

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ

Учебное пособие к полевой практике для студентов,
обучающихся по направлению подготовки
021900 – почвоведение

*Рекомендовано Учебно-методическим советом по почвоведению
при УМО по классическому университетскому образованию в каче-
стве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению высшего и профессионального образо-
вания 021900 «Почвоведение»*



Владимир 2012

УДК 631
ББК 40.3
П49

Авторы:

М.А. Мазиров, Е.В. Шеин, А.А. Корчагин, Н.И. Шушкевич,
А.В. Дембовецкий

Рецензенты:

Доктор биологических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник факультета почвоведения
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
Л.О. Карначевский

Кандидат химических наук, зав. лабораторией
проблем внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия
Владимирского научно-исследовательского хозяйства
Россельхозакадемии
И.Ю. Винокуров

Печатается по решению редакционного совета ВлГУ

Полевые исследования свойств почв : учеб. пособие к поле-
П49 вой практике для студентов, обучающихся по направлению под-
готовки 021900 – почвоведение / М.А. Мазиров [и др.] ; Владим.
гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2012. – 72 с.
ISBN 978-5-9984-0192-3

Изложены основные принципы и методы описания почвенных разрезов,
оценки свойств в полевых и лабораторных условиях.

Предназначено для студентов, аспирантов классических университетов,
обучающихся по направлению «Почвоведение», вузов агрономических, почвен-
но-экологических и агрохимических направлений, а также практических иссле-
дований при внедрении агроландшафтных подходов в земледелии, для сельско-
хозяйственных работников, экологов, почвоведов.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в со-
ответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 16. Табл. 13. Библиогр.: 3 назв.

УДК 631
ББК 40.3

ISBN 978-5-9984-0192-3

© ВлГУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Полевое описание почвенного профиля, исследование структуры, гранулометрического состава, цвета и других морфологических свойств почв в настоящее время сопровождаются прямыми количественными исследованиями. В полевых условиях изучаются, кроме морфологических, разнообразные физические свойства, которые необходимы для проведения расчетов.

Физические свойства и процессы, протекающие в почве, во многом определяют направленность почвообразовательного процесса, условия для роста и развития растений. Наиболее тесный контакт физика почв имеет с земледелием и мелиорацией, задачей которых является временное или коренное улучшение, главным образом, физических свойств почвы для практических целей. Физические свойства учитываются при разработке агротехнических приемов по зонам, а также должны быть положены в основу мелиоративных мероприятий. Так, для зон недостаточного увлажнения разрабатываются приемы улучшения физических свойств почвы, способствующие накоплению и сохранению воды. Наоборот, в зоне избыточного увлажнения агротехнические и мелиоративные мероприятия должны быть направлены в сторону уменьшения содержания воды в почве и увеличения аэрации ее, а для северных районов нужны также приемы тепловых мелиораций.

Оптимальными физическими свойствами и режимами (водным, воздушным, тепловым) будут такие, которые обеспечивают максимальный урожай растений при полной обеспеченности почвы элементами питания.

Знание физических свойств почв и грунтов важно при оценке их как строительного фундамента, так и санитарного состояния.

В настоящее время изучению физических свойств почвы уделяется большое внимание как в стационарных условиях, так и в экспедиционных. Полевые исследования дополняются лабораторными.

Глава 1. ПОЛЕВЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

1.1. ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. ПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА НА МЕСТНОСТИ

Для изучения почвенных свойств, в том числе и некоторых физических свойств, в полевых условиях применяется метод "ключей": по имеющейся почвенной карте выделяют основные генетические почвенные разности и их варианты по гранулометрическому составу, солонцеватости, эродированности. На типичных для данного района рельефе и почве выявляют опытную площадку - "ключ" размерами 10×10, 50×50 или 100×100 м, закладывают на ней один или два глубоких разреза до 2 м и глубже. Таким основным глубоким разрезом должна быть охарактеризована как можно большая площадь, поскольку объем работы при проведении исследования физических свойств почвы (затрата времени, использование большой площади) ограничивает, особенно в производственных условиях, возможность проводить работу на многих точках.

Основной разрез тщательно привязывается к постоянной точке или нескольким точкам на местности (к поселку, постоянной дороге, линии электропередач и т.п.) с указанием направления и расстояния от них. Определяются координаты по GPS. Место положения разреза записывают в полевом дневнике и разрез наносят на карту или план под соответствующим номером.

На сопутствующих почвенных разностях делают неглубокие (50 – 100 см) разрезы, на которых определяют некоторые физические свойства (плотность почвы, водопроницаемость). Для агротехнических характеристик достаточно изучения физических свойств пахотного и подпахотного горизонтов.

Исследования физических свойств почвы проводят по генетическим горизонтам до глубины залегания грунтовой воды или верховодки. При глубоком их залегании следует охарактеризовать материнскую и подстилающую породы, так как от них почва унаследовала

ряд свойств, которые нужно учитывать при решении мелиоративных задач. Например, в засушливых районах, где исследования ведутся с целью орошения, глубина почвенного разреза должна быть 4 – 5 м. Слои, залегающие глубже, если того требуют исследования, характеризуются образцами, взятыми буром из скважины, которую можно пробурить в дно разреза. Здесь важно проследить свойства глубинных горизонтов - гранулометрический состав, водоподъемную способность (по глубине залегания капиллярной каймы). При исследовании с агротехнической целью особо важно изучить свойства верхних горизонтов (пахотного и подпахотного).

Разрез ориентируют по компасу с юга на север. Передняя стенка должна быть шириной около 1 м. Ее рекомендуется делать обращенной на север, в таком случае почва этой стенки будет медленнее просыхать и, кроме того, при описании не будет мешать изменение освещенности.

Длина разреза определяется глубиной его с таким расчетом, чтобы площадь дна была около 1 м^2 . Площадь вокруг головной части разреза – не менее одного метра от передней стенки и боковых стенок (на длину 1 м) охраняется от затаптывания, засыпок глубинными горизонтами при выбросе их из разреза.

Необходимо помнить, что использованная площадь (особенно на сельскохозяйственном угодье) должна быть целесообразно минимальной. К разрезу и к отдельным рабочим площадкам прокладываются одна тропинка, которой пользуются все работающие. Полевое оборудование сосредотачивают около разреза в одном месте - на клеенке или брезенте. В намеченном контуре разреза сначала снимают пахотный слой или дерн и сбуртовывают с одной стороны разреза. В ту же сторону складывают и гумусовые горизонты, залегающие под дерном или пахотным слоем. Нижние иллювиальные горизонты выбрасывают на другую сторону разреза и в конец его.

В задней части разреза оставляют ступени для спуска. В исключительных случаях, например, когда исследования должны быть проведены на ограниченной площади, ступени могут быть использованы как "рабочие" площадки, но при этом необходимо соблюдать следующее: площадь каждой ступени должна быть не менее одного квадратного метра; они не должны затаптываться (поэтому их нужно

оставлять на 3 – 5 см выше намеченной глубины "рабочей" площадки и спуск в разрез разрешается лишь по одной стороне).

При копке разреза необходимо выяснить особенности почвенных горизонтов. В дневнике нужно отметить, трудно или легко входит в почву лопата, что характеризует твёрдость и плотность; по налипанию почвы на лопату можно судить о липкости. По выбросам на поверхность следует проследить изменение гранулометрического состава, структуры, наличие, характер и глубину залегания новообразований, включений, отметить глубину залегания верховодки и грунтовых вод.

Когда разрез выкопан на заданную глубину, надо прежде всего взять образцы со дна или нижней части стенки разреза. Затем зачистить и выровнять поверхность дна и наметить комплекс действий для определения физических свойств. После этого пробурить в дно разреза скважину. Вынимая образцы из скважины, описать их, взять пробы в алюминиевые бюксы для определения влажности. Остаток бурового образца завернуть в бумагу с соответствующей этикеткой и присоединить к образцам, взятым из стенки почвенного разреза. Закончив все определения на дне, зачистить и выровнять по вертикали переднюю и боковые стенки (на длины 1 м) разреза, отпрепарировать их ножом и приступить к подробному описанию почвы по профилю.

1.2. ОПИСАНИЕ ПОЧВЫ

Прежде всего необходимо разделить почвенный профиль на генетические горизонты. Определить границу вскипания от 10%-ной НСІ. Мощность горизонтов определить по передней и боковым стенкам разреза. Для этого через каждые 10 см провести вертикальные линии от поверхности до дна разреза. Из всех промеров рассчитать среднюю мощность каждого горизонта. Наметить глубины взятия образцов, а также глубины "рабочих" площадок по генетическим горизонтам (рабочая площадка - выровненная поверхность генетического горизонта, на которой будут определяться физические свойства почвы).

В дневнике следует зарисовать почвенный профиль (цветными карандашами или штриховкой) в определенном масштабе, показать на

рисунке границу и особенности генетического горизонта - выраженность структуры, распределение корней, видимые новообразования и включения.

Последовательность в описании генетических горизонтов: *влажность, цвет, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования, включения, переход в следующий горизонт.*

В полевых условиях при описании почвы используют визуальные методы; так предварительно определяются гранулометрический состав, влажность. При тщательном выполнении методики эти субъективные приемы позволяют получать результаты, которые близко совпадают с результатами, полученными аналитическими методами.

Описание следует начинать с определения влажности, так как от степени увлажнения зависят цвет почвы, твердость, выраженность структуры и т.д.

Влажность почвы (визуальное определение по Н.А. Качинскому)

Сухая – влажность ниже максимальной гигроскопической; почва пылит.

Суховатая – не формуется, но и не пылит; при сжатии между пальцами на образце почвы остается след пальца, что соответствует влаге завядания растений.

Сыроватая – формуется слабо и неустойчиво; при раскатывании распадается; влажность соответствует приблизительно 50 % полевой влагоемкости;

Сырая – хорошо формуется, раскатывается в шнур, от воды не блестит; влажность оптимальная для обработки почвы;

Весьма сырая – блестит от воды, но вода не выжимается; глина и суглинок хорошо формуется, высокая липкость; влажность соответствует полевой влагоемкости;

Мокрая - вода выжимается (сочится из стенок разреза).

Цвет почвы

Окраска, или цвет, – один из важнейших морфологических признаков почвы. Разнообразие и интенсивность окраски зависят от вещественного состава ее и количественного сочетания отдельных элементов, а также от физических свойств.

По С.А. Захарову, наиболее важными в почве являются три группы соединений: перегнойные вещества; соединения окиси и закиси железа, углекислая известь, каолинит, кремнекислота.

Перегнойные вещества (органические и органоминеральные) обуславливают черную окраску, в небольшом количестве - серую разной интенсивности.

Соединения окиси железа при различном их количестве придают почве красную, ржавую, оранжевую, желтую окраску.

В условиях избыточного увлажнения и недостаточной аэрации глубинные горизонты имеют сизоватые, голубоватые, грязно-зеленоватые тона, что связано с наличием закисного железа.

Кремнекислота, углекислая известь и каолин, гидрат окиси алюминия в большом количестве обуславливают белую и белесоватую окраску.

Окраска почвы изменяется в зависимости от освещенности, влажности, распыленности: сырая – более темная; растертая и измельченная светлее, чем в ненарушенном сложении. Поэтому в дневнике нужно отметить, при каких условиях и в каком состоянии увлажнения проводилось описание почвы. Дать определение цвета по влажному и сухому образцу.

Приступая к описанию, нужно отметить, однороден или не однороден по окраске генетический горизонт, какой цвет является основным; как выражена неоднородность – затеками (карманами), пятнами; их размеры, происхождение.

Гранулометрический состав

Гранулометрическим составом определяются почти все физические свойства почвы – адсорбционная, структурообразующая способность, плотность, влагоемкость, тепловые и физико-механические свойства. Глинистые и суглинистые почвы, например, содержат больше гумуса и питательных веществ, чем почвы супесчаные и песчаные. Почвы легкого гранулометрического состава весной раньше прогреваются, и обработку их можно начинать в более ранние сроки. Все почвенные исследования, проводимые в целях решения разных задач, обязательно сопровождаются определением гранулометрического состава. При полевом морфологическом описании используются

визуальные методы, а в лабораторных условиях дается точное определение гранулометрического состава исследуемых почв принятыми методами анализа. Визуально гранулометрический состав определяется "сухим" и "мокрым" методами.

"Сухой" метод

Небольшое количество сухой почвы (несколько зерен) размять пальцами и растереть на ладони руки. В почвах тяжелых по гранулометрическому составу – глинистых, тяжелосуглинистых - структурные отдельности ребристы, раздавливаются с трудом; при растирании большая часть втирается в кожу ладони, а при сбрасывании получается пыльное "облако".

Структурные отдельности почвы более легкого гранулометрического состава легко раздавливаются, при растирании лишь небольшая доля частиц втирается в кожу ладони, ощущаются песчаные частицы.

