), и вторичные частицы, образующиеся путем синтеза конечных продуктов выветривания молекулярного и коллоидального размеров, коагуляции, а также биологическим путем в результате жизнедеятельности высших и низших растений.

Из первичных частиц обычно состоят крупные фракции, из вторичных – мелкие: глинистые и иловатые.

В табл. 2.2 приводится классификация Н.А. Качинского механических элементов почвы.

Сумму всех механических элементов почвы размерами меньше 0,01 мм называют физической глиной, а больше 0,01 мм – физическим песком. Кроме того, выделяют мелкозем, в который входят частицы меньше 1 мм, и скелетную часть почвы с частицами больше 1 мм.

Таблица 2.2

### Классификация механических элементов по крупности

Механический элемент	Размер механического элемента, мм
Камни	Больше 3
Гравий	3 - 1
Песок: крупный	1 - 0,5
средний	0,5 - 0,25
мелкий	0,25 - 0,05
Пыль: крупная	0,05 - 0,01
средняя	0,01 - 0,005
мелкая	0,005 - 0,001
Ил: грубый	0,001 - 0,0005
тонкий	0,0005 - 0,0001
Коллоиды	Меньше 0,0001

Относительное содержание в почве или породе механических элементов называется *гранулометрическим составом*, а количественное определение их – *гранулометрическим анализом*.

### Определение гранулометрического состава по средней пробе в стоячей воде (метод пипетки)

Для анализа из коробочного образца берут среднюю пробу воздушно-сухой почвы массой 100 – 150 г для подготовки к анализу. Небольшими порциями почву переносят в фарфоровую ступку, растирают пестиком с каучуковым наконечником, просеивают через сито с отверстиями в 1 мм и рассыпают тонким слоем на стекле или глянцевой бумаге, делят на 10 квадратных участков и роговой ложечкой или совочком равномерно из

каждого квадрата берут почву для составления средних проб. Для анализа готовят 3 навески, г:

	Тяжелосуглинистая и суглинистая почва	Супеси и пески
1. Для определения гигроскопической воды	4 – 5	10.0
2. Для определения потери от обра- ботки HCl	10 – 15	20 – 30
3. Для приготовления анализируемой суспензии	10 – 15	20 – 30

Если гигроскопическую влагу уже определяли, то во второй раз ее устанавливать не надо.

Пробы для анализа отвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г и переносят в 3 фарфоровые чашки. Одна служит для приготовления анализируемой суспензии, другая – для определения потери при обработке HCl. Третья – для определения гигроскопической влаги (если необходимо).

Чтобы выяснить, содержатся ли в почве карбонаты, на почву в фарфоровой чашке наносят несколько капель 10 %-ной HCl. Присутствие карбонатов отмечают по выделению пузырьков CO<sub>2</sub>. Если содержатся карбонаты, то для их разрушения почву в обеих чашках обрабатывают небольшими порциями 0,2 н. HCl до прекращения выделения пузырьков CO<sub>2</sub>.

После разрушения карбонатов почва постепенно переносится 0,05 н. HCl на фильтр в воронке, причем пробы для определения потери от промывания помещают на заранее взвешенный фильтр. На фильтре почву промывают 0,05 н. HCl до исчезновения реакции на Ca<sup>++</sup>. Для этого собирают 3 мл фильтрата в пробирку, нейтрализуют его аммиаком (10 %), добавляя его до появления запаха аммиака, подкисляют несколькими каплями уксусной кислоты (10 % CH<sub>3</sub>COOH), добавляют 3 мл 4 %-ного щавелевокислого аммония ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) и нагревают пробирки до кипения. При наличии кальция появится белая муть или кристаллический осадок щавелевокислого кальция (CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). При отсутствии мути обработку почвы 0,05 н HCl заканчивают.

Почву на фильтрах отмывают от HCl дистиллированной водой до исчезновения реакции на хлор. Для определения конца промывания набирают в пробирку из-под воронки 3 – 5 мл фильтрата, подкисляют его 10 %-ной HNO<sub>3</sub> и прибавляют несколько капель AgNO<sub>3</sub>. Отсутствие белой мути указывает на конец промывания. В случае появления мути в фильтрате (прохождение коллоидов через фильтр) промывание прекращают даже при наличии реакции на хлор.

Почву со взвешенным фильтром после обработки HCl и водой переносят во взвешенный сушильный стаканчик и просушивают до постоянного веса при температуре 105 °С. Определяют потерю при обработке почвы.

Почвы, не вскипающие от HCl, смачивают в чашке 0,05 н. HCl. Этим же раствором кислоты их переносят на фильтры и промывают, как было описано выше, до исчезновения реакции на кальций, а потом на хлор.

### Ход гранулометрического анализа

По окончании промывания почвы с невзвешенных фильтров поступают для анализа. Почву с фильтра смывают промывалкой в фарфоровую чашку слабой струей дистиллированной воды, сам же фильтр во второй чистой чашке очищают от приставших частиц почвы стеклянной палочкой и отжимают. Если из фильтра выжимается прозрачная вода, то это указывает на отсутствие в нем иловатых частиц почвы.

Из обеих фарфоровых чашек суспензию почвы переносят через воронку в коническую колбу вместимостью 750 см<sup>3</sup>. В колбу доливают дистиллированную воду до 250 см<sup>3</sup> и прибавляют раствор 1 н. NaOH исходя из емкости поглощения – 1 мл на 10 мг экв. емкости поглощения. Средняя норма NaOH для типичных почв представлена в табл. 2.3.

Таблица 2.3

### Количество вводимой в суспензию 1 н. NaOH для различных типов почв

Тип почвы	Количество 1 н. NaOH, мл
Черноземы тучные	6
Черноземы обыкновенные	5
Черноземы южные (маломощные)	4,5
Каштановые почвы	3,5
Бурые почвы	3
Серые лесные почвы	3
Сероземы	2

Окончание табл. 2.3

Тип почвы	Количество 1 н. NaOH, мл
Подзолистые почвы тяжелые: горизонты А1 и А2 подгоризонты В1, В2, В3	1 2
Подзолистые почвы легкие	0,5
Солонцы и солонцовые почвы	От 2 до 5
Остальные	1,5

Колбы с содержимым оставляют стоять в течение двух часов, встряхивая при этом через 15 мин.

После двухчасового отстаивания вставляют в колбу воронку и кипятят на умеренном пламени 1 ч. Прокипяченную и охлажденную до комнатной температуры суспензию почвы пропускают через сито с отверстиями 0,25 мм, которое устанавливают на стеклянной воронке, вставленной в литровой цилиндр (диаметром 6 – 8 см). Сито струей дистиллированной воды тщательно промывают, при этом почву слегка протирают рукой. Оставшиеся на сите частицы почвы диаметром 1 – 0,25 мм струей воды из промывалки смывают в чашку и, если нужно, разделяют с помощью сита с отверстиями диаметром 0,5 мм на две фракции: 1 – 0,5 мм и 0,5 – 0,25 мм. Фракции переносят в предварительно взвешенные стаканчики, воду выпаривают на этернитовой плитке, затем высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянного веса.

Суспензию в цилиндре доливают дистиллированной водой до одного литра и отсюда берут пробы пипеткой для определения механических элементов размером меньше 0,25 мм, принимая во внимание скорости падения частиц в воде по Стоксу.

Пробы из цилиндра берут пипеткой на 25 мл с различной глубины для различных групп механических элементов. Всего берут четыре пробы в такой последовательности:

- I проба с глубины 25 см; частицы меньше 0,05 мм;
- II проба с глубины 10 см; частицы меньше 0,01 мм;
- III проба с глубины 10 см; частицы меньше 0,005 мм;
- IV проба с глубины 7 см, частицы меньше 0,001 мм.

Сроки взятия проб с различных глубин, считая с момента взмучивания суспензии, варьируют в зависимости от температуры и удельного веса

твердой фазы почвы. В табл. 2.4 приведены сроки, в которые берут пробы по Н.А. Качинскому для почвы с удельным весом 2,60.

Таблица 2.4

### Сроки взятия проб

Диаметр частиц, мм	Глубина погружения пипетки в суспензию для взятия пробы, см	Время отстаивания при температуре, °С			
		10	15	20	30
Меньше 0,05	25	149 с	130 с	115 с	92 с
Меньше 0,01	10	24 мин 52 с	21 мин 45 с	19 мин. 14 с	15 мин 17 с
Меньше 0,005	10	1 ч 39 мин 27 с	1 ч 26 мин 59 с	1 ч 16 мин 55 с	1ч 01 мин 10 с
Меньше 0,001	7	29 ч 00 мин	25 ч 22 мин	22 ч 26 мин	15 ч 50 мин

Для наблюдения за температурой термометр опускают в такой же цилиндр с водой, в каком находится почвенная суспензия.

Расчет скоростей падения ведут по формуле Стокса

$$V = \frac{2}{9} gr^2 \frac{d_1 - d}{\eta},$$

где  $r$  – радиус падающей частицы;

$d_1$  – удельный вес падающей частицы;

$d$  – удельный вес жидкости, в которой ведется анализ;

$g$  – ускорение силы тяжести при свободном падении тела, равное 981 см/с;

$\eta$  – вязкость жидкости.

Установка для взятия пробы суспензии представлена на рис. 2.4.

Установка состоит из следующих частей: штатив  $D$ ; пипетка  $A$ ; колба с дистиллированной водой для промывания пипетки  $C$  и аспиратор  $B$  для засасывания суспензии. Колба  $C$  и пипетка  $A$  закрепляются на штативе с помощью шайб с винтами. На штативе имеется еще 3-я шайба  $K$ . Она служит для регулирования погружения пипетки в суспензию на заданную глубину.

Пипетка длиной 26 см имеет овальную форму, что дает возможность лучше промывать ее водой. Верхняя часть пипетки снабжена жестким развилком в виде двух параллельных трубок. На трубке пипетки тонкими резиновыми кольцами отмечают границы для погружения пипетки на глу-

бину 7, 10 и 25 см. В пипетке имеются два крана: один одноходовой кран *Y*, позволяющий регулировать подачу воды из колбы в пипетку, и второй – двухходовой кран *Z*, позволяющий осуществлять засасывание анализируемой суспензии почвы и спуск ее в стаканчик.

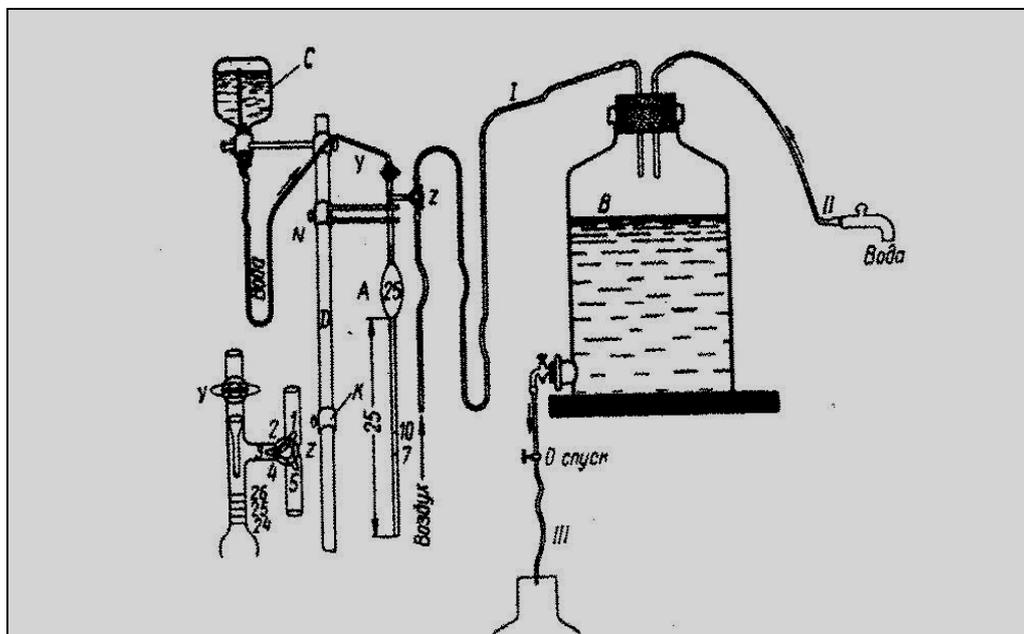


Рис. 2.4. Схема установки для определения механического состава методом пипетки: *D* – штатив, *A* – пипетка; *B* – аспиратор для засасывания суспензии; *C* – колба с дистиллированной водой для промывания пипетки; *K* – шайба для регулирования погружения пипетки в суспензию на заданную глубину; *Y* – одноходовой кран, позволяющий регулировать подачу воды из промывной колбы в пипетку; *Z* – двухходовой кран, позволяющий осуществлять засасывание анализируемой суспензии почвы и спуск ее в сушильный стаканчик; *N* – держатель пипетки

Пробы берут следующим образом.