"Мокрый" метод

Отсутствие возможности получения в полевых условиях данных по абсолютным значениям содержания гранулометрических фракций вынуждает проводить полуколичественную и качественную оценку гранулометрического состава почв. Среди подобных методов для оценки гранулометрического состава почв используются следующие методы:

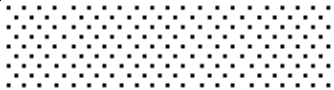


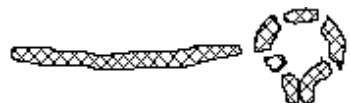

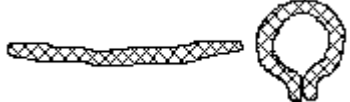
А. Метод скатывания в шнур;

Б. Оценка гранулометрического состава по числу пластичности.

А. Метод скатывания в шнур

Берут 3 – 4 г почвы и увлажняют до состояния густой пасты (вода при этом из почвы не отжимается). Хорошо размятую и перемешанную в руках почву раскатывают на ладонях в шнур толщиной около 3 мм и затем сворачивают в кольцо диаметром примерно 3 см. В зависимости от механического состава почвы шнур при скатывании принимает различный вид (табл. 1.2).

Связь гранулометрического состава с морфологическими показателями

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

Б. Оценка гранулометрического состава по числу пластичности

Способность почвы и грунта деформироваться и принимать приданную им во влажном состоянии форму без образования трещин и сохранять ее после прекращения внешнего воздействия называют пластичностью (Вадюнина, Корчагина, 1986).

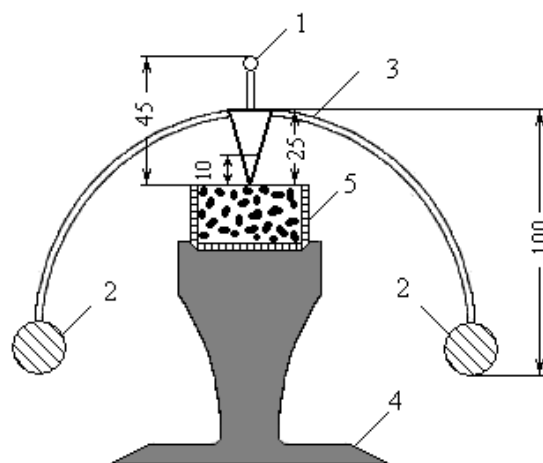
Верхним пределом пластичности почвы является влажность нижней границы текучести, нижним – влажность границы раскатывания почвы в шнур.

Определение верхней границы пластичности W_p

Определение проводят *балансирным конусом Васильева*. Полированный металлический конус 1 (см рисунок) с углом при вершине в 30° и высотой 25 мм. На высоте 10 мм от вершины конуса нанесена круговая метка. При основании конуса смонтировано балансирное устройство, состоящее из двух металлических шаров 2, укрепленных на концах стальной проволоки, согнутой в полуокружность. Центр

основания конуса имеет ручку 3. Вторая часть прибора представляет собой подставку 4, в которую вставляют металлический стаканчик 5, диаметром 4 см и высотой 2 см.

В стаканчик загружают почву или грунт, замешанные с водой до рабочего состояния. Поверхность их тщательно заглаживают, на нее устанавливают конус, смазанный слоем вазелина. Под влиянием собственного веса конус погружается в почву. Погружение его на глубину 10 мм (до метки) свидетельствует о том, что запас влаги в почве соответствует нижнему пределу текучести, или верхнему пределу пластичности. Если глубина погружения конуса меньше 10 мм, то в почву добавляют воды, больше – прибавляют сухую почву или подсушивают образец почвы, добиваясь такой влажности, при которой глубина погружения конуса под собственным весом равна 10 мм. После этого отбирают в сушильный стаканчик пробу почвы и определяют ее влажность, как описано выше. Повторность определения 2- и 3-кратная.



Балансирный конус Васильева

Определение нижней границы пластичности W_n

Для многих почв и грунтов нижняя граница пластичности, или граница скатывания почвы в шнур, соответствует примерно максимальной молекулярной влагоемкости, определяемой методом пленочного равновесия по Лебедеву.

Определение границы скатывания довольно примитивно, производят его следующим образом: почвенную массу после определения верхней границы пластичности подсушивают или в нее добавляют сухую почву. Затем из почвенной массы скатывают шарик диаметром в 1 см и раскатывают его на бумаге в шнур толщиной 3 мм. После потери избытка влаги почвенный шнур распадается на мелкие кусочки, которые собирают в сушильный стаканчик. Набрав 5 – 10 г крошек почвы, определяют ее влажность. Повторность определения 2- и 3-кратная. Из

данных всех определений выводят среднее значение влажности, соответствующее нижней границе текучести.

Связь числа пластичности с гранулометрическим составом почв

Разница между содержанием воды (%) при нижней границе текучести и границе скатывания в шнур называют числом пластичности, по которому и оценивают пластичность почв (грунта):

$$W = W_v - W_n,$$

где W – число пластичности, %; W_v – нижняя граница пластичности, %; W_n – верхняя граница пластичности, %.

Значение числа пластичности позволяет провести оценку гранулометрического состава (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Связь гранулометрического состава почв с числом пластичности

Число пластичности, %	Гранулометрический состав
0	Песок
0 – 7	Супесь
7 – 17	Суглинок
Больше 17	Глина

Структура почвы

Описание морфологической структуры должно быть сделано по генетическим горизонтам. При описании каждого горизонта нужно ножом, стамеской или лопатой взять из него небольшой образец и на лопате или в руках встряхнуть несколько раз. Если горизонт структурен, то образец легко распадается на отдельные. Чётко прослеживается структура отдельных горизонтов при выбросе на поверхность во время копки разреза. В дневнике нужно отметить выраженность структуры; структура ясно или неясно выражена. Отметить тип структуры, размер агрегатов, выраженность граней, налеты на гранях, пористость внутри агрегатов и другие особенности. Дать оценку структуры пахотного слоя с точки зрения агрономической: по крупности отдельных, их пористости, механической прочности и водопрочности.

Механическая прочность, или связность, оценивается по усилию, которое требуется для раздавливания структурной отдельности

пальцами, причем определение нужно сделать при полевой влажности.

Для определения водопрочности следует отобрать несколько агрегатов, положить в стакан и залить водой (воду наливать осторожно по стенке сосуда), слой воды на 0,5 см выше слоя агрегата). Записать, за сколько минут агрегаты распадутся. Результаты определений должны быть отмечены в отчете. При морфологическом описании структуры следует придерживаться характеристике формы и размера структурных отдельностей почв, представленной в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Вид и размеры структурных агрегатов в почвах

Вид структурных агрегатов	Размер, мм	Вид структурных агрегатов	Размер, мм
Кубовидная:		мелкостолбчатая	Меньше 30
крупноглыбистая	Больше 100	крупнопризматическая	Больше 50
мелкоглыбистая	100 – 50	призматическая	50 – 30
крупнокомковатая	50 – 30	мелкопризматическая	30 – 10
комковатая	30 – 10	карандашная	10 при
мелкокомковатая	10 – 0,5		высоте 50 мм
пылеватая	Меньше 0,5	Плитовидная:	
крупноореховатая	Больше 10	сланцеватая	Больше 5
ореховатая	10 – 7	плитчатая	5 – 3
мелкоореховатая	7 – 5	пластинчатая	3 – 1
крупнозернистая	5 – 3	листоватая	Меньше 1
зернистая	3 – 1	скорлуповатая	Больше 3
мелкозернистая	1 – 0,5	грубчешуйчатая	3 – 1
Призмовидная:		мелкочешуйчатая	Меньше 1
крупностолбчатая	Больше 50		
столбчатая	50 – 30		

Сложение почвы

Под сложением понимают внешнее выражение степени плотности, характера пористости и трещиноватости почвы. Оно зависит от гранулометрического состава, оструктуренности почвы, размера и формы отдельных гранулометрических и структурных элементов, их группировки относительно друг друга. Сложение связано также с деятельностью почвенной фауны и корней растений, которые образуют ходы различного диаметра, формы и направления.

По величине и форме пор и полостей различают следующее сложение почвы.

I. *Пористость внутри структурных отдельностей или в сплошной почвенной массе:* 1) тонкопористое – поры диаметром менее 1 мм; 2) пористое – 1 – 3 мм; 3) губчатое – 3 – 5 мм; 4) ноздреватое (дырчатое) – 5 – 10 мм; 5) ячеистое – крупнее 10 мм.

По степени пронизанности порами почвенная масса может быть:

- 1) слабопористой – поры редкие, расстояние между ними 1,5 – 2 см;
- 2) пористой – расстояние между порами около 1 см;
- 3) сильнопористой – расстояние между порами 0,5 см и менее.

II. *Полости между структурными элементами или отдельностями:* 1) тонкотрещиноватые – ширина трещин менее 3 мм, узкие, обычно вертикальные (горизонты с мелкими структурными отдельностями); 2) трещиноватое – трещины 3 – 10 мм (для горизонтов с призматической и столбчатой структурой); 3) щелеватое – вертикальные полости размерами более 10 мм (столбчатые горизонты солонцов).

Полости, особенно тонкие, ясно видны лишь при сухом состоянии почвы. Во влажной почве в результате набухания они слабо или совсем не различимы.

По плотности сложения в сухом и свежем состоянии различают следующие степени сложения:

Весьма плотное (слитое): лопата не входит в почву. Требуется применение кирки или лома (уплотненные горизонты слитых черноземов, столбчатые и карбонатные горизонты солонцов).

Плотное: лопата с большим трудом входит в почву (глубокие иллювиальные горизонты многих почв).

Рыхлое: лопата легко входит в почву, при выбросе масса рассыпается (супесчаные почвы и верхние горизонты хорошо оструктуренных суглинистых и глинистых почв).

Рассыпчатое: почва обладает сыпучестью, песчаные и супесчаные почвы, а также поверхностные горизонты культурных тонкоструктурных почв.

Количественную оценку плотности и твердости почвы в отчете дают по данным плотности почвы при естественной влажности, сопротивлению почвы сдавливанию и расклиниванию.

Новообразования в почве

К новообразованиям относятся специфические выделения и скопления веществ, появившихся в процессе почвообразования. Они

хорошо отличимы от основной массы почвы по окраске, внешнему виду, химическому составу, физическим свойствам. Образование их происходит в результате химических и физических процессов, а также жизнедеятельности животных и растительных организмов. Поэтому различают новообразования химического и биологического происхождения.

Новообразования химического происхождения

1. Легкорастворимые соли (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{OH}_2\text{O}$) белого цвета. При подсыхании образуют тонкие налеты и выцветы на поверхности почвы, а в толще почвы накапливаются в виде прожилок и крупинок.

2. Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) белого цвета. Встречается в виде одиночных кристаллов разной величины, а чаще в виде скоплений.

3. Известь (CaCO_3) белого или грязно-белого цвета. Встречается в очень разнообразных формах: карбонатная плесень; известковая лжегрибница – тонкие прожилки; белоглазка – округлые мучнистые белые пятна; журавчики, дутики, погремки – плотные стяжения различной величины и формы.

Известковые новообразования определяются по вскипанию с 10%-ной HCl . Они характерны для южных почв - черноземов, каштановых, бурых, сероземов, солонцов и засоленных.

4. Гидроокиси железа и окислы марганца в смеси с гидроокисью алюминия, фосфорнокислым железом и алюминием ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, FePO_4 , MnO_2 , Mn_3O_4 , AlPO_4), а также в комплексе с органическими веществами. Они характерны для подзолистых, дерново-подзолистых, заболоченных и болотных почв. Встречаются в виде охристых и ржавых пленок и выцветов на гранях структурных отдельностей, пятен, примазок, потеков, твердых конкреций черного или черно-бурого цвета (ортштейны – 3 мм, рудяковые зерна – больше 3 мм). В болотных и заболоченных почвах встречаются скопления крупных стяжений (желваков) или сплошные твердые прослойки, напоминающие железную руду (рудяк). В песчаных почвах и грунтах часто встречаются так называемые псевдофибры и ортзанды красно-бурой или черно-бурой окраски. Псевдофибровая и ортзандовая полосатость – тонкие (1 – 2 см), извилистые ленты сцементированного гидроокисью железа песка, имеющие чаще всего вертикальное направление. Ор-

тзанды - сплошные сцементированные гидроокисью железа песчаные и супесчаные горизонты. Их мощность может быть от 10 до 70 см .

5. Соединения закиси железа (FeCO_3 ; $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) голубоватого, сизоватого или зеленоватого цвета. Встречаются в переувлажненных почвах. Под действием кислорода воздуха закисные соединения сереют, а затем буреют.

6. Кремнезем (SiO_2) – беловатого цвета. Характерен для элювиального процесса. Выпадает в виде мучнистого налета (присыпки) на структурных отдельностях, белых и белесых пятен и языков на стенках разреза. По глубине распространения затеков судят об интенсивности подзолообразовательного процесса.

Биологические новообразования*

Новообразования животного происхождения: капролиты-экскременты дождевых червей и личинок насекомых – округлые комочки почвы, сцементированные слизью пищеварительной системы червей и собранные чаще по несколько зерен вместе в виде "цепочек" или "башенок"; встречаются на поверхности почвы и внутри ее в пустотах-ходах земляных червей и насекомых (червороинах и червоточинах). При описании почвенного профиля следует отметить кротовины – ходы землероев (мышей, кротов, сусликов, байбаков). Внутри почвы они встречаются в виде пятен округлой или вытянутой формы и ясно выделяются среди основного горизонта по окраске или сложению. Они могут быть заполнены материалом верхних горизонтов – "прямые" кротовины – или материалом нижних горизонтов – "обратные". При закладке нор на поверхности почвы землерои образуют бугорки из нижних горизонтов.

Новообразования растительного происхождения: 1) дендриты – узоры отпечатков мелких корешков на поверхности структурных отдельностей; 2) поры и канальца, возникающие при разложении корней травянистых растений, пронизывающие почву в различных направлениях; 3) корневины – хода крупных корней деревьев, заполненные сгнившим древесным материалом, или более старые, засыпанные почвенной массой из вышележащих горизонтов.

* Подробная классификация новообразований в минеральных гидроморфных почвах дана Ф. Р. Зейдельманом в книге " Режим и условия мелиорации заболоченных почв", 1975.

В профиле почвы могут встретиться погребенные горизонты, которые необходимо также подробно описать.

Включения

Включения – тела, механически включенные в почву, происхождение которых не связано с почвообразовательным процессом. Ими могут быть: 1) каменные включения – валуны, обломки горных пород, если они не входят в состав материнских пород, а также линзы и прослойки другого гранулометрического состава, чем данная материнская порода, например песчаные линзы при суглинистом или глинистом гранулометрическом составе породы, и наоборот; 2) корни, органические остатки, кости вымерших животных (ракушки и т.д.); 3) случайные включения антропогенного происхождения – кусочки угля, обломки кирпича, осколки посуды и т.п. Все это должно быть записано в дневнике.

При описании почвы следует обязательно отметить подверженность территории и данного участка эрозионным процессам, а также определить степень эродированности почвы по прилагаемой классификации для дерново-подзолистой почвы.

Почвы непахотные

Слабосмытые – горизонт A_1 смыт частично (не более половины).

Среднесмытые – подзолистый горизонт A_2 смыт частично или полностью.

Сильносмытые – иллювиальный горизонт B смыт частично или полностью.

Почвы пахотные (с установившейся глубиной вспашки 18 – 20 см)

Слабосмытые – вспашкой затронута самая верхняя часть горизонта A_2B_1 . Пахотный слой заметно осветлен и имеет буроватый оттенок, но еще достаточно прогумусирован. Залегают преимущественно на пологих склонах (не более 3°). На поверхности пашни могут быть редкие промоины, которые не заравниваются при обычной обработке.

Среднесмытые - в пашню вовлечен целиком или частично горизонт A_2B_1 и подгоризонты B_1 до B_2 . Дифференциация по морфологи-

ческим признакам почвенного профиля ослабляется. Пахотный слой имеет бурый цвет и обычно сильнопятнистый. Поверхность пашни размыта частой сетью промоин. Расположены почвы, как правило, на покатых склонах (уклон 3 – 5°).

Сильносмывтые – распахана средняя или нижняя часть горизонта В₂. Определить генетическое название первоначальной почвы не представляется возможным. Преобладают такие почвы на сильно покатых волнистых склонах со значительно варьирующими частичными уклонами до 5 – 8°. Встречаются на пашне лишь отдельными участками.

Намытые почвы разделяются по мощности намытого слоя: слабонамытые – до 20; средненамытые – 20 – 40; сильнонамытые – более 40 см. Следует различать их по составу намытых продуктов, так как это обуславливает плодородие намытых почв.

Необходимо определить визуально и отметить в дневнике тип водной эрозии: плоскостная (или поверхностная), линейная (или овражная), а также указать причины развития эрозионных процессов и предложить меры борьбы с ними. При проведении исследований на пахотных участках в дневнике, а затем в отчете дать подробную характеристику пахотного слоя. В хозяйстве узнать историю поля, предшественника по культуре. Оценить развитие данной культуры, засоренность поля сорняками и т.д.

Взятие образцов почвы для лабораторного исследования

Взятие образцов почвы – очень ответственная операция, которая требует особой тщательности. Образец должен характеризовать именно данный горизонт, поэтому брать его нужно из средней части горизонта, не захватывая верхнюю или нижнюю части другого. Перед взятием ясно провести границы горизонтов, прочертить две параллельные линии от поверхности до дна разреза и брать образцы между ними один под другим, начиная с дна и вверх. Толщина образца по вертикали не более 10, а при малой мощности горизонта – 5 см. Для сохранения естественного сложения образцы вырезают в форме монолита. Примерный вес образца из пахотного слоя 2 – 3, из нижних горизонтов – 1,5 – 2 кг. Каждый образец тщательно упаковывают в оберточную бумагу с вложением вовнутрь двух этикеток. На этикетке обязательно указывают место извлечения образца, номер разреза, го-

ризонт, глубину взятия, дату, фамилию бригадира группы. Ту же запись повторяют на внешней стороне пакета. Взятые образцы необходимо высушить: при солнечной погоде это можно сделать около разреза, разложив их открытыми на брезенте или клеенке; при пасмурной – в лаборатории. Просушенные образцы отдельных горизонтов упаковывают в общий пакет с надписью: пункт взятия, номер разреза, горизонт и глубина, дата. Бригадир обязан проследить за отправкой образцов в лабораторию.

Глава 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

2.1. Влажность почвы

Для подходов к оценке агрофизических и агроклиматических условий в агроландшафтах следует, прежде всего, рассмотреть известные к настоящему моменту подходы к анализу таких важнейших физических свойств почв, как влажность, гранулометрический состав, плотность, порозность почв и агрегатов, водопроницаемость, гидрологические константы и некоторые другие.

Одним из основных показателей агрофизического и агроклиматического состояния почвы является содержание в почве воды, ее количество на единицу массы или объема почвы – *влажность почвы*.

Роль воды в процессах, идущих в почве, многогранна, и ее сложно переоценить. Процессы переноса вещества и энергии, формирование условий существования и питания растений (доступность питательных элементов и их концентрация), газовый режим почв, значения агрофизических показателей – все это определяется влажностью почв или зависит от нее.

Существует несколько способов представления данных о содержании влаги в почвах.

Отношение массы воды в почвенном образце к массе абсолютно сухой почвы этого образца $W = m_w/m_s$ или $W = (m_{вл} - m_{сух})/m_{сух}$, где W (г/г) – весовая влажность; m_w – масса воды в образце почвы массой m_s ; $m_{вл}$ – масса влажного образца; $m_{сух}$ – масса сухого образца;

Отношение массы воды в почвенном образце к объему абсолютно сухой почвы этого образца $\theta = m_w/V$, где θ (г/см³) – объемная влажность; m_w – масса воды в образце почвы объемом V .

В виде запасов влаги в конкретном слое почв – $ЗВ = W \cdot \rho_b \cdot h$, где $ЗВ$ – запас влаги (см водного слоя) в слое мощностью h (см) и плотностью ρ_b (г/см³).

Все методы определения влажности можно разделить на прямые и косвенные. При проведении прямых методов измеряется непосредственно интересующий параметр. В процессе использования косвенных методов фиксируются изменения каких-либо параметров, связанных с интересующим параметром. Все косвенные методы требуют предварительной тарировки (калибровки) прибора, причем именно в той почве, в которой проводится измерение параметра.

2.2. Термовесовой метод – прямой метод определения влажности

Термовесовой метод – основной метод определения влажности почв. Он заключается в высушивании взвешенного образца почвы, помещенного в термоустойчивый (стеклянный или металлический) стаканчик и фиксации потери веса почвенного образца в процессе сушки. Высушивание проводят в течение 6 ч при температуре 105 °С. Расчет влажности ведут по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3},$$

где m_1 – масса влажной почвы со стаканчиком; m_2 – масса сухой почвы со стаканчиком; m_3 – масса стаканчика.

2.3. Гранулометрический состав

По мнению Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского (2003), гранулометрический состав почв [soil texture] – это содержание в почве фракций частиц почвенных элементарных независимо от их минералогического и химического состава. Выражается в виде массовых процентов фракций разного размера. Выделяют фракции: 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 фракцию физической глины, а больше 0.01 мм – во фракцию физического песка. На основании содержания физической глины (или песка) определяется классификационная принадлежность почв по гранулометрическому составу.

Под *гранулометрическим (механическим – уст.) составом* почв и почвообразующих пород понимают *относительное содержание в*

почве элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) различного диаметра, независимо от их минералогического и химического состава. В работах западных почвоведов гранулометрический состав почв обозначают термином «текстура почв». Гранулометрический состав выражается, прежде всего, в виде массовых процентов фракций гранулометрических частиц различного размера.

Гранулометрический состав почва в основном наследует от почвообразующей породы. Существуют данные, что некоторые почвенные процессы могут привести к изменению гранулометрического состава почвенных горизонтов.

Классификация пород и почв по гранулометрическому составу основана на соотношении содержания определенных фракций элементарных почвенных частиц (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Классификация пород и почв по гранулометрическому составу по классификации Качинского (Н.А. Качинский, 1965)

Название породы по гранулометрическому составу	Содержание частиц с эффективным диаметром меньше 0.01 мм, % от массы
Песок рыхлый	0 – 5
Песок связанный	5 – 10
Супесь	10 – 20
Суглинок легкий	20 – 30
Суглинок средний	30 – 40
Суглинок тяжелый	40 – 50
Глина легкая	50 – 65
Глина средняя	65 – 80
Глина тяжелая	Больше 80

Гранулометрический состав пород определяет многие их физические свойства: плотность, порозность, водопроницаемость, фильтрацию, влагоемкость и пр. (табл. 2.2). Гранулометрический состав определяет удельную поверхность почв (суммарную поверхность всех частиц породы, почвы на 1 г), следовательно, влияет на гумусонакопление, питание растений, обменные реакции в почве. Известно, что уменьшение размера частиц, составляющих массу породы, приводит к увеличению ее сум-

марной удельной поверхности (табл. 2.2). Все это позволяет говорить о гранулометрическом составе как о фундаментальном свойстве почв, от которого существенно зависят другие физические свойства почв.

Таблица 2.2

Зависимость физических свойств почвообразующих пород от их гранулометрического состава

Порода	Плотность, г/см ³	Порозность, %	Предельная полевая влагемкость, %	Высота капиллярного подъема, см	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водоотдача метрового слоя, мм
Торф верховой	0.08 – 0.13	90 – 95	65 – 70	60 – 70	0.0 – 0.9	2 – 10
Торф низинный	0.20 – 0.30	80 – 90	55 – 60	60 – 90	0.01 – 10	8 – 14
Песок мелкозернистый	1.6 – 1.7	35 – 40	12 – 18	10 – 20	0.1 – 10	10 – 20
Супесь	1.4–1.6	40 – 45	15 – 20	40 – 60	0.1 – 10	6 – 15
Суглинок	1.2–1.5	45 – 50	25 – 30	100 – 150	0.001 – 0.9	1 – 6
Глина	1.1–1.9	50 – 60	40 – 60	200 – 300	0.001 – 0.09	0.07 – 0.05
Вулканические пеплы	0.7	70	30	10 – 20	3.5	Больше 30

Таблица 2.3

Удельная поверхность гранулометрических фракций осадочных пород по Либерову

Гранулометрическая фракция	Средний эффективный диаметр, мм	Удельная поверхность, см ² /см ³	Количество частиц, шт/л
Средние камни	100	0.6	100
Мелкие камни (хрящ)	10	6	103
Крупный песок	1	60	106
Тонкий песок	0.1	600	109
Средняя пыль	0.01	6000	1012
Ил	0.001	60000	1015

В зависимости от преобладания в глинах тех или иных минералов их удельная поверхность, емкость поглощения, пластичность могут

существенно варьировать. Слоистость осадочных пород создает ряд новых свойств у субстратов, меняя водопроницаемость и водоподъемную способность отложений. Поэтому тем важнее установить, чем определяется разнородность слоев, составляющих почвы: их генезисом или неоднородностью унаследованной от осадочных пород.

Формы представления гранулометрического состава почв могут быть весьма разнообразны.