Закрывают цилиндр пробкой и десятикратным его перевертыванием вверх дном и обратно взмучивают почвенную суспензию. Следует обращать внимание на то, чтобы на дне цилиндра не осталось прилипших частиц почвы. После последнего оборота его ставят на стол и сразу считают время отстаивания.

По истечении срока отстаивания (см. табл. 2.4) с помощью аспиратора в пипетку берут пробу суспензии. Для этого необходимо пипетку по штативу поднять вверх, вести ее внутрь цилиндра, стремясь попасть в центр его поперечного сечения, и снова (осторожно) опустить до соприкосновения держателя *N* с шайбой *K*. Затем открывают кран *Z*, ориентируя изогнутое отверстие в нем в направлении 1 – 3.

Пробу в пипетку засасывают медленно: 25 мл суспензии при определении фракций меньше 0,005 мм – 30 с; фракций меньше 0,01 мм – 25 с и фракций меньше 0,05 мм – 20 с.

Аспиратор для засасывания суспензии соединен тремя каучуковыми трубками с пипеткой краном, подающим воду, и водосливом. Для анализа бутылку аспиратора наполняют водой и плотно закрывают пробкой. Перед взятием проб и во время взятия проб зажим на сливной трубке слегка приоткрывают и создают постоянный отток воды из аспиратора. По окончании проб сливную трубку закрывают зажимом.

Взяв пробу (до черты выше резервуара пипетки), поворотом влево крана *Z* выключают аспиратор (отверстие в кране должно быть ориентировано в направлении 2 – 4), вынимают пипетку из цилиндра и сливают суспензию в протарированный сушильный стаканчик или тигель, для чего кран *Z* снова поворачивают влево (направление отверстия в кране 3 – 5). В пипетку поступает воздух. Открыв кран *Y*, обмывают пипетку дистиллированной водой, которую собирают в тот же сушильный стакан или тигель. Пробу выпаривают на этернитовой плитке до полного высыхания и сушат в течение 4 ч при 105 °С до постоянного веса в сушильном шкафу и взвешивают на аналитических весах.

Взяв первую пробу, суспензию в цилиндре снова взбалтывают и по истечении определенного времени берут вторую пробу и т.д. Время отстаивания отсчитывают после каждого взбалтывания. Доливать цилиндр водой после взятия проб нельзя.

Почву с взвешенными фильтрами, взятую для определения потери от обработки HCl, после отмыва карбонатов 0,05 н. HCl и последующей отмывки хлора переносят в заранее взвешенные сушильные стаканчики, высушивают при 105 °С, взвешивают и определяют потерю от промывания почвы соляной кислотой и водой.

### **Расчет результатов гранулометрического анализа**

1. Процент потери при обработке вычисляют по формуле

$$d = \frac{(a - b)100}{a},$$

где *d* – потеря при обработке, %; *a* – вес абсолютно сухой почвы, взятой для определения потери при обработке; *b* – вес сухой почвы после обра-

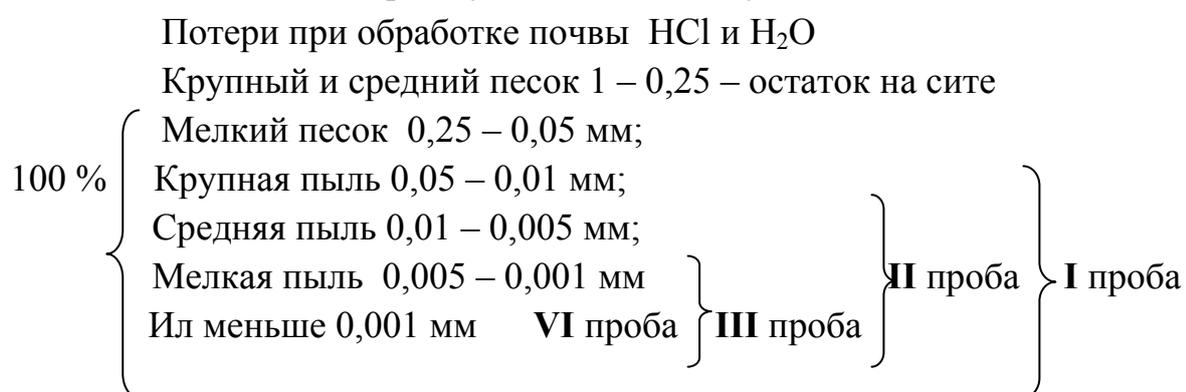
ботки ее HCl и водой за вычетом веса фильтра.

2. Содержание крупного и среднего песка вычисляют по формуле

$$P = \frac{b \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{C},$$

где  $P$  – количество крупного и среднего песка, %;  $b$  – вес частиц, оставшихся на сите, г;  $C$  – навеска воздушно-сухой почвы, взятая для механического анализа, г; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;  $K_{H_2O}$  – коэффициент пересчета на сухую почву.

3. Последующие фракции механического состава вычисляют с учетом веса взятых пипеткой проб суспензии по следующей схеме.



В состав первой пробы входят крупная, средняя, мелкая пыль и ил, а во второй – все фракции первой пробы за исключением крупной пыли. Поэтому, зная содержание первой и второй проб, можно по разности вычислить содержание крупной пыли. В третью пробу входят все фракции второй пробы за исключением средней пыли, поэтому по разности второй и третьей пробы можно вычислить содержание средней пыли. В четвертую пробу входят одни илистые частицы, поэтому вес ее соответствует содержанию илистой фракции.

Количество фракций мелкого песка вычисляют по разности между суммой всех фракций (100 %) и суммой среднего песка, первой пробы и потери при обработке.

Вычисляют фракции с помощью формул.

4. Содержание мелкого песка (0,25 – 0,05) находят по формуле

$$m = 100 - (p + n_1 + d),$$

где  $m$  – количество мелкого песка, %;  $p$  – количество крупного и среднего песка, %;  $n_1$  – количество частиц первой пробы, %;  $d$  – потери при обработке почвы HCl и H<sub>2</sub>O, %.

Количество частиц первой пробы в процентах вычисляют по формуле

$$n_1 = \frac{K \cdot V \cdot 100 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{V_1 \cdot C},$$

где  $K$  – вес первой пробы, г;  $V$  – объем суспензии в цилиндре, мл; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;  $V_1$  – объем взятой пробы;  $C$  – навеска почвы, взятая для механического анализа,  $K_{\text{H}_2\text{O}}$  – коэффициент пересчета в сухую почву.

Так же рассчитывают количество частиц в процентах второй, третьей и четвертой проб, подставляя вместо  $K$  соответствующий вес в граммах.

5. Содержание крупной пыли (0,05 – 0,01 мм) вычисляют по формуле

$$n_1 - n_2 = \% \text{ крупной пыли,}$$

где  $n_1$  – первая проба, %;  $n_2$  – вторая проба, %.

6. Содержание средней пыли (0,01 – 0,005) вычисляют по формуле

$$n_2 - n_3 = \% \text{ средней пыли,}$$

где  $n_2$  – вторая проба, %;  $n_3$  – третья проба, %.

7. Содержание мелкой пыли (0,005 – 0,001 мм) вычисляют по формуле

$$n_3 - n_4 = \% \text{ мелкой пыли,}$$

где  $n_3$  – третья проба, %;  $n_4$  – четвертая проба, %.

8. Содержание ила (меньше 0,001 мм) равно количеству частиц четвертой пробы в процентах.

### **Пример расчета результатов гранулометрического анализа**

Взято для механического анализа 5 г воздушно-сухой почвы,  $K_{\text{H}_2\text{O}} = 1,02$ .

В результате анализа получены данные: потеря при обработке 1,4 %, вес частиц, оставшихся на сите 1,3538 г, вес первой пробы 0,1275 г, а содержание ее равно

$$n_1 = \frac{0,1275 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 5} = 52,5 \%$$

Вес второй пробы 0,0515 г, а содержание ее равно

$$n_2 = \frac{0,0515 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 5} = 21,0 \%$$

Вес третьей пробы 0,0368 г, а содержание ее равно

$$n_3 = \frac{0,0368 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 5} = 15,0 \%$$

Вес четвертой пробы 0,0294 г, а содержание ее равно

$$n_4 = \frac{0,0294 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 5} = 12,0 \%$$

Из полученных данных имеем: потеря при обработке 1,4 %; крупного и среднего песка  $1,3538 \cdot 20 \cdot 1,02 = 27,0$ ; мелкого песка  $100 - (27,6 - 52,0 + 1,4) = 19$  %; крупной пыли  $52,0 - 21,0 = 31,0$  %; средней пыли  $21,0 - 15,0 = 6,0$  %; мелкой пыли  $15,0 - 12,0 = 3,0$  %; ила 12,0 %; сумма 100,0 %.

Полученные результаты записывают по форме, приведенной ниже.

### Результаты гранулометрического анализа

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Гигроскопическая влага, %	Потеря при обработке, %	Размер механических элементов, мм, и их содержание, %							Название почвы по механическому составу
			1 - 0,25	0,25- 0,05	0,05 - 0,01	0,01 - 0,005	0,005 - 0,001	меньше 0,001	меньше 0,01	

При определении гранулометрического состава по данным анализа потерю при обработке почв, не насыщенных основаниями (не вскипающих от HCl), необходимо причислять к илистой фракции (частицам размерами меньше 0,001 мм), а насыщенных (карбонатных) почв – к физическому песку.

На основании полученных результатов определяют механический состав образца по классификации Н.А. Качинского (табл. 2.5).

Таблица 2.5

### Классификация почв по гранулометрическому составу

Почва	Содержание физической глины (частиц меньше 0,01 мм), %			Содержание физического песка (частиц больше 0,01 мм), %		
	почвы					
	подзолистого типа почвообразования (не насыщенные основаниями)	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолонцеватые	подзолистого типа почвообразования (не насыщенные основаниями)	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолонцеватые
Песок рыхлый	0 – 5	0 – 5	0 – 5	100 – 95	100 – 95	100 – 95

## Окончание табл. 2.5

Почва	Содержание физической глины (частиц меньше 0,01 мм), %			Содержание физического песка (частиц больше 0,01 мм), %		
	почвы					
	подзолистого типа почвообразования (не насыщенные основаниями)	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолонцеватые	подзолистого типа почвообразования (не насыщенные основаниями)	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолонцеватые
Песок связный	5 – 10	5 – 10	5 – 10	95 – 90	95 – 90	95 – 90
Супесь	10 – 20	10 – 20	10 – 15	90 – 80	90 – 80	90 – 85
Суглинок легкий	20 – 30	20 – 30	15 – 20	80 – 70	80 – 70	85 – 80
Суглинок средний	30 – 40	30 – 45	20 – 30	70 – 60	70 – 55	80 – 70
Суглинок тяжелый	40 – 50	45 – 60	30 – 40	60 – 50	55 – 40	70 – 60
Глина легкая	50 – 65	60 – 75	40 – 50	50 – 35	40 – 25	60 – 50
Глина средняя	65 – 80	75 – 85	50 – 65	35 – 20	25 – 15	50 – 35
Глина тяжелая	Больше 80	Больше 85	Больше 65	Меньше 20	Меньше 15	Меньше 35

**Лабораторная работа № 6****ДИАГНОСТИКА ПОЧВ ПО МЕХАНИЧЕСКОМУ СОСТАВУ**

В полевых условиях и в лаборатории механический состав почв приближенно определяют по внешним признакам (на глаз) и на ощупь в сухом и влажном состоянии по следующим показателям: ощущение при растирании почвы на ладони, вид в лупу или простым глазом, состояние сухой и влажной почвы, отношение влажной почвы или грунта к скатыванию.

Во влажном состоянии к хорошо растертому образцу необходимо добавить такое количество воды, при котором образующаяся тестообразная масса будет обладать наилучшей пластичностью. Берут 3 – 4 г почвы и увлажняют до рабочего состояния (густой пасты). Вода при этом из почвы не отжимается. Хорошо размятую и перемешанную в руках почву раскатывают на ладони в шнур толщиной около 3 мм и затем сворачивают в

кольцо диаметром примерно 3 см. В зависимости от механического состава почвы шнур при раскатывании принимает различный вид (рис. 2.5).

Механический состав	Морфология образца при испытании (вид в плане)
Шнур не образуется Песок	1
Зачатки шнура Супесь	2
Шнур, дробящийся при раскатывании Легкий суглинок	3
Шнур сплошной, кольцо распадающееся при свертывании Средний суглинок	4
Шнур сплошной, кольцо с трещинами Тяжелый суглинок	5
Шнур сплошной, кольцо стойкое Глина	6

Рис. 2.5. Показатели «мокрого» способа определения механического состава почв (метод раскатывания)

### Методика определения механического состава почв и грунтов

Все группы механического состава почв и пород (песок, супесь, суглинок песчаный, суглинок пылеватый и т.д.) можно различать по ряду признаков (табл. 2.6).

Определение основано на расхождении двух (или трех) взаимоисключающих друг друга признаков и поэтому ведется по двум (или трем) направлениям. Например, «в почве встречаются камешки» или «в почве камешки не встречаются».

При определении следует сравнивать признак почвы с описанным в параграфе, обозначенном цифрой слева.

Если данный признак не соответствует написанному, то его сравнивают с описанием противоположного признака, обозначенного одной или двумя чертами в том же параграфе.

После того, как будет найдено соответствующее описание данного признака, переходят к следующему параграфу, указанному в скобках справа.

Определение начать с параграфа 1.

Название определяемой почвы напечатано жирным шрифтом.

Таблица 2.6

## Методика определения механического состава почв

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
1	В почве встречаются камешки различной величины (больше 3 мм в диаметре)_____	(1)
-----	В почве камешки не встречаются_____	(34)
2	Почва влажная_____	(3)
-----	Почва сухая_____	(18)
3	Почва скатывается в шарики_____	(4)
-----	Почва в шарики не скатывается_____	(14)
4	Почва раскатывается в веревочки_____	(5)
-----	Почва не раскатывается в веревочки_____	(13)
5	Почва раскатывается в веревочки меньше 5 мм в диаметре_____	(6)
-----	Раскатывается в веревочки больше 5 мм в диаметре	(13)
6	Почва раскатывается в веревочки меньше 2 мм в диаметре	(7)
-----	Раскатывается в веревочки от 5 до 2 мм в диаметре (при дальнейшем раскатывании распадается на кусочки)_____	(12)
7	Почва раскатывается в веревочки меньше 1 мм в диаметре_____	(8)
-----	Почва раскатывается в веревочки от 2 до 1 мм в диаметре (при дальнейшем раскатывании распадается на кусочки)_____	(11)
8	Почва клейкая, липкая. При большом увлажнении обладает свойствами «мыльной», «жирной», скользкой массы. Раскатывается в веревочки меньше 0,5 мм в диаметре_____	(9)
-----	Раскатывается в веревочки от 0,5 до 1 мм в диаметре_____	(10)
9	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>пылеватая валунная глина</b>	
-----	Прощупывается много песчинок, но они невидимы невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>песчанистая валунная глина</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом_____	(15)
10	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются или их очень мало – <b>тяжелый пылеватый валунный суглинок</b>	
-----	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>тяжелый песчанистый валунный суглинок</b>	
=====	Песчаных частиц так много, что они видны невооруженным глазом_____	(15)
11	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>средний пылеватый валунный суглинок</b>	
-----	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>средний песчанистый валунный суглинок</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом_____	(15)

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
12 ----- =====	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>легкий пылеватый валунный суглинок</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>легкий песчанистый валунный суглинок</b> Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(15)
13 -----	При растирании между пальцами получается мягкая бархатисто-песчанистая масса (или прощупываются отдельные песчинки). В почве встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>валунная супесь</b> В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>хрящеватая супесь</b>	
14 -----	При растирании между пальцами возникает колющее режущее ощущение. Почва состоит из отдельных песчинок. Встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>валунный песок</b> В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>хрящеватый песок</b>	
15 -----	Почва ржавой, бурой окраски _____ Почва голубой, сизой, серой, дымчатой окраски _____	(16) (17)
16 -----	В почве встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>глинистый валунный ортзандовый песок</b> В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>глинистый хрящеватый ортзандовый песок</b>	
17 -----	В почве встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>глинистый валунный песок глеевых горизонтов</b> В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>глинистый хрящеватый песок глеевых горизонтов</b>	
18 -----	В почве имеются комочки _____ В почве комочки отсутствуют _____	(19) (28)
19 -----	Почвенные комочки не раздавливаются между пальцами _____	(20)
-----	Почвенные комочки раздавливаются между пальцами _____	(21)
20 -----	Почвенные комочки не раздавливаются большим пальцем на твердом предмете _____	(22)
-----	Почвенные комочки раздавливаются большим пальцем на твердом предмете _____	(23)
21 -----	Почвенные комочки раздавливаются с некоторым усилием _____	(24)
-----	Почвенные комочки легко раздавливаются _____	(26)
=====	Почвенные комочки так непрочны, что рассыпаются при легком прикосновении _____	(28)
22 -----	При растирании с водой между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>пылеватая валунная глина</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>песчанистая валунная глина</b>	

Продолжение табл. 2.6

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
<p>=====</p> <p>23</p> <p>-----</p>	<p>Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____</p> <p>При растирании с водой между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>тяжелый пылеватый суглинок</b></p> <p>Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>тяжелый песчанистый валунный суглинок</b></p>	(31)
<p>=====</p> <p>24</p> <p>-----</p>	<p>Песчаных частиц так много, что они видны невооруженным глазом _____</p> <p>При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) _____</p> <p>Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>средний песчанистый валунный суглинок</b></p>	(31) (25)
<p>=====</p> <p>25</p> <p>-----</p>	<p>Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____</p> <p>Прощупывается мягкая мучнистая масса – <b>средний пылеватый валунный суглинок</b></p> <p>Прощупывается мягкая бархатистая масса – <b>средний лессовидный валунный суглинок</b></p>	(31)
<p>-----</p> <p>26</p> <p>-----</p>	<p>При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) _____</p> <p>Прощупывается очень много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>легкий песчанистый валунный суглинок</b></p>	(27)
<p>=====</p> <p>27</p> <p>-----</p>	<p>Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____</p> <p>Прощупывается мягкая мучнистая масса – <b>легкий пылеватый валунный суглинок</b></p> <p>Прощупывается мягкая бархатистая масса – <b>легкий лессовидный валунный суглинок</b></p>	(31)
<p>-----</p> <p>28</p>	<p>При растирании между пальцами получается мягкая бархатисто-песчанистая масса (или прощупываются отдельные песчинки), на пальцах остается пыль _____</p>	(29)
<p>-----</p> <p>29</p> <p>30</p>	<p>При растирании между пальцами остаются колющие, режущие ощущения. Почва состоит из отдельных песчинок _____</p> <p>Встречаются камешки крупнее 10 мм в диаметре – <b>валунная супесь</b></p> <p>Встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>хрящеватая супесь</b></p> <p>Встречаются камешки крупнее 10 мм в диаметре – <b>валунный песок</b></p>	(30)

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
----- 31	Встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>хрящеватый песок</b> Почва ржавой, бурой окраски _____	
----- 32	Почва серой, дымчатой, голубой. сизой окраски _____ В почве встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>глинистый валунный ортзандовый песок</b>	(32) (33)
----- 33	В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>глинистый хрящеватый ортзандовый песок</b> В почве встречаются камешки больше 10 мм в диаметре – <b>глинистый валунный песок глеевых горизонтов</b>	
----- 34	В почве встречаются частицы меньше 10 мм в диаметре – <b>глинистый хрящеватый песок глеевых горизонтов</b> Почва влажная _____	
----- 35	Почва сухая _____ Почва скатывается в шарик _____	(35) (48) (36)
----- 36	Почва в шарик не скатывается _____ Почва раскатывается в веревочки _____	(46) (37)
----- 37	Почва не раскатывается в веревочки _____ Раскатывается в веревочки меньше 5 мм в диаметре _____	(45) (38)
----- 38	Раскатывается в веревочки больше 5 мм в диаметре _____ Почва раскатывается в веревочки меньше 2 мм в диаметре _____	(45) (39)
----- 39	Почва раскатывается в веревочки от 5 до 2 мм в диаметре. При дальнейшем раскатывании распадается на кусочки _____ Почва раскатывается в веревочки меньше 1 мм в диаметре _____	(44) (40)
----- 40	Почва раскатывается в веревочки от 2 до 1 мм в диаметре. При дальнейшем раскатывании распадается на отдельные кусочки _____ Почва клейкая, липкая. При большом увлажнении обладает свойством «мылистой», «жирной», скользкой массы, раскатывается в веревочки меньше 0,5 мм в диаметре _____	(43) (41)
----- 41	Почва раскатывается в веревочки от 1 до 0,5 мм в диаметре _____ При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>пылеватая глина</b>	(42)
----- 42	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>песчанистая глина</b> Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(47)
=====	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>тяжелый пылеватый суглинок</b>	
-----	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>тяжелый песчанистый суглинок</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(47)

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
43 ----- =====	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>средний пылеватый суглинок</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>средний песчанистый суглинок</b> Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом	(47)
44 ----- =====	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>легкий пылеватый суглинок</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>легкий песчанистый суглинок</b> Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом	(47)
45	При растирании между пальцами получается мягкая бархатисто-песчанистая масса (или прощупываются отдельные песчинки) – <b>супесь</b>	
46	При растирании между пальцами возникает колющее, режущее ощущение – <b>песок</b>	
47 -----	Почва ржавой, бурой окраски – <b>глинистый ортзандовый песок</b> Почва голубой, сизой, серой, дымчатой окраски – <b>глинистый песок глеевых горизонтов</b>	
48	В почве имеются комочки _____	(49)
-----	В почве комочки отсутствуют _____	(58)
49	Почвенные комочки не раздавливаются между пальцами _____	(50)
-----	Почвенные комочки раздавливаются между пальцами _____	(51)
50	Почвенные комочки не раздавливаются большим пальцем на твердом предмете _____	(52)
-----	Почвенные комочки раздавливаются большим пальцем на твердом предмете _____	(53)
51	Почвенные комочки раздавливаются с некоторым усилием _____	(54)
-----	Почвенные комочки раздавливаются легко _____	(56)
=====	Почвенные комочки так непрочны, что рассыпаются при легком прикосновении _____	(58)
52 -----	При растирании с водой между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>пылеватая глина</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>песчанистая глина</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(59)
53 -----	При растирании с водой между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) – <b>тяжелый пылеватый суглинок</b> Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>тяжелый песчанистый суглинок</b>	