Результаты анализа гранулометрического состава отдельных (образцов) горизонтов могут быть представлены в виде круговой диаграммы, кумулятивной и/или дифференциальной кривой (рис. 2.1). Отображение данных в виде кривых представляется предпочтительным по сравнению с круговыми диаграммами, так как при сопоставлении последних горизонты сравниваются только по тем условным единицам, которые выбраны в данной диаграмме.

Изменения гранулометрического состава с глубиной почвы чаще всего иллюстрируют графиками распределения отдельных гранулометрических фракций с помощью профильного метода, позволяющего определить послойное содержание всех гранулометрических фракций на всю исследованную глубину почвы.

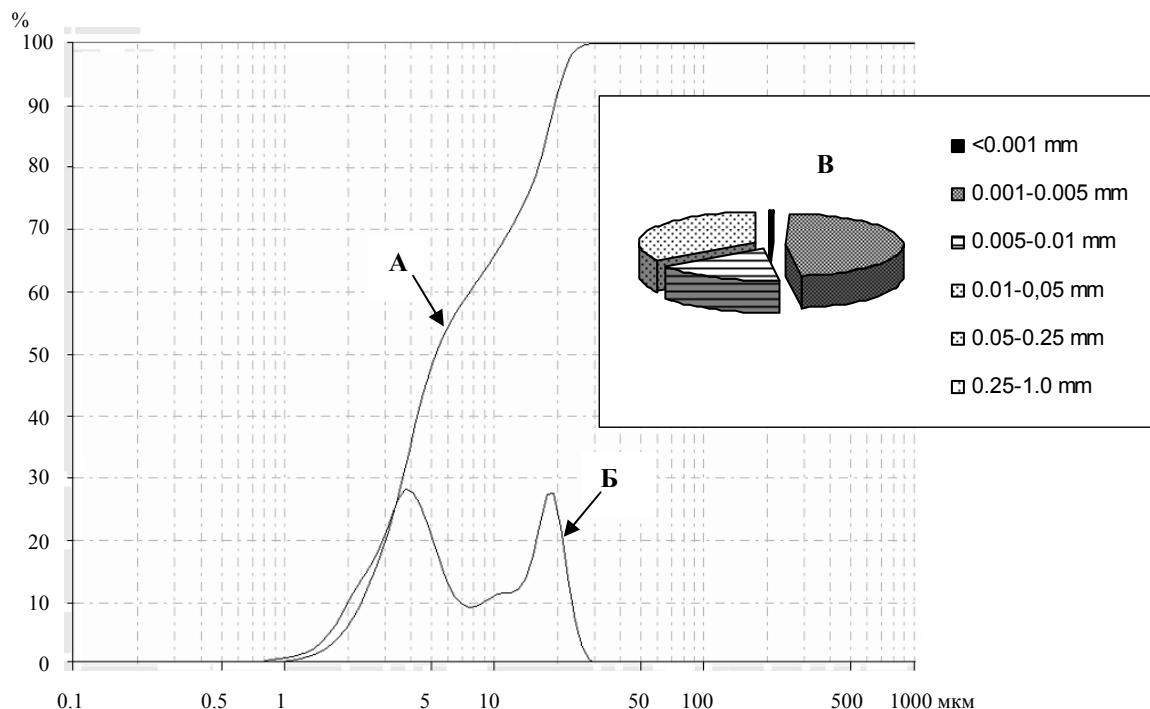


Рис. 2.1. Способы представления гранулометрического состава отдельного образца (горизонта). Интегральная (А) и дифференциальная (Б) кривые, круговая диаграмма (В)

Гранулометрический состав оказывает большое влияние на почвообразование, водно-физические, физико-механические, воздушные, тепловые и другие агрономические свойства почв. В связи с этим гранулометрический состав является одним из основных показателей при характеристике почв и грунтов. Размер частиц, их влияние на свойства природных объектов интересовали ученых давно, еще до возникновения почвоведения как науки. В российской практике принята классификация Н.А. Качинского, обобщившего многочисленные литературные и авторские результаты.

Следует также 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. По всей видимости, это связано с формированием оптимального водно-воздушного режима: дерново-подзолистые почвы более легкого состава лучше дренируют воду в гумидной зоне. В этом случае в почвах такого гранулометрического состава больше почвенного воздуха, который во влажных почвах может оказаться лимитирующим фактором, такие почвы быстрее прогреваются, что также весьма важно для почвенных условий гумидной зоны. 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.

Гранулометрический состав определяет гидрофизические, механические и реологические свойства почв, влияет на условия произрастания растений. Однако кроме гранулометрического состава есть и еще одна физико-химическая характеристика почв, которая получила название «микроагрегатный состав». Е.В. Шеин и Л.О. Карпачевский (2003) дают следующее определение микроагрегатам и соответствующим методам их определения: «Микроагрегат – почвенное трехмерное образование, состоящее из первичных (элементарных) почвен-

ных частиц». По предложению К.К. Гедройца (1926) микроагрегатами называют агрегаты диаметром меньше 0.25 мм, а больше 0.25 мм – макроагрегатами, или, просто агрегатами. Для анализа распределения содержания фракций микроагрегатов (фракции имеют те же размеры, что и в гранулометрическом составе) почву подвергают физико-химическому и механическому воздействиям, разрушающим макроагрегаты, но сохраняющим микроагрегаты. Это должно быть более слабое воздействие, чем используется при гранулометрическом анализе. Поэтому при микроагрегатном анализе применяют: а) интенсивное механическое взбалтывание в дистиллированной воде (метод Н.А. Качинского); б) на порядок более низкую концентрацию (0.4 %) пирифосфата натрия, чем при гранулометрическом анализе, и очень слабое механическое воздействие. Эта физико-химическая диспергация позволяет разрушить макроагрегаты, но сохранить микроагрегаты. Определение содержания фракций микроагрегатов производят пипет-методом или другими методами, используемыми для гранулометрического анализа. Таким образом, гранулометрический и микроагрегатный составы представляют собой единую почвенную характеристику, оказывающую влияние на все почвенные свойства, определяющие условия произрастания растений.

Для характеристики устойчивости почвенных микроагрегатов используют различные параметры и коэффициенты. Эти коэффициенты представлены во многих современных монографиях и учебниках по физике почв (Е.В. Шеин, 2005; Теории и методы физики почв, 2007 и др.). Ниже приводится ряд оценочных градаций почв по гранулометрическому и микроагрегатному составам.

1. Коэффициент дисперсности по Качинскому (K_{∂} , %):

$$K_{\partial} = \frac{I_m}{I_2},$$

где I_m и I_2 – содержание фракции ила при микроагрегатном и гранулометрическом составех соответственно. Классификация оструктуренности по K_{∂} :

- <15 – высокая микрооструктуренность;
- 15 – 25 – хорошая;
- 25 – 40 – удовлетворительная;
- 40 – 60 – неудовлетворительная;
- >60 – весьма низкая.

2. Степень агрегированности по Бэйверу (A_2 , %):

$$A_2 = \frac{P_m - P_2}{P_m},$$

где P_m и P_2 – содержания фракции больше 0.05 мм при микроагрегатном и гранулометрическом анализах соответственно. Классификация по A_2 :

>90 – очень высокая микроагрегированность;

80 – 90 – высокая;

65 – 80 – хорошая;

50 – 65 – удовлетворительная;

35 – 50 – слабая;

20 – 35 – весьма слабая;

<20 – низкая.

Приведенные показатели микроагрегированности использовались как при сравнении почвенных объектов, так и при характеристике микроагрегатной устойчивости конкретного почвенного объекта (горизонта конкретной почвы).

Наиболее распространенные в настоящее время методы определения гранулометрического состава – это способы, основанные на законе Стокса (ареометрический метод и метод пипетки Качинского – Робинсона – Кёхля), и лазерно-дифрактометрический способ. Ни тот, ни другой не могут быть применены для массовых определений содержания гранулометрических фракций в полевых условиях. Это связано, с одной стороны, со значительной трудоемкостью методов, основанных на законе Стокса, а с другой – необходимостью задействования большой приборной базы для выполнения лазерно-дифрактометрического анализа.

2.4. Плотность почв

По классическому определению (Шеин, Карпачевский, 2003; Шеин, 2005, Теории и методы физики почв, 2007 и др.) плотность почвы ρ_b – масса абсолютно сухой почвы в единице объема почвы со всеми свойственными естественной почве пустотами.

Плотность почвы во многом определяет урожай растений. Она оказывает влияние на рост корней растений, так как уплотненная почва является существенной преградой для проникновения корней. В

уплотненной почве при высокой величине ρ_b низка порозность. 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 развито, 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 ее уплотнения тяжелой сельскохозяйственной техникой, а это обусловлено своевременностью 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 внутрипочвенное уплотнение очень трудно: оно незаметно на 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 – не проблема. Достаточно его вспахать, взрыхлить различными почвообрабатывающими орудиями. Но вот разрыхлить агрегаты – основное хранилище питательных веществ, воды, почвенной биоты – значительно сложнее. Агротехниче-

ские 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.

Методы определения плотности почв

Плотность почвы определяют в полевых условиях при естественном сложении со всеми присущими почве кавернами, трещинами, пустотами. Наиболее распространенным методом определения плотности почвы является буровой. Принцип его таков: отбирают образец почвы естественного сложения с помощью стального кольца (бурика) известного объема (как правило, около 100 см³, диаметр кольца 5.6 и высота 4 см). Образец почвы из кольца вынимают, взвешивают, определяют влажность почвы и рассчитывают плотность почвы, ρ_b :

$$\rho_b = \frac{m_1 \cdot 100}{(100+W)V_б}$$

где m_1 – масса почвы из бурика, г, при естественной влажности W , %, и $V_б$ – объем бурика, см³.

Определение плотности сухой почвы ненарушенного сложения нужно обязательно проводить по генетическим горизонтам. Пахотный слой характеризуется более подробно (по всей глубине) – с поверхности, 10 и 20 см. При значительной мощности горизонтов определение следует проводить также по двум или нескольким глубинам.

Из пахотного слоя по каждой глубине образцы должны быть взяты в пятикратной повторности, для нижних горизонтов можно допустить трехкратную.

Для определения плотности почвы предложено несколько методов и приборов, в основу которых положены разные принципы. Наиболее известен буровой метод, который основан на взятии образца почвы ненарушенного сложения с помощью цилиндра-бура определенного объема. В настоящее время существует много вариантов буров. Некоторые из них имеют целевое назначение: для взятия образцов торфяных почв, лесной подстилки и т.п.

Традиционно в отечественном почвоведении для определения плотности почв используются метод и набор инструментов, разработанные Н.А. Качинским (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Набор для определения плотности почв, разработанный Н.А. Качинским (рис. 2.2), состоит из стальных цилиндров-буров объемом около 100 см^3 1 и около 500 см^3 2 для взятия образца; направителя 10 для вертикального погружения цилиндра (малого) в почву; шомпола 8 для вдавливания цилиндра в почву; молотка 3 для забивания цилиндра в случае взятия образца из уплотненного горизонта; ножа 9, лопаточки 7 и совка 6 для выемки цилиндра с почвой и удаления излишков почвы, алюминиевых банок с крышками 4, 5 для хранения взятого почвенного образца.

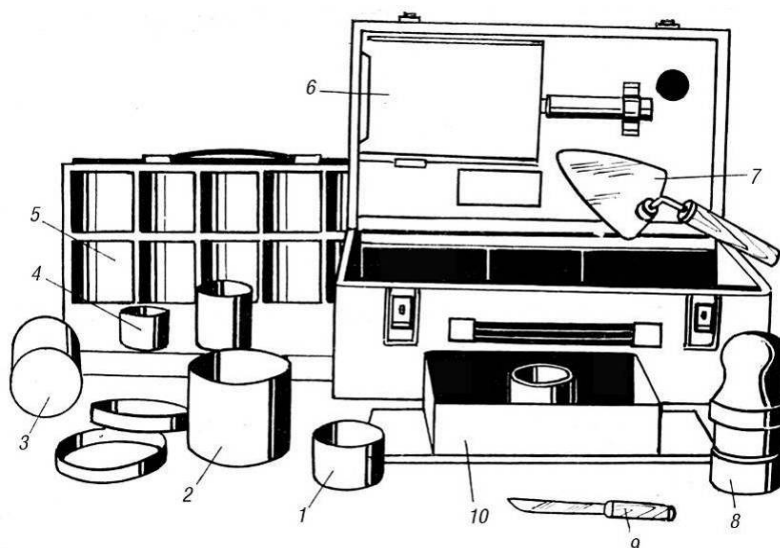


Рис. 2.2. Набор инструментов для определения плотности почвы буровым методом Качинского: 1 и 2 – цилиндры-буры; 3 – молоток; 4 и 5 – алюминиевые банки с крышками; 6 – совок; 7 – лопаточка; 8 – шомпол; 9 – нож; 10 – направитель (Вадюнина, Корчагина, 1986)

Цилиндры-буры для взятия образца почвы в данном наборе низкие, но широкие для того, что сдавливание почвы при отборе пробы было наименьшим. Диаметр режущей части цилиндра делается на 1 мм меньше остальной его части. То и другое обеспечивает взятие образца без прессования. Примерные размеры цилиндров бура малого: высота 40, диаметр режущей части 56, диаметр остальной части

57 мм. При объеме цилиндра-бура около 500 см^3 соответствующие параметры 80, 87, 88 мм.