Номер параграфа	Признаки почв	Номер параграфа
=====	Песчаных частиц так много, что они видны невооруженным глазом _____	(59)
54	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) _____	(55)
-----	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>средний песчанистый суглинок</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(59)
55	Прощупывается мягкая мучнистая масса – <b>средний пылеватый суглинок</b>	
-----	Прощупывается мягкая бархатистая масса – <b>средний лессовидный суглинок</b>	
56	При растирании между пальцами песчинки не прощупываются (или их очень мало) _____	(57)
-----	Прощупывается много песчинок, но они не видны невооруженным глазом (или видны единичные) – <b>легкий песчанистый суглинок</b>	
=====	Песчинок так много, что они видны невооруженным глазом _____	(59)
57	Прощупывается мягкая мучнистая масса – <b>легкий пылеватый суглинок</b>	
-----	Прощупывается мягкая бархатистая масса – <b>легкий лессовидный суглинок</b>	
58	При растирании между пальцами получается мягкая бархатисто-песчаная масса. Прощупываются отдельные песчинки. На пальцах остается пыль – <b>супесь</b>	
-----	При растирании между пальцами остается колющее режущее ощущение. Почва состоит из отдельных песчинок – <b>песок</b>	
59	Почва ржавой, бурой окраски – <b>глинистый ортзандовый песок</b>	
-----	Почва серой, дымчатой, голубой, сизой окраски – <b>глинистый песок глеевых горизонтов</b>	

### Лабораторная работа № 7 АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОЧВЫ

**Под структурой почвы** понимают совокупность отдельностей, или агрегатов, различных по величине, форме, пористости, механической прочности, связности и водопропускности. *Структурная отдельность, или агрегат*, представляет собой совокупность первичных почвенных частиц, соединенных друг с другом в результате коагуляции коллоидов, склеивания, слипания.

Агрегаты диаметром больше 0,25 мм называются *макроагрегатами*, мельче 0,25 мм – *микроагрегатами*.

Способность почвы распадаться на структурные отдельности, или агрегаты, называют **структурностью почвы**. Структурность почвы является одним из показателей степени ее плодородия и окультуренности. Чем большая часть почвенных частиц агрегирована в комочки, тем выше агрономическая ценность почвы. Это связано с тем, что структурная почва обладает рядом более благоприятных свойств для сельскохозяйственных культур по сравнению с бесструктурной или малоструктурной. Структурная почва обладает хорошей водопроницаемостью, воздухопроницаемостью, при обработке лучше крошится, распадаясь на мелкокомковатые отдельности. Бесструктурная распыленная почва быстро заплывает и уплотняется, на поверхности ее часто образуется почвенная корка, резко ухудшается воздухо- и водопроницаемость. Бесструктурные почвы трудно поддаются обработке: плохо крошатся и образуют глыбы.

Различают два понятия структуры почвы: *морфологическое* и *агрономическое*. В морфологическом понимании хорошей будет всякая четко выраженная структура: ореховатая, столбчатая, призмовидная, пластинчатая и т.п. Каждой генетически различной почве, а внутри ее отдельным горизонтам присуща своя, характерная структура. Ее формирование тесно связано с условиями образования данного почвенного типа.

Различают три основных типа структуры: *кубовидная* – структурные отдельности равномерно развиты по трем взаимно перпендикулярным осям; *призмовидная* – отдельности развиты преимущественно по вертикальной оси; *плитовидная* – отдельности развиты преимущественно по двум горизонтальным осям и укорочены в вертикальном направлении. Каждый тип в зависимости от характера ребер, граней и размера подразделяется на более мелкие единицы (рис. 2.6).

*Агрономически ценной* является только такая структура, которая обеспечивает плодородие почвы. В агрономическом отношении ценными считают агрегаты размером от 0,25 до 10 мм (макроструктура). Более крупные комки относят к глыбистой части почвы (мегаструктура). В засушливых условиях имеют наибольшее значение мелкие агрегаты, на переувлажненных почвах – более крупные. Агрегаты размером меньше 0,25 мм называют микроагрегатами. На дерново-подзолистых почвах микроагрегаты (меньше 0,25 мм) относят к распыленной части почвы.

Важным качеством структуры почвы является ее *водопрочность*, под

которой понимается способность почвенных агрегатов противостоять размывающему действию воды. Водопрочная структура меньше разрушается и более длительное время сохраняет благоприятное строение, приданное почве механической обработкой.

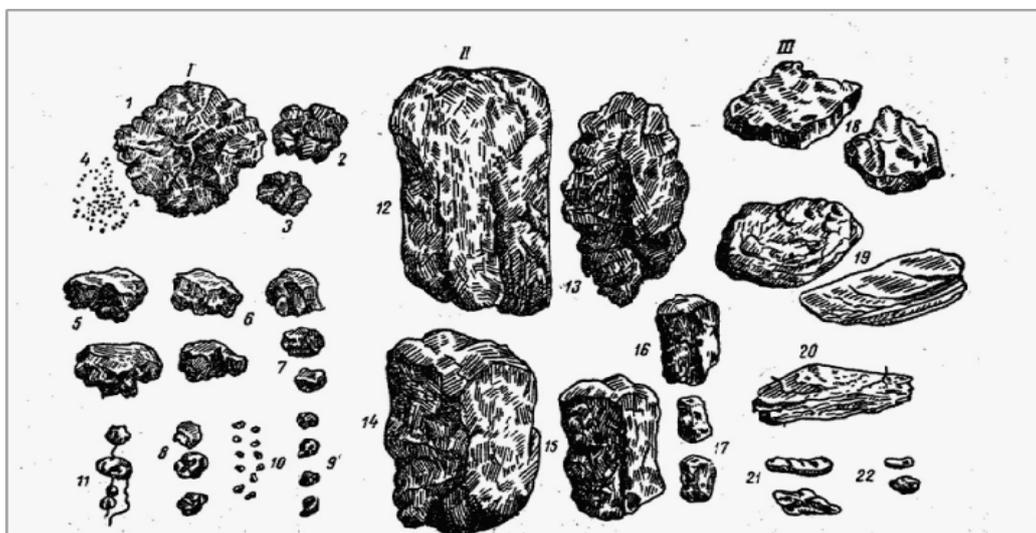


Рис. 2.6. Главнейшие типы почвенной структуры (по С.А. Захарову): I тип: 1 – крупнокомковатая; 2 – среднекомковатая; 3 – мелкокомковатая; 4 – пылеватая; 5 – крупноореховатая; 6 – ореховатая; 7 – мелкоореховатая; 8 – крупнозернистая; 9 – зернистая; 10 – порошистая; 11 – «бусы» из зерен; II тип: 12 – столбчатая; 13 – столбовидная; 14 – крупнопризматическая; 15 – призматическая; 16 – мелкопризматическая; 17 – тонкопризматическая; III тип: 18 – сланцеватая; 19 – пластинчатая; 20 – листовая; 21 – грубочешуйчатая; 22 – мелкочешуйчатая

Установлено, что наибольшее количество водопрочных агрегатов (60 – 70 %) содержит чернозем, дерново-карбонатные почвы – до 60 % и значительно меньше агрегатов в дерново-подзолистых почвах (25 – 45 %). В супесчаных почвах агрегатов содержится меньше, чем в суглинках.

Агрономическое значение имеет не только мелкокомковатая водопрочная структура, но и все агрегаты пахотного слоя, на которые распадается почва при обработке.

Количество агрегатов, их размеры, прочность и пористость зависят от содержания гумуса в почве, ее гранулометрического состава, от механической обработки и биологических особенностей возделываемых культур. Структура почвы улучшается при внесении удобрений, правильной обработке почвы и рациональном чередовании культур, известковании кислых почв, возделывании многолетних трав и сидератов.

## Агрегатный анализ по методу Н.И. Саввинова

В задачу агрегатного анализа входит: 1) определение содержания агрегатов того или иного размера в пределах 0,25 – 10 мм; 2) выявление количества водопрочных агрегатов.

При определении структурного состава почвы наиболее распространенным является метод отсева на ситах. Метод состоит из 2-х частей: количество агрегатов определенного размера находят методом «сухого» агрегатного анализа, водопрочных агрегатов – методом «мокрого» агрегатного анализа. Данные, полученные этим методом, используют для сравнительной оценки влияния на структурный состав почвы различных агротехнических приемов: механической обработки, чередования культур, искусственных структурообразователей, внесения удобрений и др.

### Порядок выполнения работ

**Метод «сухого» агрегатного анализа.** Из образца нерастертой воздушно-сухой почвы берут среднюю пробу 0,5 – 2,5 кг (как правило, 1 кг). Осторожно отбирают корни, гальку и другие включения. Среднюю пробу просеивают через колонку сит диаметром 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5 и 0,25 мм (рис. 2.7). Набор сит в колонке устанавливают следующим образом: верхнее сито с отверстием 10мм, затем 7, 5, 3, 2, 1, 0,5 и 0,25 мм. Внизу колонки сит ставится поддон, а сверху – крышка. Почву просеивают небольшими порциями (100 – 200 г), избегая сильных встряхиваний, в течение 3 мин. После отсева сита одно за другим снимают. Когда сита разъединяют, каждое из них слегка постукивают ладонью по ребру, чтобы освободить застрявшие агрегаты.

Фракции агрегатов с каждого сита переносят на бумагу, взвешивают на техномических весах, завертывают в пакеты и сохраняют до мокрого отсева. Массу каждой фракции записывают по приведенной ниже форме и определяют процентное содержание каждой фракции агрегатов к исходной навеске. За 100 % принимается вся взятая для анализа навеска. Фракцию меньше 0,25 мм рассчитывают по разности между взятой для анализа почвой и суммой фракции больше 0,25 мм. Сумма всех фракций должна быть равна массе взятой навески.

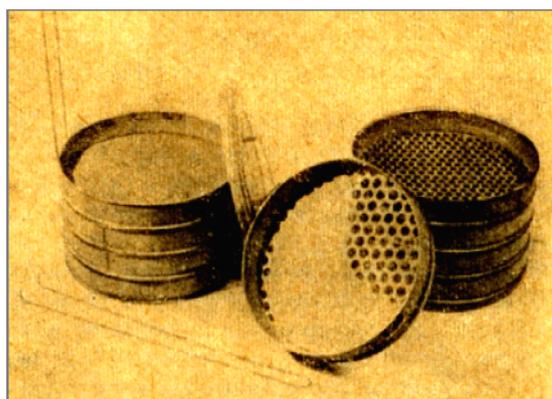


Рис. 2.7. Набор сит для просеивания почвы

### Форма записи результатов анализа по методу Н.И. Саввинова

Название поч- вы	Горизонт, глу- бина, см	Размер фракций, мм (сухое и мокрое просеивание)														
		>10	1 – 7	7 – 5	5 – 3		3 – 2		2 – 1		1 – 0,5		0,5 – 0,25		<0,25	
		Сухое	Сухое	Сухое	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое

**Метод «мокрого» агрегатного анализа.** Для определения водопрочности составляют среднюю пробу в 50 г из всех фракций агрегатов, полученных при сухом просеивании. Для этого каждая фракция берется в количестве, равном (в граммах) половине процентного содержания ее в данной почве. Например, при содержании в почве 22 % фракции 5 – 3 мм для средней пробы берут 11 г, при содержании 15 % фракции 3 – 2 мм берут 7,5 г и т.д.