Большим цилиндром-буром (около 500 см^3) берут образцы из рыхлого пахотного горизонта, а малым – из уплотненных горизонтов. Можно использовать малый бур по всем горизонтам, в таком случае необходимо увеличить количество взятых проб.

Направитель представляет собой колодку из прочного дерева с цилиндрическим отверстием в середине такой же высоты, что и цилиндрическая часть шомпола. Шомпол имеет диаметр, равный внешнему диаметру цилиндра. Изготавливают его из крепкого дерева, для прочности его цилиндрическую часть заключают в металлическую оправу.

Современные приборы для определения значений плотности почв более просты по комплектации, и принципу проведения работы. Примером этому является комплект по определению плотности почв фирмы «Eijkelkamp Agrisearch Equipment» (рис. 2.3).

Техника работы

Взятие проб почвы из пахотного слоя. Недалеко от разреза выделяют незатоптанную площадку ($1 \times 1 \text{ м}^2$), на которой в углах и в середине берут пять проб большим цилиндром. Перед выполнением определения с места взятия проб срезают растения, а поверхность почвы выравнивают. На подготовленную таким образом поверхность ставят цилиндр, закрывают его сверху небольшой квадратной доской ($10 \times 10 \text{ см}$) и, надавливая рукой, погружают в почву. Цилиндр должен полностью заполниться почвой без ее уплотнения. Доску снимают, закрывают цилиндр крышкой, окапывают вокруг ножом или лопаточкой и вынимают. Затем перевертывают, срезают излишки почвы ножом вровень с краем цилиндра, очищают боковые стенки. Закрывают нижней крышкой, перевернув и отняв верхнюю крышку, пересыпают почву в

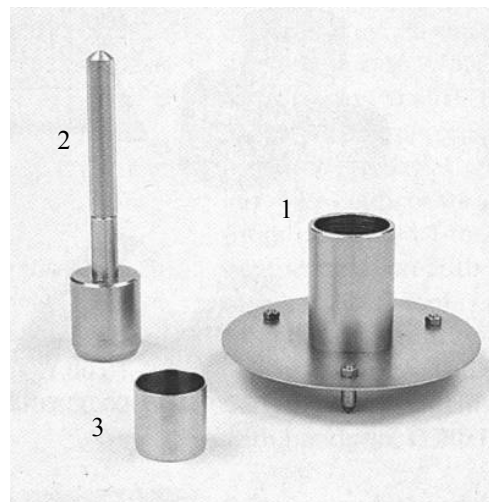


Рис. 2.3. Набор инструментов фирмы *Eijkelkamp Agrisearch Equipment* для определения плотности почвы буровым методом: 1 – направитель; 2 – устройство для забивания кольца (шомпол); 3 – кольцо (бур)

сухой полиэтиленовый пакет и вкладывают этикетку. Взятые образцы сохраняют от нагревания и намокания, поэтому удобно складывать их в ящик или ведро и закрывать сверху клеенкой, полотенцем или мешковиной.

Рядом с первой подготавливают площадку на глубину 10 см, а первую углубляют до 20 см и в том же порядке берут пробы. Если на этих глубинах почва окажется плотной, то используются малые цилиндры.

При взятии пробы необходимо следить, чтобы цилиндр погружался в почву строго вертикально. При перекосе образуется зазор между стенкой цилиндра и почвой и объем взятой почвы не соответствует объему цилиндра. В таком случае этот образец нужно забраковать и повторить определение.

Взятие проб почвы из уплотненных горизонтов. Используется цилиндр малого объема (около 100 см³). В соответствии с намеченной глубиной (середина горизонта) надо хорошо выровнять площадку (не менее 50×50 см). Во избежание перекоса при погружении малого цилиндра в плотный горизонт используют направитель. В отверстие его вкладывают цилиндр, стенки которого предварительно слегка смазывают вазелином. Надавливая рукой на шомпол, цилиндр погружают в почву. Как только шомпол войдет в отверстие направителя до плечика, цилиндр будет погружен в почву на полную глубину. В тех случаях, когда образец берут на сухих и плотных почвах, по головке шомпола ударяют деревянным молотком (следует избегать резких ударов).

Направитель снимают и, закрыв цилиндр шомполом, окапывают почву вокруг него ножом или лопаточкой. Затем почву под цилиндром подрезают таким образом, чтобы оставался некоторый ее излишек.

Не отнимая шомпола, цилиндр поднимают, переворачивают и острым ножом обрезают почву вровень с нижним его краем.

Цилиндр с наружной стороны очищают от приставшей почвы, ставят верхним (более широким) краем над банкой. Почву выталкивают с помощью ножа или специального шомпола, приставшую к стенке почву соскабливают и тоже ссыпают в банку. Почву из цилиндра в банку следует переносить над листом чистой бумаги или на совочке. Упавшие на них частицы ссыпают в банку. Совок рекоменду-

ется делать узким, но высоким, чтобы защищать почву от распыления при ее переносе.

Банку плотно закрывают крышкой и устанавливают в специальный ящик с гнездами. Одновременно со взятием образца для определения плотности отсюда же берут в сушильный стаканчик почву для определения влажности. Пробу почвы на влажность можно взять и после взвешивания образцов в лаборатории. Для этого содержимое банок высыпают на бумагу и быстро берут средний образец 15 – 20 г в сушильный стаканчик.

В рабочей тетради записывают горизонт и глубину взятия образца, номера банок и сушильных стаканчиков.

Пробу на влажность из верхних горизонтов берут в трех-, а из нижних – в двукратной повторностях.

Банку с почвой взвешивают с точностью до 0.01 г, затем почву можно использовать для определения плотности твердой фазы, максимальной гигроскопичности, для учета корней и т.д.

Определив влажность, рассчитывают массу абсолютно сухой почвы. Делением массы абсолютно сухой почвы на ее объем (объем цилиндра) получают плотность сухой почвы ненарушенного сложения, или плотность скелета почвы.

В полевых маршрутных исследованиях, когда нет возможности высушивать образцы при 105 °С и необходимо проанализировать большое количество разрезов, используют следующую последовательность взятия, взвешивания и хранения образцов. В полевых условиях буриком (известного объема около 100 см³) отбирают образцы в полиэтиленовые пакеты. Образцы взвешивают на электронных весах (m_1), пакеты открывают и образцы сушат до воздушно-сухого состояния (m_2). Далее из воздушно-сухого образца берется проба в несколько граммов на гигроскопическую влажность, которую определяют в лаборатории. Зная гигроскопическую влажность и массу образца в воздушно-сухом состоянии, можно рассчитать абсолютно сухую массу образца (m_{a-c}), как отношение массы воздушно-сухого образца к

гигроскопической влажности: $m_{a-c} = \frac{m_2 \cdot 100}{W_2 + 100}$, где W_2 – гигроскопическая влажность, %.

Итоговая формула для расчета плотности при такого рода определениях будет выглядеть: $\rho_b = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_{a-c}}{V_{бурика}}$. Следу-

ет также рассчитать влажность почвы при отборе образца на плотность (полевую влажность): $W_{\text{полевая}} = \frac{m_1 - m_{a-c}}{m_{a-c}} \cdot 100$.

Использование результатов определения плотности почв для агрофизической характеристики. Порозность почвы

От плотности почвы зависит другой, не менее важный агрофизический показатель – порозность почвы, которая в значительной мере определяет водоудерживающую способность почв, движение влаги и солей в почвенном профиле, доступность влаги растениям, содержание в почве воздуха.

Порозность почвы ε как соотношение объема пор почвы к объему всей почвы можно вычислить по величинам плотности почвы и твердой фазы почвы:

$$\varepsilon = \frac{V_t - V_s}{V_t} = 1 - \frac{V_s}{V_t} = 1 - \frac{m_s / \rho_s}{m_s / \rho_b} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}, \text{ (см}^3\text{/см}^3\text{)},$$

где V_t – объем почвенного монолита; V_s – объем твердой части почвы в составе этого монолита; m_s – масса почвы; ρ_b – плотность твердой фазы почвы; ρ_s – плотность почвы.

Общая порозность не может характеризовать истинное соотношение воды и воздуха в почве. Поэтому А.Г. Дояренко (1963), Н.А. Качинский (1965) и другие пришли к необходимости дифференцировать поры в почве, подразделяя их по отношению к передвижению воды на активные и неактивные. Общепринято, что наибольшую агрономическую значимость имеют поры активные, занятые капиллярной водой, и поры аэрации, причем последних должно быть не менее 20 – 25 % общей порозности (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Н.А. Качинский (1965) дифференцировал порозность в почве по занятости пор различными категориями воды, кроме того, он выделял порозность отдельного агрегата, порозность агрегатную и межагрегатную. А.Ж. Thomasson (1978) предложил классификацию почвенных структур на основе соотношения объемов двух категорий пор: аэрации и доступной влаги. В работах И.В. Кузнецовой (1978) отмечалось, что дифференциальная порозность почв является важным фактором, обуславливающим распределение пор по размерам, изучение

этой характеристики необходимо для направленного регулирования водного режима почв.

Если мы захотим узнать объем, занятый воздухом ε_{air} , нужно вычесть из общей порозности ε объем, занятый водой θ . Тогда

$$\varepsilon_{air} = \varepsilon - \theta.$$

Нередко используют и другое выражение порозности в виде «приведенной пористости», или коэффициента пористости, e как отношения объема пор почвы V_0 к объему ее твердой части V_s :

$$e = \frac{V_0}{V_s} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_b}.$$

Коэффициент пористости e характеризует объем пор, отнесенный к неизменным при возможных деформационных изменениях почв объему или массе твердой фазы. Именно поэтому эти параметры порового пространства особенно полезны при характеристике изменения пор почвы при уплотнении, почвенных деформациях, трещинообразовании и др. В почвоведении же традиционно наиболее часто используется величина порозности почв ε .

Итак, плотность и пористость – базовые основные свойства почв. Именно в порах происходят все почвенные процессы, распределяются корни растений, живут микроорганизмы, мелкие животные. Соотношение воды и воздуха в порах почвы определяют окислительно-восстановительный режим почв. Поры определяют передвижение воды в почве, вынос соединений из почвенного слоя, капиллярный подъем воды в почвах. В зависимости от гранулометрического состава и агрегированности почв объем общей порозности закономерно изменяется (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Плотность и пористость почв (по Воронину, 1986)

Горизонт, глубина, см		Плотность, г/см ³		Пористость, % объема почвы			
		твердой фазы почвы	почвы	общая	агрегат- ная	межаг- регатная	агрегатная средне- взвешенная
Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва							
A _{пах}	10 – 20	2.66	1.32	50.4	37.5	12.3	41.2
A ₂	27 – 31	2.67	1.45	45.6	36.0	9.6	36.1
A ₂ B ₁	35 – 45	2.69	1.57	41.6	31.7	9.9	35.2

Окончание табл. 2.4

Горизонт, глубина, см		Плотность, г/см ³		Пористость, % объема почвы			
		твердой фазы почвы	почвы	общая	агрегат- ная	межаг- регатная	агрегатная средне- взвешенная
B ₁	45 – 55	2.70	1.44	46.7	22.8	23.9	30.0
B ₂	55 – 65	2.70	1.70	37.0	26.7	10.3	29.8
Чернозем мощный типичный, среднеглинистый							
A _д A ₁	5 – 15	2.62	1.11	57.8	19.1	38.7	30.3
A ₁	15 – 25	2.61	1.16	55.5	20.8	34.7	31.0
B ₁	60 – 70	2.63	1.21	54.0	27.0	27.0	37.1
B ₂	90 – 100	2.68	1.25	53.4	38.2	15.2	44.7
BCV	>130	2.64	1.34	55.4	39.7	15.7	45.0
Темно-каштановая тяжелосуглинистая почва							
A	2 – 25	2.65	1.28	52.0	34.0	18.8	
B ₁	26 – 35	2.68	1.44	46.0	31.0	15.0	
B ₂	90 – 100	2.71	1.65	39.0	30.0	9.0	
C	56 – 75	2.71	1.75	35.0	29.0	6.0	
Краснозем типичный тяжелосуглинистый							
A _{пах}	10 – 20	2.58	0.67	74.0	46.3	27.7	60.2
B ₁	25 – 35	2.76	0.85	69.2	43.5	25.7	58.3
B ₂	40 – 50	2.81	1.00	64.4	25.9	38.5	42.1
BC	80 – 90	2.82	0.92	67.4	29.9	37.5	47.9

Как тенденцию (но только как тенденцию, а не как правило) для естественных почв можно отметить, что от глин к суглинкам общая порозность почв может возрастать. Однако, если агрегированность почвы высокая, как, например, в черноземах и красноземах, то и в глинистых почвах может быть высокая порозность. Агрегированность, в том числе и микроагрегаты, заметно увеличивают общую порозность. Порозность агрегатов меньше общей порозности, так как последняя включает 10 – 40 % межагрегатной пористости.