В среднюю пробу фракцию меньше 0,25 мм не берут (так как она будет забивать мелкие сита), поэтому средняя проба получится меньше 50 г.

Подготавливают набор из 5 сит диаметром в 20 см и высотой борта 3 см и отверстиями диаметром 0,25; 0,5; 1, 2, 3 мм.

Среднюю пробу осторожно выливают в литровый цилиндр, наполненный водой на 2/3 объема. Цилиндры используются такие же, как для механического анализа (высота около 45 см, диаметр 7 см). Погруженную в цилиндр почвенную пробу оставляют в покое на 10 мин для того, чтобы из почвы вышел весь воздух. Через 10 мин цилиндр, закрытый стеклом или пробкой, переворачивают вверх дном и удерживают в таком положении несколько секунд, пока главная масса агрегатов не упадет вниз, затем цилиндр снова переворачивают и выжидают, пока почва не достигнет дна. Так повторяют 10 раз, чтобы разрушить все непрочные агрегаты. После десяти полных оборотов закрытый цилиндр опрокидывают над набором сит, стоящих в широкой цилиндрической ванне. Слой воды в ванне должен быть на 5 – 6 см выше борта верхнего сита (рис. 2.8).

Просеивание проводят следующим образом. Опрокинутый в воду цилиндр быстро открывают и плавными движениями цилиндра, не касаясь краем дна сита и не отрывая его от воды, распределяют почву по поверхности сита. Через минуту, когда все агрегаты больше 0,25 мм упадут на сито, ци-

лиандр закрывают пробкой под водой, вынимают из воды и оставляют.

Почву, перешедшую на сито, просеивают под водой следующим образом.

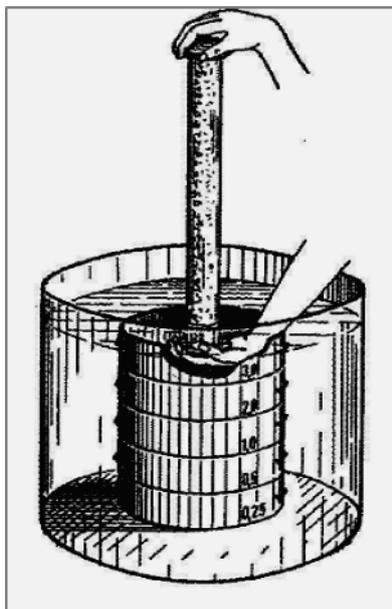


Рис. 2.8. Установка для фракционирования почвы на ситах в воде

Набор сит поднимают на 5 – 6 см, не вынимая верхнего сита из воды, и быстро опускают на 3 – 4 см вниз. В этом положении держат 2 – 3 с, чтобы успели просеяться агрегаты, а затем медленно поднимают вверх и снова быстро опускают вниз. Встряхивание повторяют 10 раз, затем вынимают из ванны два верхних сита, а нижние встряхивают еще 5 раз и вынимают из воды.

Оставшиеся на ситах агрегаты смывают струей воды в большие фарфоровые чашки, избыток воды в чашках сливают. Из больших чашек агрегаты смывают в заранее взвешенные маленькие чашечки, а затем высушивают в водяной бане до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Для каждой фракции определяют ее процентное содержание, умножая массу фракции на 2. Процент агрегатов меньше 0,25 мм определяют вычитанием из 100 суммы процентов полученных фракций.

**Макроагрегатный анализ методом качания сит.** По этому методу навеска почвы также рассеивается в воде. Но в отличие от метода Саввина

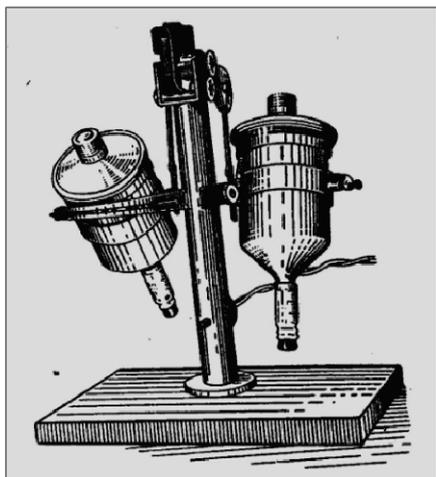


Рис. 2.9. Прибор И.М. Бакшеева для агрегатного анализа

нова в нем ручное качание заменено механическим качанием сит с помощью электромотора, что устраняет элемент субъективности в производстве анализа.

Для определения количества водопрочных агрегатов составляют навеску 25 г – 1/40 часть от каждой фракции в весовом выражении, или 1/4 часть процентного выражения.

Смешанную среднюю навеску почвы обрабатывают на приборе И.М. Бакшеева (рис. 2.9).

Для этого цилиндры с ситами (5, 3, 1, 0,5 и 0,25 мм) вынимают из гнезд и ставят на подставку. Открыв крышки, в цилиндры наливают воду до середины ободка верхнего сита. Чтобы под

нижними ситами не осталось воздуха, сита поднимают и опускают, одновременно поворачивая по часовой стрелке. Образцы почвы помещают в центр верхнего сита (под ручку), цилиндры закрывают крышкой и во внешнее отверстие горловины доливают воду доверху. После этого заворачивают пробки, цилиндры вытирают и вставляют в гнезда прибора. Прибор включают в электросеть и пускают в работу.

Через 10 мин прибор выключают, цилиндры вынимают и ставят на подставку. Воду из цилиндров сливают в сосуд, открывают крышки, вынимают и разбирают набор сит. Оставшиеся на ситах агрегаты смывают струей воды в предварительно взвешенные фарфоровые чашки. Избыток воды из чашек сливают, чашки с почвой сушат на водяной бане до воздушно-сухого состояния и после охлаждения взвешивают.

Для сбора фракции можно использовать плотные фильтры. Фильтр (диаметром 12,5 см) помещают в воронку и предварительно смачивают водой. Под воронку с фильтром ставят стакан или другой сосуд, а над воронкой помещают большую широкогорлую воронку, через которую и переносят фракцию с сита на фильтр. Фракцию высушивают до воздушно-сухого или абсолютно-сухого состояния и рассчитывают содержание в процентах так же, как и в методе Саввинова.

Чистую массу агрегатов определяют как разность между массой чашки с агрегатами и массой пустой чашки. Чтобы вычислить процентное содержание каждой фракции, нужно массу этой фракции в сухом состоянии умножить на 4, или пересчитать пропорции: 25 г – 100 %; остаток, г –  $X$  %.

## **Лабораторная работа № 8** **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВЫ**

### **Плотность твердой фазы почвы**

Почва состоит из трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Твердая фаза представлена минеральными и органическими веществами, жидкая – водой с растворенными в ней соединениями (почвенный раствор), а газообразная – воздухом.

**Плотностью твердой фазы** (удельной массы) называется отношение твердой фазы почвы в сухом состоянии к весу равного объема воды. Таким образом, *плотность твердой фазы – это вес в граммах одного кубического сантиметра твердой фазы сухой почвы.*

Величина плотности твердой фазы почвы зависит, во-первых, от при-

роды входящих в почву минералов и, во-вторых, от количества органического вещества.

В состав минеральной части почвы в качестве основных минералов входят кварц, полевые шпаты, глинистые минералы (монтмориллонит, каолинит, гидрослюды), имеющие плотность в пределах  $2,40 - 2,80 \text{ г/см}^3$ . Реже встречаются железосодержащие минералы с плотностью до  $4 \text{ г/см}^3$  (лимонит).

Плотность гумуса –  $1,20 - 1,40 \text{ г/см}^3$ . Поэтому в малогумусных и в нижних горизонтах гумусных почв плотность колеблется в пределах  $2,60 - 2,80 \text{ г/см}^3$ . Чем почва или горизонт богаче гумусом, тем меньше удельный вес твердой фазы ( $2,40 - 2,50 \text{ г/см}^3$ ).

Таким образом, плотность твердой фазы косвенно характеризует химический состав почвы.

Знание плотности твердой фазы почвы необходимо для расчета порозности почвы, а также при производстве гранулометрического анализа для расчета скорости падения частиц по формуле Стокса.

### **Определение плотности твердой фазы почвы**

**Метод пикнометров.** Наиболее распространенным, удобным и, главное, простым методом является пикнометрический. Этот метод основан на использовании сосуда с точно известным объемом – пикнометра. Обычно это мерные колбы вместимостью от 50 до 100 мл с нанесенной на узком горле риски точного объема.

**Определение объема пикнометра.** Точно определить объем пикнометра – одна из важнейших операций анализа. Его определяют, заполняя пикнометр деаэрированной (кипяченой и остуженной) водой.

Пикнометр чисто моют, ополаскивают дистиллированной водой и высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сухой пикнометр взвешивают с точностью до  $0,001 \text{ г}$ . Вес его записывают. При определении объема пикнометра, а также удельного веса почвы используют дистиллированную воду, из которой удален воздух. Воду готовят заранее. В колбе вместимостью 2 – 3 л дистиллированную воду кипятят в течение 2 ч. В горячем состоянии ее переливают в прогретые склянки (доверху) и закрывают пробками с хлоркальциевыми трубками, наполненными натронной известью. Хранить прокипяченную воду удобнее в склянках большого объема (2 – 3 л).

Для определения объема пикнометр наполняют прокипяченной дистил-

лированной водой до метки. Записывают температуру воды. Через 20 – 25 мин взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Объем пикнометра рассчитывают по формуле

$$V = \frac{a_1 - a}{D},$$

где  $V$  – объем пикнометра с водой, см<sup>3</sup>;  $a_1$  – вес пикнометра с водой;  $a$  – вес сухого пикнометра;  $D$  - плотность воды при данной температуре.

После определения объема воду из пикнометра выливают, его высушивают и используют для определения плотности твердой фазы.

**Подготовка почвы для анализа.** Из коробочного образца воздушно-сухой почвы берут среднюю пробу 150 – 200 г. Из почвы удаляют сор, крупные корни отбирают и сохраняют. Орштейны, журавчики и прочие включения оставляют в ней. Пробу растирают в ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Измельчение в ступке и просеивание повторяют до тех пор, пока вся проба почвы не пройдет сквозь сито. Если на сите остается гравий (частицы размером 1 – 3 мм), его измельчают в металлической ступке и смешивают с мелкоземом. Отобранные крупные корни режут ножницами на мелкие кусочки (2 – 3 мм) и также смешивают с мелкоземом. Подготовленный таким образом образец тщательно перемешивают и сохраняют в закрытой стеклянной банке, картонной коробке или пакетике с соответствующей этикеткой.

**Ход анализа.** Из подготовленного образца берут средние пробы: в пикнометр 8 – 10 г и в сушильные стаканчики для определения влажности 4 – 5 г. После взвешивания сушильные стаканчики с почвой помещают в сушильный шкаф и высушивают почву при температуре 105 °С до постоянного веса. Рассчитывают гигроскопическую влажность в процентах, которую используют при расчете абсолютно-сухой навески, взятой для анализа.

Затем в пикнометр берут навеску почвы и взвешивают. Заливают дистиллированной водой в таком количестве, чтобы поверхность почвы была покрыта слоем воды 3 – 5 мм. Пикнометр с полученной почвенной суспензией оставляют на 10 – 12 ч для полного смачивания. Затем доливают водой до 1/3 объема пикнометра и кипятят суспензию 1 ч. Эти операции необходимы для удаления адсорбированного на частицах воздуха, которые вносят систематическую ошибку в конечный результат, снижая реальную плотность твердой фазы почвы. После этого доливают пикнометр до мет-

ки. Взвешивают, получая массу пикнометра с почвой и долитой водой.  
Все операции схематично представлены на рис. 2.10.