Для легких по гранулометрическому составу почв (легкие суглинки, супеси, пески) понятие агрегатной порозности неприменимо, агрегаты в этих почвах не выражены. Общая порозность легких почв, как правило, составляет 43 – 47 % при плотности 1.40 – 1.50 г/см³ и плотности твердой фазы, близкой плотности кварца (2.65 г/см³).

Для понимания почвенных процессов, таких как движение воды в почве, проникновение в почву корней, необходимо знать размеры почвенных пор и их конфигурацию. Корневые волоски могут прони-

каты лишь в поры диаметром крупнее 0.01 мм, мелкие корешки – в поры крупнее 0.1 мм, простейшие и водоросли живут в порах диаметром крупнее 0.02 мм, бактерии – 0.001 мм.

Оптимум же по данным большинства исследователей (Бондарев, 1981 и др.) для суглинистых почв находится в области от 1.0 до 1.3 г/см³. 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 (1965) предложил выделять следующие диапазоны по порозности почвы (порозность почв, см³/см³):

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

Важно отметить, что оптимальные диапазоны плотности пахотного слоя различаются для песчаных и суглинистых почв. Рекомендуется использовать следующие пределы оптимальных диапазонов плотности для различных почв (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Оптимальные диапазоны плотности (Бондарев, 1981)

Гранулометрический состав (текстура) почвы	Оптимальный диапазон плотности, г/см ³
Глинистые и суглинистые	1.00–1.30
Легкосуглинистые	1.10–1.40
Супесчаные	1.20–1.45
Песчаные	1.25–1.60

2.5. Структура почв. Агрегатный состав

Наряду с вышеприведенным морфологическим описанием почвенной структуры в лабораторных условиях с помощью ситового отсева определяют размеры агрегатов. Традиционно в российском почвоведении агрегированность почвы называли ее структурой. В ряде современных работ по физике почв можно встретить иное понимание структуры почвы как, например, структуры порового пространства – распределения пор по размерам и формам или как специфического проводника и емкости для воды и газов (Шейн Е.В., Березин П.Н.,

Гудима И.И., 1988, Воронин А.Д., 1986). Выделяют агрегатный уровень исследования почв, который находится между текстурным (т.е. уровнем элементарных почвенных частиц) и горизонтным. Обычно рассматривают горизонтный уровень, состоящий из отдельных агрегатов, которые, в свою очередь, состоят из микроагрегатов и элементарных почвенных частиц.

Отдельные гранулометрические частицы могут взаимодействовать друг с другом, «склеиваясь» и образуя сначала микроагрегаты, а затем и макроагрегаты, педы, почвенные комки и фрагменты. Микроагрегаты – это почвенные отдельные частицы, состоящие из элементарных почвенных частиц. Отметим очень важный момент в организации микроагрегатов: основную связующую (структурообразующую) роль между пылеватыми и песчаными элементарными почвенными частицами (скелетом) играют илистые частицы. Так из элементарных почвенных частиц формируется первичная структурная единица почвы – микроагрегат. Далее, соединяясь друг с другом, микроагрегаты образуют уже макроагрегаты, или просто агрегаты. Как отмечалось выше, граница между микро- и макроагрегатами, по предложению К.К. Гедройца, находится на уровне 0.25 мм. Особенно важны устойчивость, стабильность почвенных микро- и макроагрегатов, способность их противостоять внешним воздействиям. Именно от этой способности агрегатов зависят и противозерозионная устойчивость почв, и способность выдерживать внешние механические нагрузки, и многие другие почвенные функции.

Оценка структуры почвы

В физике почв структуру почвы оценивают количественно на основании распределения содержания агрегатов (воздушно-сухих и в воде) по их размерам. Структура выражается в содержании фракций агрегатов определенного размера (диаметра). Первым количественным показателем структуры является содержание воздушно-сухих агрегатов различных размеров. Получается этот показатель благодаря рассеиванию воздушно-сухого почвенного образца 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 с диаметром 10 мм высыпается предварительно взвешенный средний образец почвы, сита встряхивают, и агрегаты распределяются на си-

тах 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 соотношение этой фракции к взятой навеске. Естественно, что количество самых крупных агрегатов – глыб и – самых мелких – пылеватой части почвы – указывает на неблагоприятное агрофизическое состояние почвенной структуры. Агрегаты размерами 10 – 0.25 мм – самые важные, они придают почвенной структуре ее уникальное строение в виде почвенных комочков с поровым пространством и определяют почвенное плодородие. Поэтому их и называют агрономически ценными и пользуются обычно следующими качественными оценками структуры на основании количества агрегатов именно этого агрономически ценного диапазона 10 – 0.25 мм:

больше 60% – отличное агрегатное состояние;

60 – 40 – хорошее;

меньше 40% – неудовлетворительное.

Используют и так называемый коэффициент структурности $K_{стр}$:

$$K_{стр} = \frac{\Sigma(10 - 0.25 мм)}{\Sigma(> 10 мм, < 0.25 мм)}.$$

Как видно из приведенного выражения, этот коэффициент также основан на количестве агрономически ценных агрегатов. Соответственно, и диапазоны $K_{стр}$, используемые для качественной оценки структуры, составляют:

больше 1.5 – отличное агрегатное состояние;

1.5 – 0.67 – хорошее;

меньше 0.67 – неудовлетворительное.

Структура почвы, её водоустойчивость определяют соотношение воды и воздуха в почве. Другим показателем структуры является ее устойчивость к внешним воздействиям, среди которых наиболее существенным является воздействие воды. Это чрезвычайно важно, так как почва должна сохранять свою уникальную комковатую зернистую структуру после обильных осадков и последующего легкого подсушивания, когда образуется не плотная непроницаемая для газов и воды корка, а вновь хорошо различимые почвенные комочки, агрегаты. Это качество структуры называют водоустойчивостью. Как мо-

жет 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, или 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. быть водоустойчивыми.

Оценку структуры почвы в отношении ее водоустойчивости проводят по количеству агрегатов определенного размера, остающихся после «мокрого» просеивания. В данном случае – по количеству агрегатов больше 0.25 мм. Чем больше крупных агрегатов (крупнее 0.25 мм), полученных 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;
- меньше 30 – 40 – удовлетворительная;
- 40 – 75 – хорошая;
- меньше 75 – избыточно высокая.

Ниже приводится ряд оценочных градаций почв по агрегатному составу (сухое и мокрое просеивание по Саввинову). В своей работе мы использовали именно эти критерии.

1. По содержанию агрегатов 25 – 10.0 мм при сухом просеивании, %:

- больше 60 – хорошая;
- 60 – 40 – удовлетворительная;
- меньше 40 – неудовлетворительная.

2. По суммарному количеству агрегатов более 0.25 мм при мокром просеивании (классификация, предложенная И.В. Кузнецовой), %:

- меньше 10 – водоустойчивость отсутствует;
- 10 – 20 – неудовлетворительная;

20 – 30 – недостаточно удовлетворительная;

30 – 40 – удовлетворительная;

40 – 60 – хорошая;

60 – 75 – отличная;

больше 75 – избыточно высокая.

3. Коэффициент структурности $K_{стр}$, как отношение содержания агрономически ценных агрегатов [0.25 – 10 мм] к суммарному содержанию «неценных» агрегатов (больше 10 + меньше 0.25 мм):

больше 1.5 – хорошая структурность;

1.5 – 0.67 – удовлетворительная;

меньше 0.67 – неудовлетворительная.

4. Оценка структуры по Долгову и Бахтину – отношение суммы агрегатов 0.25 – 10 мм сухого просеивания к мокрому:

$>80/>70$ – отличная;

60-80/55-70 – хорошая;

40-60/0-55 – удовлетворительная;

20-40/0-40 – неудовлетворительная;

$<20/<20$ – плохая.

5. Критерий водопрочности агрегатов (критерий АФИ) как отношение суммы агрегатов (1 – 0,25 мм) при мокром и сухом просеиваниях, %:

больше 800 – отличная;

500 – 800 – очень хорошая;

100 - 500 – хорошая;

50 - 100 – удовлетворительная;

меньше 50 – неудовлетворительная.

Методы определения сопротивления пенетрации (твердости почвы)

Определения сопротивления пенетрации проводят специальными приборами – пенетрометрами, которые ранее назывались твердомерами. При внедрении зонда пенетрометра в почву происходят разнообразные процессы. Лучше всего это рассмотреть на схеме (рис. 2.4).

Как видно из этой схемы, при внедрении конусного зонда происходят разнообразные процессы: уплотнение почвы, деформации сдвига, а также трение металла о почву. Поэтому получаемый пара-

метр несет в себе разнообразную информацию и в большинстве случаев важен как самостоятельная величина – сопротивление пенетрации.

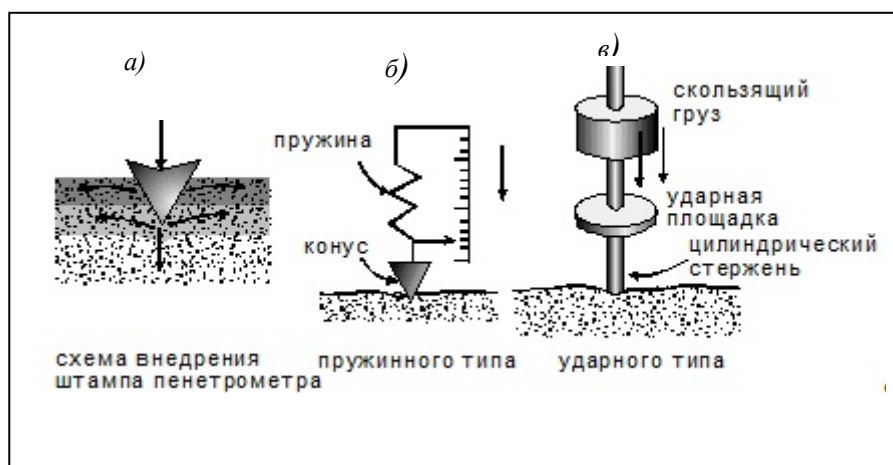


Рис. 2.4. Схема внедрения конического штампа пенетromетра (а) и основные типы пенетromетров: пружинный (б) и ударного типа (в)

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.

Твердомер (пенетromетр) Качинского (рис. 2.5) устроен по револьверному типу – плунжер погружается в почву силой разжимающейся пружины (Учебное руководство к полевой практике по физике почв, 1988).

При работе используются два плунжера: цилиндрический (на сдавливание) и конический (на расклинивание).

Микропенетromетр МВ-2 (рис. 2.6). Этот прибор ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии предназначен для полевого и лабораторного измерения сопротивления пенетрации – расклиниванию песчаных и глинистых пород и почв. Максимальный ход плунжера 26 мм.