Рис. 2.10. Определение плотности твердой фазы почвы

Расчет плотности твердой фазы почвы производят по формуле

$$\rho_s = \frac{m_s}{V} = \frac{m_1 \cdot 100}{(100 + Wg)V}$$

где  $\rho_s$  – плотность твердой фазы почвы;  $m_1$  – масса воздушно-сухой почвы в пикнометре, г;  $Wg$  – гигроскопическая влажность, % к массе абсолютно-сухой почвы;  $m_s$  – масса абсолютно-сухой почвы;  $V$  – объем почвы в пикнометре  $\text{см}^3$ , рассчитываемый как  $V = V_1 - (m_3 - m_2)/\rho_w$ , где  $V_1$  – объем пикнометра  $\text{см}^3$ ,  $m_3$  – масса пикнометра с почвой после кипячения и долитой до веса водой,  $m_2$  – масса пикнометра с почвой, г,  $\rho_w$  – плотность воды. Второй член разности  $(m_3 - m_2)/\rho_w$  – объем долитой воды.

Расчет производят с точностью до 0,01.

## Лабораторная работа № 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ (ПЛОТНОСТИ) ПОЧВЫ

**Объемной массой** почвы называют массу единицы объема сухой почвы ненарушенного сложения. Объемную массу выражают обычно в граммах сухой почвы на один кубический сантиметр.

Объемная масса является важнейшей физической характеристикой

почвы. Величина ее зависит от плотности сложения почвенных частиц, структурности, содержания гумуса и минералогического состава почвы. Чем плотнее почва и меньше в ней содержится гумуса, тем больше ее объемная масса.

Объемная масса необходима для характеристики степени уплотненности или разрыхленности почвы, вычисления ее пористости, запасов воды, питательных веществ и массы почвы в определенном объеме.

Характеристика дерново-подзолистой почвы по степени уплотненности в зависимости от объемной массы приводится в табл. 2.7.

Таблица 2.7

**Оценка уплотнения по объемной массе, г/см<sup>3</sup>, для дерново-подзолистых суглинистых почв с содержанием гумуса 2 – 3%**

Слой почвы	Степень уплотненности почвы				
	очень рыхлой	рыхлой	уплотненной	плотной	очень плотной
Пахотный	Меньше 0,9	0,9 – 1,1	1,1 – 1,3	1,3 – 1,4	Больше 1,4
Подпахотный	–	Меньше 1,3	1,3 – 1,4	1,4 – 1,6	Больше 1,6

Благоприятные условия водного, воздушного, теплового и пищевого режимов складываются в почве, имеющей рыхлое и уплотненное состояние при величине объемной массы в пахотном слое 0,9 – 1,3 г/см<sup>3</sup>.

Культуры сплошного способа сева хорошо растут на уплотненных почвах с объемной массой пахотного слоя 1,1 – 1,3 г/см<sup>3</sup>, а для пропашных культур более благоприятно рыхлое состояние почвы при ее объемной массе слое 0,9 – 1,1 г/см<sup>3</sup>. На очень плотной почве (больше 1,4 г/см<sup>3</sup>) так же, как и на чрезмерно рыхлой (меньше 0,9 г/см<sup>3</sup>), рост и развитие сельскохозяйственных культур ухудшается. Под корнеплоды и клубнеплоды при объемной массе подпахотного слоя больше 1,4 г/см<sup>3</sup> и под зерновые больше 1,5 г/см<sup>3</sup> необходимо производить подпахотное рыхление почвы. Степень уплотнения почвы регулируется в земледелии механической обработкой, внесением удобрений, правильным чередованием возделываемых культур и другими препаратами.

**Порядок выполнения работы.** Образец почвы, взятой в поле, взвешивают вместе с патроном. Для вычисления объема почвы измеряют ее высоту в патроне и диаметр режущей части бура. После взвешивания и измерений небольшое количество почвы берут в алюминиевый стаканчик для определения ее влажности.

Массу влажной почвы находят по разнице массы патрона с почвой и массы пустого патрона. По массе влажной почвы и ее влажности вычисляют массу сухой почвы по формуле

$$P_c = (P_v \cdot 100) / (100 + W),$$

где  $P_v$  – масса влажной почвы, г;  $W$  – влажность в процентах к массе сухой почвы, г;  $P_c$  – масса сухой почвы, г.

Объем почвы в патроне рассчитывают по формуле

$$V = [(\pi \cdot D^2) / 4] H,$$

где  $\pi$  – 3,14;  $D$  – диаметр патрона, см;  $H$  – высота почвы в патроне, см;

$V$  – объем почвы в патроне, см<sup>3</sup>.

Объемную массу определяют делением массы сухой почвы на занимаемый объем по формуле

$$d = P_c / V,$$

где  $P_c$  – масса сухой почвы в патроне, г;  $V$  – объем почвы в патроне, см<sup>3</sup>;  $d$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>.

#### ***Пример расчета определения объемной массы почвы***

Масса влажной почвы с патроном	535,2 г
Масса пустого патрона	270,5 г
Масса влажной почвы в патроне (535,2 – 270,5)	264,7 г
Влажность почвы	13,2 %
Масса сухой почвы (264,7·100)/(100 + 13,2)	233,8 г
Диаметр бура	5,2 см
Высота почвы в патроне	9,0 см
Объем почвы в патроне (3,14·5,2 <sup>2</sup> /4)·9	181,0 см <sup>3</sup>
Объемная масса почвы (233,8 : 181,0)	1,29 г/см <sup>3</sup>

### **Лабораторная работа № 10**

#### **РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПОРИСТОСТИ (СКВАЖНОСТИ) ПОЧВЫ**

**Общей пористостью** называют сумму всех пор почвы. Почвенные поры представляют собой различные по величине и форме промежутки, которые образуются в результате неплотного прилегания друг к другу комков и частиц почвы. От величины пористости почвы в значительной мере зависит ее плодородие. В порах размещаются вода, воздух, корни растений, микроорганизмы и в них протекают различные почвенные процессы. Кроме того, знание общей пористости необходимо для вычисления пористости аэрации, полной влагоемкости и других показателей.

Общая пористость находится в тесной зависимости от объемной массы и удельной массы почвы. Поэтому чем рыхлее почва, тем больше в ней общая пористость и меньше объемная масса. Величиной общей пористости так же, как и объемной массы, пользуются при характеристике степени уплотненности почвы.

Благоприятные условия водно-воздушного и теплового режимов складываются в почве, имеющей рыхлое и уплотненное состояние пахотного слоя при величине общей пористости 50 – 65 %. Культуры сплошного способа сева хорошо растут на уплотненных почвах с общей пористостью 50 - 58 %, а для пропашных культур более благоприятно рыхлое состояние почвы, имеющей общую пористость 58 – 65 %. На очень плотной почве так же, как и на чрезмерно рыхлой, рост и развитие сельскохозяйственных культур ухудшается. При общей пористости в подпахотном слое меньше 48 % под корнеплоды и меньше 44 % под зерновые необходимо проводить его рыхление.

Оптимальные показатели пористости зависят от состояния увлажнения почвы. Например, при недостаточном увлажнении даже при небольшой пористости аэрация почвы может быть нормальной и, наоборот, при переувлажнении почвы, имеющей повышенную пористость, может быть слабая аэрация. Оценка уплотненности почвы по общей пористости для дерново-подзолистых суглинистых почв приведена в табл. 2.8.

Таблица 2.8

**Оценка уплотненности почвы по общей пористости, %, для дерново-подзолистых суглинистых почв с содержанием гумуса 2 – 3 %**

Слой почвы	Степень уплотненности почвы				
	очень рыхлой	рыхлой	уплотненной	плотной	очень плотной
Пахотный	Больше 65	65 – 68	58 – 50	50 – 46	Меньше 46
Подпахотный	–	Больше 52	52 – 48	48 – 41	Меньше 46

**Вычисление.** Общую пористость можно определить расчетным путем по следующей формуле:

$$W_{\text{общ}} = (1 - d_v / d)100,$$

где  $d_v$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $d$  – удельная масса твердой фазы почвы, г/см<sup>3</sup>;  $W_{\text{общ}}$  – общая пористость, %.

В этой формуле отношение объемной массы к удельной массе  $d_v / d$  показывает, какую часть объема почвы занимают твердые частицы. Следовательно, оставшая часть объема приходится на поры  $(1 - d_v / d)$ .

Умножением на 100 эти величины выражают в процентах.

**Пример расчета общей пористости:** Удельная масса – 2,65 г/см<sup>3</sup>. Объемная масса 1,31 г/см<sup>3</sup>.

$$W_{\text{общ}} = (1 - 1,31 / 2,65)100 = 50,5 \%$$

## **Лабораторная работа № 11** **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ПОРИСТОСТИ**

В агрономических целях почвенные поры в зависимости от размера и характера движения воды и воздуха в них подразделяются на крупные некапиллярные поры, капиллярные и мельчайшие ультрапоры.

В крупных капиллярных порах вода движется только под действием силы тяжести. При избыточном увлажнении почвы они служат каналом для тока воды. Обычно эти поры заняты хорошо подвижным воздухом и обуславливают постоянную аэрацию почвы. Суммарный объем некапиллярных пор также называют пористостью аэрации.

В капиллярных порах свободная вода движется под действием менисковых сил и ее движение возможно в любом направлении. В капиллярных порах находится основной запас полезной для растений влаги. Подвижность воздуха в капиллярных порах замедлена и падает по мере уменьшения диаметра пор.

В тончайших ультрапорах движение свободной воды отсутствует, и они обычно заполнены связанной водой, адсорбированной почвой и недоступной для растений. Суммарный объем этих пор поэтому называют *пористостью гидратации*.

В агрономическом отношении наибольшую ценность представляют поры аэрации (крупные некапиллярные) и капиллярные поры. В этих порах размещается воздух, доступная для растений влага, корни растений и микроорганизмы.

От соотношения некапиллярных и капиллярных пор зависят водные и воздушные свойства почвы.

Поры гидратации не имеют полезного водно-воздушного режима.

Оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов создаются в дерново-подзолистых почвах при величине общей пористости в пахотном слое 50 – 65 % с отношением пор аэрации к капиллярной пористости с пористостью гидратации как 2:3. Это значит, если общая пористость данной почвы составляет 49,6 %, то пористость аэрации должна составлять при оптимальных условиях 20 %, а капиллярная пористость и пористость гидратации – 30 %. При уплотнении почвы с уменьшением общей пористости резко возрастает капиллярная пористость и уменьшается некапиллярная.

Чрезмерное уплотнение почвы увеличивает пористость гидратации и резко ухудшает ее аэрацию, так как капиллярные поры обычно заняты водой, а поры гидратации в аэрации не участвуют.

Чем тяжелее гранулометрический состав почвы, тем быстрее она уплотняется и больший процент в ней составляет капиллярная пористость. В песчаных почвах обычно бывает больше пор аэрации.

## **Лабораторная работа № 12**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДЫ И ВОЗДУХА В ПОЧВЕ**

Вода и воздух размещаются в порах, в промежутках между твердыми частицами почвы. Чем больше пористость почвы, тем больше в ней может содержаться воды и воздуха. Жизнедеятельность растений и почвенных микроорганизмов в значительной степени определяется наличием в почве возможно большего количества влаги при условии достаточного количества воздуха, создающих благоприятные условия для питательного режима в почве.

Количество воздуха (в почве), или воздухосодержание, зависит от величины общей пористости и от степени увлажнения почвы, так как воздух размещается в почвенных порах, не занятых (свободных) водой. Следовательно, при одинаковой пористости почвы может быть разное соотношение воды и воздуха.

При снижении воздухосодержания ниже 10 – 12 % объема почвы резко ухудшается газообмен между почвенным и атмосферным воздухом, что приводит к замедлению роста растений и их гибели.

Оптимальные условия водо- и воздухообеспечения растений создаются при наличии в почве 60 – 75 % воды и воздуха, 40 – 25 % общей пористости почвы.

Различные растения предъявляют неодинаковые требования к содержанию воды и воздуха в почве (табл. 2.9).

Таблица 2.9

#### **Оптимальное соотношение воды и воздуха, необходимое для нормального роста сельскохозяйственных растений**

Культуры	Содержание, % от общей пористости	
	воды	воздуха
Пропашные	55 – 65	35 – 45
Зерновые	65 – 75	25 – 35
Травы	70 – 80	20 – 30

**Порядок вычисления величин, характеризующих строение пахотного слоя при определении методом насыщения почвы в патронах (цилиндрах)**

1. Масса патрона пустого	270,5 г
2. Объем взятого в патрон образца	181,0 см <sup>3</sup>
3. Масса патрона с взятым образцом почвы для насыщения	535,3 г
4. Масса патрона с почвой после насыщения	566,5 г
5. Масса насыщенной почвы (566,5 – 270,5)	296,0 г
6. Влажность почвы при капиллярном насыщении:	13,2 %
а) масса алюминиевого стаканчика	23,09 г
б) масса стаканчика с пробой сырой почвы	35,75 г
в) масса стаканчика с высушенной почвой	33,27 г
г) масса сырой почвы до сушки (35,75 – 23,09)	12,66 г
д) масса сухой почвы после сушки (33,27 – 23,09)	10,18 г
е) масса испарившейся воды (35,75 – 33,27)	2,48 г
ж) капиллярная влагоемкость	24,4 %
7. Масса абсолютно сухой почвы в патроне $(296 \cdot 100) / (100 + 24,4)$	38,0 г/см <sup>3</sup>
8. Удельная масса твердой фазы почвы	2,65 г/см <sup>3</sup>
9. Объем твердой фазы почвы в образце $(238 / 2,65)$	89,8 см <sup>3</sup>
10. Скважность общая (181,0 – 89,8)	91,2 см <sup>3</sup>
11. Скважность капиллярная (296,0 – 238,0)	58,0 см <sup>3</sup>
12. Скважность некапиллярная (91,2 – 58,0)	33,2 см <sup>3</sup>
13. Объем твердой фазы почвы $(89,8 / 181,0) \cdot 100$	49,6 %
14. Скважность общая $(91,2 / 181,0) \cdot 100$	50,4 %
15. Скважность капиллярная $(58,0 / 181,0) \cdot 100$	32,0 %
16. Скважность некапиллярная $(33,2 / 181,0) \cdot 100$	18,4 %
17. Масса почвы в патроне до насыщения (535,2 – 270,5)	264,7 г
18. Масса воды в почве до насыщения (264,7 – 238,0)	26,7 г
19. Масса воздуха в почве до насыщения (91,2 – 26,7)	64,5 г
20. Степень насыщения $(26,7 / 91,2) \cdot 100$	29,3 %
21. Степень аэрации $(64,5 / 91,2) \cdot 100$	70,7 %
22. Объемная масса $(238,0 / 181,0) \cdot 100$	1,31 г/см <sup>3</sup>

**Лабораторная работа № 13**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ПАХОТНОГО СЛОЯ МЕТОДОМ НАСЫЩЕНИЯ В ПАТРОНАХ (ЦИЛИНДРАХ)**

Соотношение объемов, занимаемых твердой фазой почвы и различными видами пор, называется *строением*, или *сложением*, пахотного слоя.

Оно определяется взаимным расположением почвенных комков и частиц и зависит от гранулометрического состава, структуры, времени и способов обработки почвы, а также от развития корневой системы растений и деятельности почвенной фауны.

Строение (сложение) пахотного слоя оказывает большое влияние на водный и воздушный режимы почвы, интенсивность биологических процессов, газообмен между почвой и атмосферой и ряд других свойств почвы.

При определении строения пахотного слоя методом насыщения почвы в патронах (цилиндрах) работу ведут в следующей последовательности.

Перед выходом в поле цилиндры нумеруют и определяют массу каждого из них, измеряют диаметр режущей части бура. В поле цилиндр соединяют со штангой. Установив бур вертикально к поверхности почвы, нажатием руки его вдавливают, а при сильном уплотнении забивают молотком в почву на заданную глубину, которую определяют по черте или на стенке цилиндра или штанге. Считается, что заданная глубина погружения цилиндра достигнута при соприкосновении черты с поверхностью почвы. Достигнув необходимой глубины погружения, бур поворачивают несколько раз по часовой стрелке, отделяя отобранный в цилиндр образец от остальной массы почвы, и вынимают цилиндр из почвы. Лишнюю почву на нижнем конце цилиндра срезают ножом вровень с краями. Цилиндр отделяют от штанги, доставляют в лабораторию и взвешивают.

После взвешивания цилиндры ставят в специальную ванночку для капиллярного насыщения. Для этого под цилиндр подкладывают кружок фильтрованной бумаги с несколько большим диаметром, чем диаметр цилиндра и ставят его нижней частью в ванночку.

После установки цилиндров ванночку заливают водой так, чтобы она не соприкасалась с почвой в патронах. Капилляры почвы через фильтровальную бумагу начинают постепенно заполняться водой. Насыщение продолжают до установления постоянной массы (2 – 3 сут). После насыщения цилиндр, придерживая за фильтровальную бумагу, вынимают из ванны и ставят на стол. Фильтровальную бумагу снимают, приставшую к бумаге почву счищают в патрон и их взвешивают.

После взвешивания почву из цилиндра помещают в фарфоровую чашку, перемешивают и отбирают образец почвы для определения ее капиллярной влагоемкости. Отобранную пробу помещают в предварительно взвешенный алюминиевый стаканчик, закрывают его крышкой и взвешивают с точностью до 0,1 г. Затем, открыв крышку, стаканчик с почвой по-

мещают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы при температуре 125 – 130 °С.

Записи при определении строения (сложения) почвы методом насыщения в цилиндрах ведут в рабочей тетради.

## **Лабораторная работа № 14**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ**

Под *капиллярной влагоемкостью* понимают способность почвы удерживать воду в мелких капиллярных порах. Капиллярная вода передвигается под действием менисковых сил. Наибольшее количество воды, которую может удержать почва при непосредственном соприкосновении с уровнем грунтовых вод, называют капиллярной влагоемкостью. Плотные почвы тяжелого гранулометрического состава с повышенной капиллярной пористостью отличаются более высокой капиллярной влагоемкостью. При близком залегании грунтовых вод капиллярная влагоемкость достигает по величине *полевой влагоемкости*, под которой понимают наибольшее количество воды, удерживаемое почвой в подвешенном состоянии без подтока воды снизу.

Следовательно, по капиллярной влагоемкости можно определить приближенно величину полевой влагоемкости, знание которой дает возможность установить продуктивную влагоемкость почвы, т. е. наибольшее количество доступной для растений влаги, которое может содержать почва, пористость аэрации и капиллярную пористость. При состоянии увлажнения почвы, равном полевой влагоемкости, необходимо применить для предотвращения капиллярного подтока воды к поверхности и ее испарения из почвы рыхление поверхности.

Капиллярная влагоемкость в лабораторных условиях определяется методом насыщения образцов почвы ненарушенного сложения в патронах (лаб. работа № 13).

Расчет капиллярной влагоемкости ведут по формуле

$$W_k = A / B \cdot 100,$$

где  $A$  – масса воды в почве, г;  $B$  – масса сухой почвы, г;  $W_k$  – капиллярная влагоемкость к массе сухой почвы, %.

Массу воды в почве устанавливают по разности массы алюминиевого стаканчика с почвой до сушки и после сушки, а массу сухой почвы – по разности стаканчика с высушенной почвой и пустого стаканчика.

**Пример расчета капиллярной влагоемкости почвы:**

Масса алюминиевого стаканчика	23,09 г
Масса стаканчика с пробой сырой почвы	35,75 г
Масса стаканчика с высушенной почвой	33,27 г
Масса сырой почвы до сушки (35,75 - 23,09)	12,66 г
Масса сухой почвы после сушки (33,27 - 23,09)	10,18 г
Масса испарившейся воды (35,75 - 33,27)	2,48 г
Капиллярная влагоемкость	24,4 %

**Лабораторная работа № 15  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ**

**Пластичность почвы.** Пластичностью называется свойство почвы деформироваться под влиянием внешних механических сил без разрыва сплошности и сохранять полученную форму после прекращения внешнего воздействия.

Пластичность зависит от механического, минералогического, химического состава почвы, состава обменных оснований и проявляется при определенном диапазоне влажности, характеризующем верхний и нижний пределы пластичности, или границы пластичности. В сухом и переувлажненном состоянии почвы не обладают пластичностью.

Измеряют пластичность числом пластичности, которое представляет отношение влажности почвы при верхнем и нижнем пределах пластичности. Чем больше число пластичности, тем пластичнее почва. Каждая почва характеризуется своим интервалом влажности, при котором проявляется пластичность, т.е. своими границами пластичности и определенным числом пластичности.

По числу пластичности почвы классифицируют на 4 категории пластичности (по Аттебергу):

	Число пластичности
Почвогрунты	
Высокопластичные . . . . .	больше 17
Пластичные . . . . .	17 – 7
Слабопластичные . . . . .	меньше 7
Непластичные . . . . .	0

Верхняя граница пластичности – это верхний предел оптимальной

влажности для обработки почв, при котором возможна механическая обработка почв. Значение величины верхней границы пластичности важно для определения устойчивости почв к водной эрозии. При влажности, превышающей верхнюю границу пластичности, почва приобретает способность растекаться, сползать по уклону. Верхний предел пластичности является одновременно нижним пределом текучести.

### **Определение верхнего предела пластичности**

#### **Метод Бахтина**

*Ход анализа.* 25 – 30 г почвы, освобожденной от корней, растертой резиновым пестиком и просеянной через сито 1 мм, помещают в фарфоровую или металлическую чашку диаметром 12 см. Эту пробу тщательно смешивают с дистиллированной водой до пастообразного состояния. После этого сосуд или плотно закрывают, или ставят во влажную камеру. Спустя 24 ч пробу еще раз перемешивают и гладко разравнивают по дну чашки слоем 1 см. Ножом или шпателем проводят щель, разделяющую пробу пополам. Щель у дна должна иметь ширину 2 мм, а у поверхности – 12 мм. Затем трижды сильно ударяют по дну рукой или три раза бросают чашку с пробой с высоты 6 см. Если при третьем ударе обе половины пробы сомкнулись на высоту 1 мм по длине щели 1,5 – 2 см, то верхний предел пластичности, или нижняя граница текучести, достигнут. 10 – 15 г этой пробы берут для определения влажности.

#### **Метод Васильева**

*Ход анализа.* На штатив помещается полированный конус из нержавеющей стали весом 76 г. Высота конуса 25 мм и угол при вершине 30°. На расстоянии 10 мм от вершины имеется круговая метка. К основанию конуса прикреплена стальная проволока, согнутая в полуокружность с двумя металлическими шариками в качестве балансира. На основание штатива ставят алюминиевый стаканчик высотой 2 см и диаметром 4 см. В стаканчик закладывают почвенную пасту и ровно разглаживают. На поверхность почвы ставят слегка смазанный вазелином конусный наконечник. От собственного веса конус проникает в пасту. Если он проникает точно на 10 мм, то это значит, что содержание влаги в почве соответствует пределу текучести. Если конус проникает глубже, то почва слишком влажная, а если менее чем на 10 мм, то нужно добавить воды. Измерения проводят в трехкратной повторности. Расхождение между повторными определениями допустимо до 2 %. Определение влажности выполняют обычным методом.