При работе с вышеперечисленными пенетрометрами одной из самых ответственных процедур является тарировка пенетрометра. Необходимо регулярно тарировать пружинные пенетрометры, прикладывая известные грузы к пружине (или сдавливая пружину и одновременно измеряя сдавливающую нагрузку, например на весах, в килограммах или граммах) и определяя соответствующие показания шкалы пенетрометра. Значения регистрируемой силы F следует относить к постоянной площади цилиндрического или конусного основа-

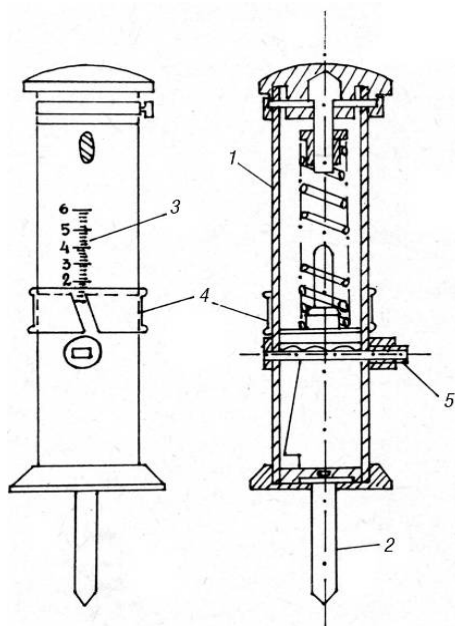


Рис. 2.5. Твердомер конструкции Н.А. Качинского: 1 – стальной корпус прибора; 2 – плунжер; 3 – шкала; 4 – подвижное кольцо (указатель); 5 – защелка

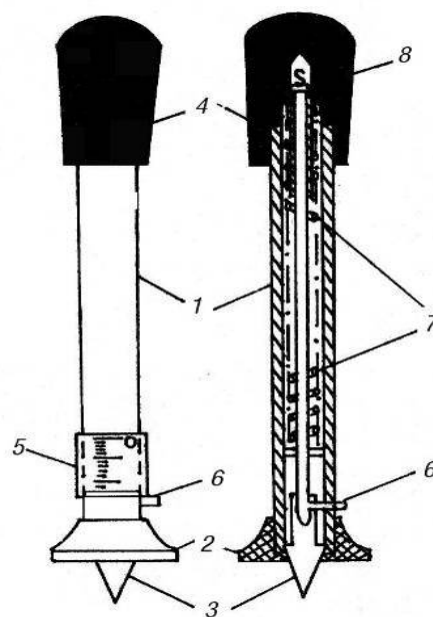


Рис. 2.6. Микропенетрометр МВ-2: 1 – корпус; 2 – опорный диск; 3 – плунжер; 4 – пластмассовая ручка; 5 – цилиндрический ползунок; 6 – шпилька для соединения плунжера со штоком; 7 – пружина; 8 – регулировочная гайка

ния штампа S , получая значения сдавливающего напряжения (или давления): $P = \frac{F}{S}$. Зависимость показания шкалы пенетрометра от придаваемой нагрузки линейная. Поэтому для пружинных пенетрометров (МВ-2 и Качинского (см. рис. 2.5, 2.6) необходимо найти константу прибора K – величину напряжения сжатия (МВ-2) или растяжения (пенетрометр Качинского) на единицу шкалы h (Па/см или $(\text{кг}/\text{см}^2)/\text{см}$, т.е. [давление/длина]). И в случае пенетрометра Качинского сила внедрения составит $P_{\text{репКачинского}} = K \cdot h$, а случае микропенетрометра $P_{\text{репмикропенетрометр}} = P_m - K \cdot h$, где P_m – напряжение пружины

при максимальном сжатии (максимальная отметка шкалы) на площадь конуса пенетрометра, кг/см².

Сопротивление пенетрации для пенетрометров ударного типа (см. рис. 2.5, в) рассчитывается по массе скользящего груза, высоте и количеству падений. Используется следующая формула: $P_{pen} = n \frac{m \cdot g \cdot h_1}{S \cdot h_2}$,

где n – количество падений груза массой m (mg – вес груза, кг) с высоты h_1 ; S – площадь погружаемого в почву стержня; h_2 – глубина внедрения стержня. Получаемая единица измерения – килограмм на квадратный сантиметр.

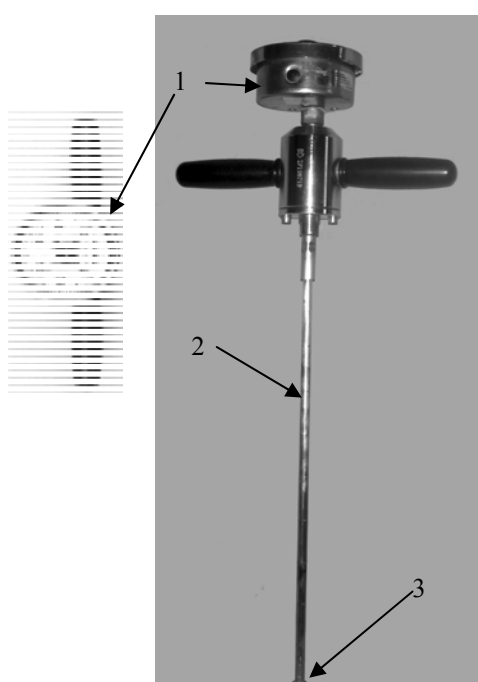


Рис. 2.7. Ручной пенетрометр фирмы «Eijkelkamp Agrisearch Equipment»: 1 – измерительное устройство; 2 – плунжер; 3 – съемный конус

Недостатком использования описанных выше пенетрометров Качинского и МВ-2 является то, что в каждом случае их применения приходится зачищать площадку на глубине проведения исследования. Избежать таких трудоемких работ при массовом определении твердости почв на разных глубинах позволяет применение приспособлений приводящих к удлинению плунжера. Примером такого твердомера является ручной пенетрометр фирмы «Eijkelkamp Agrisearch Equipment» (Нидерланды) (рис. 2.7). В его конструкции предусмотрены выбор конуса в зависимости от степени твердости почв и удлинение плунжера до 3 м. При этом тарировку данного прибора рекомендуется проводить один раз в год.

Традиционно до сих пор в почвоведении в отношении сопротивления пенетрации используют и термин «твердость почвы». Таким образом, сопротивление пенетрации и твердость – термины-аналоги, но использование термина «сопротивление пенетрации» более физически строго, так как *твердость* – сопротивление материала вдавлению или царапанию – не является физической постоянной, а представляет собой сложное свойство, зависящее как от прочности и пластичности материала, так и от метода измерения.

При высоких значениях этого показателя часто заметно снижается всхожесть семян и оказывается значительное механическое сопротивление развивающейся корневой системе растений, изменяется водный, воздушный и тепловой режимы почвы, что отрицательно влияет на развитие самих растений. Кроме того, сопротивление пенетрации почвы оказывает большое влияние на тяговое сопротивление при движении машин и орудий.

Сопротивление пенетрации зависит от разнообразных почвенных свойств, так же, как и компрессия, и сопротивление сдвигу. Прежде всего, это влажность, при которой производят измерение, поскольку, как правило, измерение производят 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 наблюдается максимум сопротивления пенетрации при влажности, близкой к 0.5 – 0.6 НВ (т.е. близкой к ВРК). 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.

Зависимость сопротивления пенетрации от почвенных свойств указывает на его важность для оценки почв. Именно поэтому его измерение 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 которой затруднено проникновение корней в почву и растения начинают заметно страдать от повышенного сопротивления проникновению корней, считается величина около 3 МПа ($\approx 30 \text{ кг/см}^2$).

В западной научной литературе по работам разных авторов критические значения этого параметра физического состояния для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2 – 3 МПа (Lhotský, 1984; Zrubec, 1998) (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Оценка переуплотнения почвы по критическим значениям сопротивления пенетрации (по Lhotský J., a kol, 1984; Zrubec F., 1998)**

Показатель	Критические значения сопротивления пенетрации для соответствующих классов по гранулометрическому составу					
	Глина	Тяжелый суглинок	Средний суглинок	Легкий суглинок	Супесь	Песок
Сопротивление пенетрации, МПа *	2.8 – 3.2	3.2 – 3.7	3.7 – 4.2	4.5 – 5.0	5.5	6.0
Диапазон влажности, % к весу	28 – 24	24 – 20	18 – 16	15 – 13	12	10

* Если реальная влажность почвы выше приведенной в диапазоне, к измеренному значению сопротивления пенетрации следует прибавить 0.25 МПа, а если ниже - вычесть 0.25 МПа.

** L h o t s k ý J., a kol.: Metodika zřodnmnn zhutnmněch pud. ЪVTIZ Praha, 1984; Z r u b e c F. Metodika zřodnenia zhutneněch рfd. SFRI, Bratislava. 1998.

Имеются и другие классификации для оценки твердости (сопротивления пенетрации) почв (табл. 2.7).

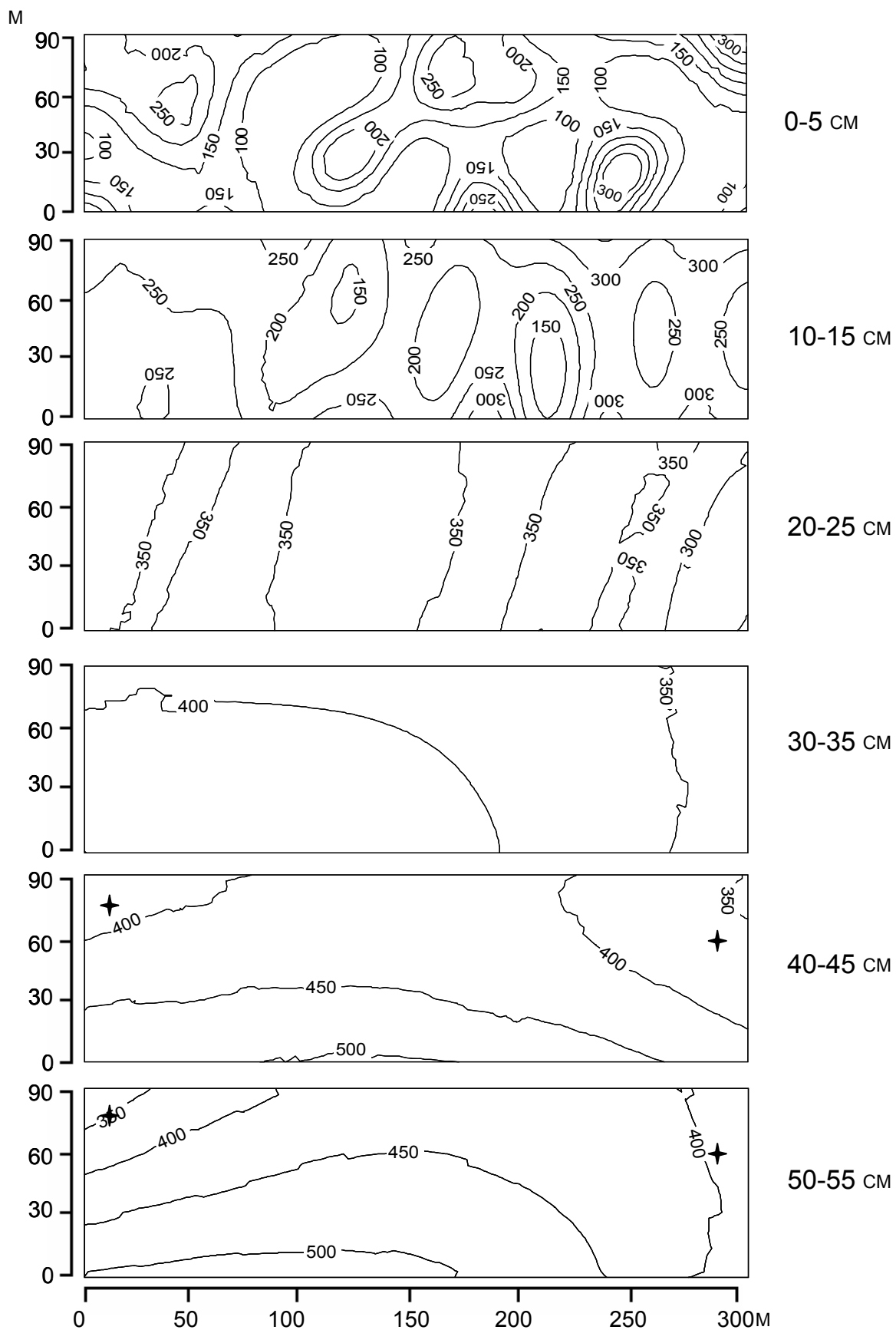
Таблица 2.7

Влияние сопротивления пенетрации на уплотнение (степень консолидации почвы) и значение для растений

Сопротивление пенетрации, МПа	Сложение почвы	Значение для растений
Меньше 0.50	Рыхлое	Не влияет
0.5 - 1.25	Среднее уплотнение	Рост некоторых зерновых может быть ограничен
1.25 - 2.0	Плотное	Рост корней существенно ограничен
2 - 3	Очень плотное	Отдельные корни проникают в такой слой
Больше 3	Чрезвычайно плотное	Рост корней прекращен

Как видно, приведенные выше классификации существенно не отличаются, а лишь дополняют друг друга.

Следствием зависимости значений твердости почв от многих почвенных и экологических факторов является высокая вариабельность этого показателя. В особенности это касается поверхностных горизонтов, где на значения сопротивления пенетрации помимо влияния естественных факторов оказывается активное антропогенное воздействие. Анализ топоизоплет значений сопротивления сдавливания на разных глубинах (рис. 2.8) показал, что наибольшим варьированием значений твердости характеризуются поверхностные горизонты.



✦ Рис. 2.8. Пространственное варьирование твердости, Па, серых лесных почв Владимирского ополья

При этом очень отчетливо влияние сельскохозяйственной обработки проявляется на глубине 20 – 25 см, где чередование рыхлых и уплотненных зон соответствует направлению движения сельскохозяйственной техники (поперек склона). Более глубокие слои почвы (глубже 30 см) уже не затрагиваются вспашкой. И, как следствие этого, заметно повышение однородности изученного участка по значениям твердости с глубины 30 см и ниже. Распределение значений сопротивления пенетрации почв на глубинах с 30 см и ниже связано с морфологией почв исследованного участка. Это позволяет, в частности, проследить роль второго гумусового горизонта в формировании твердостных показателей почв.