## Определение нижнего предела пластичности

### Метод Аттеберга

*Ход анализа.* Оставшуюся от предыдущего испытания почвенную массу подсушивают до тех пор, пока вся масса при раскатывании между ладонями рук прилипать к ним не будет. Полученное глинистое тело тщательно переминают. Небольшой кусочек почвы раскатывают ладонью на листе плотной глянцевой бумаги (или) на стекле до образования жгута диаметром 3 мм. Если при этой толщине жгут не рассыпается, а сохраняет связность и эластичность, то его снова переминают до тех пор, пока он не начнет рассыпаться, достигнув толщины 3 мм.

Распавшиеся фрагменты жгута складывают в сушильный стаканчик и определяют влажность обычным образом. Полученная влажность является значением нижнего предела пластичности. Определение проводится в трехкратной повторности. Расхождение между повторными определениями допустимо до 2 %.

По разности влажности почвы при верхнем и нижнем пределах пластичности находят число пластичности.

**Липкость почвы.** *Липкостью* называют способность почвы прилипать к рабочим органам почвообрабатывающих машин и орудий. Она увеличивает тяговое сопротивление, ухудшает качество обработки, затрудняет движение транспорта.

Липкость почвы наиболее полно характеризуют три показателя, которые определяют по зависимости липкости от влажности: влажность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальная липкость. Величина липкости измеряется усилием в граммах на квадратный сантиметр, требующимся для отрыва от почвы прилипшего к ней диска или пластины, и выражается в единицах давления (МПа, кг/см<sup>2</sup>, Н/см<sup>2</sup>).

Липкость почвы зависит от гранулометрического состава, степени ее дисперсности, состава поглощенных катионов, структурности и влажности. С повышением дисперсности почвы, ухудшением структуры, утяжелением гранулометрического состава липкость почв увеличивается.

По данным А.Ф. Вадюниной, липкость начинает проявляться в структурных почвах при 60 – 80 % влажности от наименьшей влагоемкости, а в распыленных почвах – при более низкой влажности.

С увеличением влажности до определенного предела липкость возрастает

тает. При влажности почвы, превышающей влажность начального прилипания, условия обработки почвы неблагоприятны. По Н.А. Качинскому, оптимальная влажность почвы для ее обработки на 2 – 3 % меньше влажности начала прилипания почвы к металлу.

По величине липкости при наименьшей влагоемкости Н.А. Качинский разделяет почвы на 5 категорий:

Состояние почвы	Липкость, г/см <sup>2</sup>
Предельно вязкая . . . . .	Больше 15
Сильно вязкая . . . . .	5 – 15
Средне вязкая . . . . .	2 – 4
Слабо вязкая . . . . .	0,5 – 1,5
Рассыпчатая . . . . .	0,1 – 0,4

**Определение липкости почвы по методу Н.А. Качинского.** Для определения липкости в почвенных лабораториях чаще всего пользуются прибором конструкции Н.А. Качинского.

Прибор Качинского (рис. 2.11) представляет собой видоизмененные теххимические весы, правая чашка которых заменена специальным подвесным стержнем, заканчивающимся диском площадью 10 см<sup>2</sup>. Диск и стержень уравниваются левой чашкой весов и алюминиевым стаканчиком определенной массы.

Определять липкость можно в образцах почвы нарушенного и ненарушенного сложения при различных влажностях почвы, начиная с влажности, соответствующей капиллярной влагоемкости. Затем, подсушивая почву, анализ повторяют при других влажностях до прекращения прилипания почвы к диску.

*Ход анализа.* К образцу почвы прикладывают диск нижней стороной. Сверху на диск кладут гирю, чтобы улучшить контакт его с почвой. Через минуту гирю снимают, а в стаканчик левой чашки весов насыпают песок, пока диск не оторвется от почвы. Песок взвешивают, вес его делят на пло-

щадь диска и находят липкость. После определения липкости с поверхности образца почвы берут пробу на влажность.

На основании данных анализа составляют график зависимости липкости от влажности почвы. По оси ординат откладывают липкость ( $\text{г/см}^2$ ), на оси абсцисс – влажность (%).

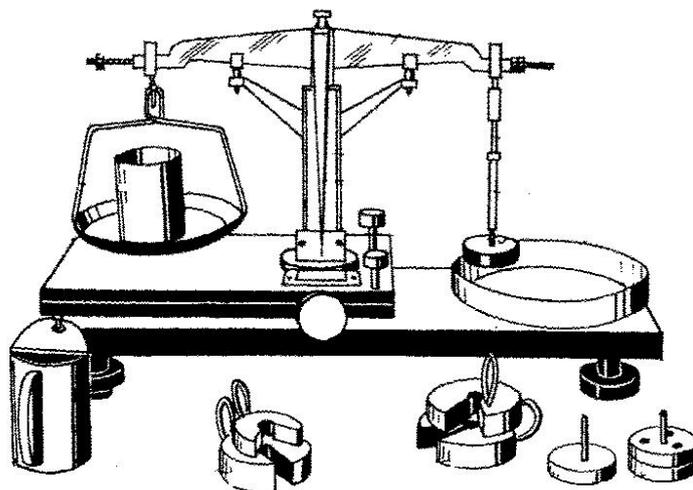


Рис. 2.11. Прибор Качинского для определения липкости почвы

**Набухание почвы.** *Набухание* почвы – способность ее увеличиваться в объеме при впитывании воды. Величина его зависит от гранулометрического, минералогического и химического состава почвы. Значительно влияет на набухание состав поглощенных оснований.

Определение набухания почвы. Из методов определения степени набухания наиболее распространен метод Васильева: испытуемый образец почвы или грунта помещают в металлическое кольцо между перфорированными пластинками. Степень набухания фиксируется индикатором (мессурой).

В настоящее время промышленность выпускает серийно прибор ПНГ (рис. 2.12).

Основной частью прибора является металлическое кольцо 3 высотой 10 мм с насадкой 4, которая с одной стороны заточена под углом  $60^\circ$ , с другой – имеет выступ, обеспечивающий укрепление на кольце. Кольцо плотно надевается на перфорированное донце 1. К донцу с помощью винтов 2, 8 прикрепляется скоба 6. Скоба удерживает кольцо в строго фиксированном положении и является центрированной (по отношению к кольцу) опорой для индикатора 7, ножка которого свободно опускается на верхний подвижный перфорированный поршень 5.

**Ход работы.** Кольцо с насадкой заполняют грунтом путем постепенного

вдавливания в грунт. Кольцо с образцом вынимают ножом, срезают излишки и зачищают торцевые поверхности. Осторожно отделяют от кольца насадку, а образец аккуратно срезают по плоскости вровень с краями кольца. Кольцо с образцом взвешивают и, надев вновь насадку, устанавливают на перфорированное дно диска, покрытое кружком фильтровальной бумаги. Поверхность образца сверху также покрывают фильтром и опускают на нее поршень. Закрепив винтами скобу, устанавливают индикатор так, чтобы ножка его касалась головки поршня.

Собранный прибор помещают в ванночку. Записывают показания индикатора до опыта. В ванночку наливают воду так, чтобы дно, на котором установлено кольцо, было полностью затоплено. Отмечают время заливки воды в ванночку и следят за показаниями мессуры, записывая их через 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50 мин, 1 ч, далее через каждый час в течение суток, в последующие сутки два раза в день (утром и вечером). Опыт считается законченным, если показания индикатора за последние двое суток разнятся на 0,01 мм. Вода, используемая в опыте, должна по составу соответствовать природной воде, или следует применять дистиллированную воду.

Закончив опыт, прибор разбирают, кольцо с набухшим образцом помещают в фарфоровую чашку, взвешивают и высушивают до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 105 – 110 °С.

Расчет степени набухания  $\varepsilon$  производят по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0},$$

где  $\Delta h$  – абсолютная деформация образца, свободно набухшего в условиях невозможности бокового расширения;  $h_0$  – первоначальная высота образца с исходной влажностью.

Степень набухания измеряется в процентах или долях единицы. По этому показателю согласно ГОСТ 25100-95 к набухающим относят грунты при  $\varepsilon \geq 0,04$ .

Кинетику набухания можно изобразить графически, откладывая по оси абсцисс время, по оси ординат – степень набухания.

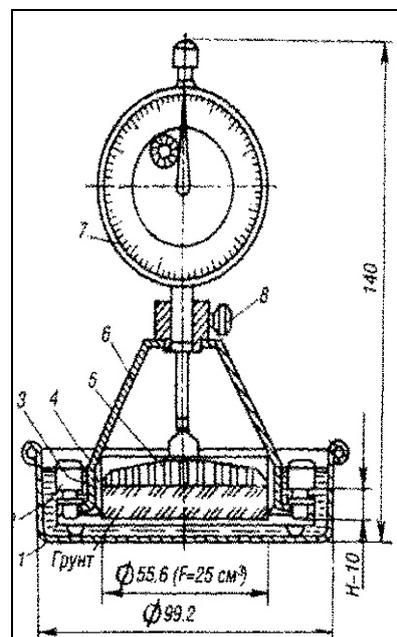


Рис. 2.12. Прибор для определения набухания почв и грунтов

## Библиографический список

1. *Шеин, Е. В.* Агрофизика / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – Ростов н/Д. : Феникс, 2006. – 400 с.
2. Теории и методы физики почв / под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – М. : Гриф и К°, 2007. – 616 с.
3. *Шеин, Е. В.* Курс физики почв : учебник. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 422 с.
4. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств почв / под ред. Е. В. Шеина. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 200 с.
5. *Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 418 с.
6. *Воронин, А. Д.* Основы физики почв / А. Д. Воронин. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
7. *Зайдельман, Ф. Р.* Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны / Ф. Р. Зайдельман. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 328 с.
8. Физико-химические методы исследования почв / под ред. Н. Г. Зырина, Д.С. Орлова. – М. : Изд-во МГУ, 1980. – 362 с.
9. *Качинский, Н. А.* Физика почвы. В. 2 ч. Ч 1. – М. : Высш. шк., 1965. – 358 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ.....	4
1.1. Плотность твердой фазы, агрегатов, почвы.....	4
1.2. Гранулометрический состав.....	14
1.3. Структура почвы.....	19
1.4. Физико-механические свойства почв.....	25
1.5. Влажность и водные свойства почв.....	36
ГЛАВА 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ.....	48
Лабораторная работа № 1. ПОДГОТОВКА ПОЧВЫ К АНАЛИЗУ.....	48
Лабораторная работа № 2. ГИГРОСКОПИЧЕСКАЯ ВЛАЖНОСТЬ.....	49
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ.....	51
Лабораторная работа № 4. ПОЛЕВАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ.....	53
Лабораторная работа № 5. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ.....	55
Лабораторная работа № 6. ДИАГНОСТИКА ПОЧВ ПО МЕХАНИЧЕСКОМУ СОСТАВУ.....	66
Лабораторная работа № 7. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОЧВЫ.....	73
Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВЫ.....	79
Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ (ПЛОТНОСТИ) ПОЧВЫ.....	82
Лабораторная работа № 10. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПОРИСТОСТИ (СКВАЖНОСТИ) ПОЧВЫ.....	84
Лабораторная работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ПОРИСТОСТИ.....	86
Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДЫ И ВОЗДУХА В ПОЧВЕ.....	87
Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ПАХОТНОГО СЛОЯ МЕТОДОМ НАСЫЩЕНИЯ В ПАТРОНАХ (ЦИЛИНДРАХ).....	88
Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ.....	90
Лабораторная работа № 15. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ.....	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	97

*Учебное издание*

КОРЧАГИН Алексей Анатольевич  
МАЗИРОВ Михаил Арнольдович  
ШУШКЕВИЧ Нина Ивановна

**ФИЗИКА ПОЧВ**

Лабораторный практикум

Подписано в печать 20.01.11.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,69 . Тираж 90 экз.  
Заказ

Издательство  
Владимирского государственного университета  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.