Именно к почвам с наиболее мощными вторыми гумусовыми горизонтами приурочены рыхлые зоны в пределах опытного участка. Имеют место и такие ситуации, когда более глубокие слои почвы характеризуются меньшими значениями твердости, что, по нашему мнению, также указывает на формирование подпахотного уплотнения на глубине 35 – 40 см.

2.6. Водопроницаемость почвы (впитывание и фильтрация)

Начальная стадия быстрого проникновения воды в ненасыщенную влагой почву при некотором гидравлическом напоре называется впитыванием (или инфильтрацией). Затем по мере насыщения всего порового пространства почвы водой поток стабилизируется. Наступает стадия движения воды в насыщенной почве – стадия фильтрации. Таким образом, процесс водопроницаемости включает в себя два процесса: впитывание воды в ненасыщенную влагой почву и при заполнении всего порового пространства водой – фильтрацию. Итак, впитывание – перемещение свободной воды в ненасыщенную влагой почву – первая стадия водопроницаемости. Вторая стадия водопроницаемости – движение воды в насыщенной влагой почве – фильтрация. В любой момент времени мы можем рассчитать поток влаги q в почву как количество воды Q , см³, прошедшее в почву в единицу времени t , мин, через единицу площади экспериментального цилиндра S , см², см/мин.

$$q_w = \frac{Q}{S \cdot t}$$

Для соответствующих стадий этот поток будет равен коэффициенту впитывания $K_{\text{впит}}$ и коэффициенту фильтрации $K_{\text{ф}}$, так как гра-

диент гидравлического давления близок к единице. Оба они будут иметь ту же размерность, что и поток влаги q . Как правило, конечно, $K_{\text{впит}}$ заметно больше $K_{\text{ф}}$, что и видно на рис. 2.9, б.

Кроме того, при расчете $K_{\text{впит}}$ следует указывать, в какой момент времени процесса водопроницаемости он был рассчитан. Обычно для сравнительной оценки указывают количество воды (в миллиметрах водного слоя), впитавшееся в 1-й час эксперимента, т.е. единица измерения в этом случае – миллиметры в час. $K_{\text{ф}}$ является стабильной, отражающей основные свойства почв величиной. Поэтому рекомендуется определять именно эту величину, поскольку $K_{\text{ф}}$ используется во всевозможных гидрологических расчетах.

Если все поровое пространство заполнено водой, то процесс движения влаги в такой двухфазной (только твердая и жидкая фазы) системе называют фильтрацией. При описании этого процесса считают, что по всем порам вода движется с одинаковой скоростью, формируя фильтрационный фронт в насыщенной водой почве. Такие условия в почве бывают нечасто и в основном характерны для движения грунтовых вод, верховодки, условий весеннего снеготаяния. Именно фильтрация воды в почве является основой для понимания процессов движения воды в почве.

Коэффициент фильтрации $K_{\text{ф}}$ – это способность почвы проводить насыщенный поток влаги под действием градиента гидравлического давления. Обычно при градиенте давления близком к единице.

Приведенные в табл. 2.8 градации коэффициента фильтрации ориентировочные, в основном применимы для суглинистых почв. Песчаные почвы имеют обычно очень высокий коэффициент фильтрации, более 550 см/сут.

Таблица 2.8

Классификационные градации коэффициента фильтрации почв по Эггельсманну (Menning, 1983, цит. по Зайдельман, 1985)

Класс	Коэффициент фильтраций	Значение, см/сут
I	Исключительно низкий (водоупор)	Меньше 1
II	Очень низкий (для почвенных горизонтов – водоупорный)	1 – 6
III	Низкий	6 – 15
IV	Средний	15 – 40
V	Высокий	40 – 100
VI	Очень высокий	100 – 250
VII	Исключительно высокий	Больше 250

И если в этих почвах K_{ϕ} будет составлять по этой классификации высокие значения (40 – 100 см/сут), то следует говорить о невысоких для песчаных почв коэффициентах фильтрации. В связи с этим ниже приведена дополнительная таблица для различных по гранулометрическому составу почвенных объектов (табл. 2.9).

Таблица 2.9.

Диапазоны средних значений коэффициента фильтрации для различных по гранулометрическому составу почв

Почвенные объекты	Диапазон K_{ϕ} , см/сут
Песчаные почвы	300 – 800
Суглинистые	20 – 100
Глины	1 – 50

В этом случае следует сделать несколько уточняющих дополнений. Во-первых, даже глинистая почва может иметь коэффициент фильтрации более 60 см/сут, так как может быть хорошо оструктуренной, и эта структура – водоустойчивой. Например, такие величины встречаются в черноземах на глинах, карбонатных материнских породах, в ферралитных почвах. Или, напротив, песчаные почвы могут иметь очень низкий K_{ϕ} , до нескольких десятков или даже единиц сантиметров в сутки. Это случается тогда, когда песчаные почвы слоисты, имеют прослойки более плотного (ожелезненного) песка или отличающиеся по гранулометрическому составу. В самом общем случае следует считать, что если почвенный горизонт имеет коэффициент фильтрации не больше 6 см/сут, то этот почвенный горизонт можно рассматривать как водоупорный, практически непроницаемый для воды вне зависимости от его гранулометрического состава и других свойств.

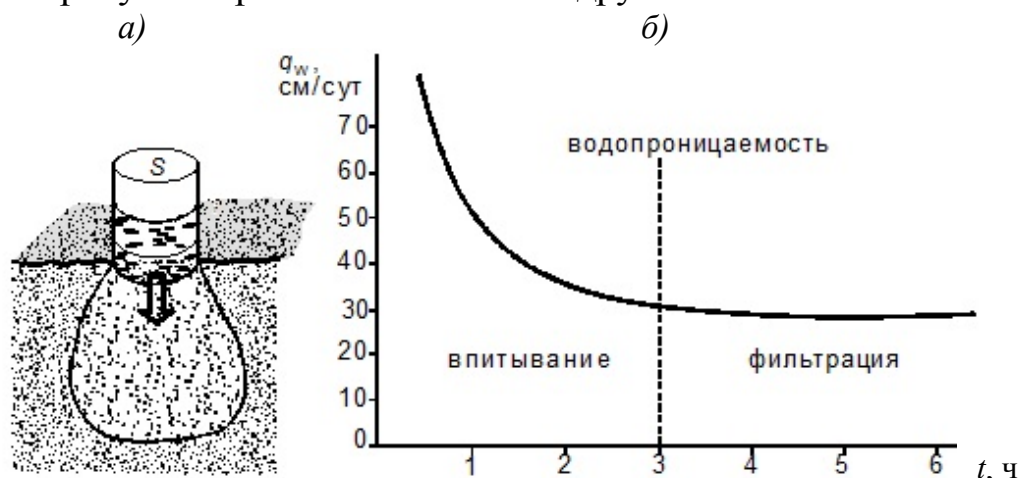


Рис. 2.9. Цилиндр для определения водопроницаемости почвы (а) и изменение скорости водопроницаемости, отражающее две стадии процесса водопроницаемости – впитывание и фильтрацию (б) (по Шеину, 2005)

Таким образом, впитывание воды (см/сут, м/сут, мм/ч) – это начальная стадия водопроницаемости (инфильтрации) почвы, поступление влаги в ненасыщенную водой почву под влиянием градиентов сорбционных и капиллярных сил и гидравлического напора. Как правило, рассматривают впитывание воды с поверхности почвы, характеризуют коэффициентом впитывания $K_{\text{впит}}$ – аналогом коэффициента фильтрации $K_{\text{ф}}$, указывая, в какое время от начала эксперимента он определен.

Коэффициент впитывания (см/сут) за 1-й час эксперимента для тяжело- и среднесуглинистых почв классифицируется следующим образом (по Качинскому):

меньше 70 – неудовлетворительный;

70 – 150 – удовлетворительный;

150 – 250 – хороший;

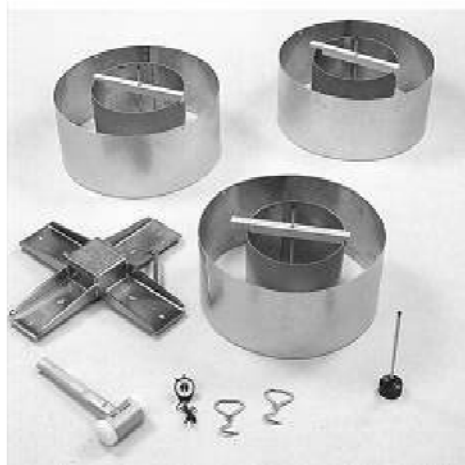
250 – 1000 – наилучший;

больше 1000 – излишне высокий.

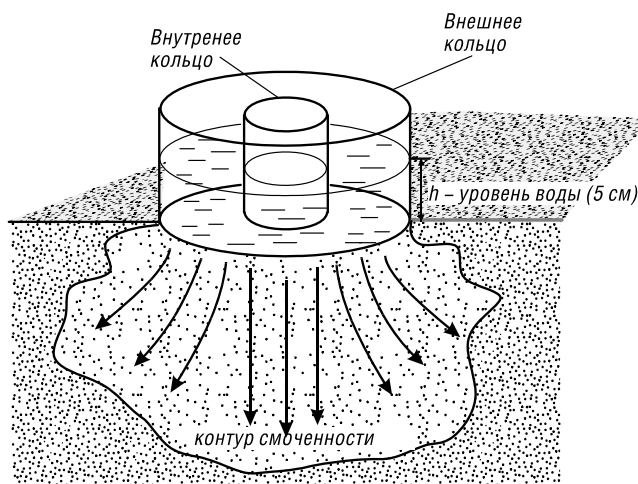
В дальнейшем, в своей работе мы будем использовать эти классификационные придержки для сравнения и оценки выбранных почвенных объектов.

Определение коэффициента впитывания и фильтрации почвы. Метод малых заливаемых площадей

Традиционно коэффициент фильтрации определяют с помощью *метода малых заливаемых площадей*, когда на поверхность почвы устанавливают квадратные и круглые рамы площадью около 2500 см² (внешняя) и 625 см² (внутренняя). Эти две рамы нужны для того, чтобы гарантировать линейный поток, предотвратить боковое растекание воды при фильтрации (рис. 2.10). Действительно, как видно из рис. 2.10, б, вода при проникновении в почву будет растекаться и в стороны от рамы, но только из внешней. Из внутренней рамы поток воды в почве будет линейным.



а)



б)

Рис. 2.10. Комплект оборудования (а) и общая схема проведения определения (б) коэффициента фильтрации методом малых заливаемых площадей (методом рам)

Именно поэтому внешнюю раму называют «защитной», а внутреннюю – «измерительной», или «учетной». Измеряя расход воды во времени во внутренней раме, поддерживая постоянный напор воды внутри обеих рам, можно рассчитать коэффициент фильтрации для того периода времени, когда поток становится установившимся. На рис. 2.11 изображена динамика потока воды из рамы во времени в виде динамики скорости впитывания при установке рамы на поверхность почвы при естественной влажности.

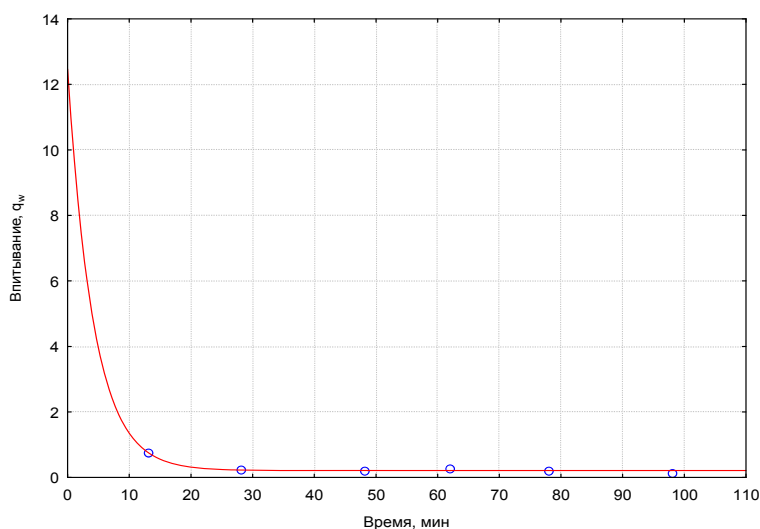


Рис. 2.11. Кривая впитывания для серой лесной почвы

На этой стадии можно рассчитать – $K_{\text{впит}}$. При дальнейшем проведении эксперимента (обычно примерно через 3 – 4 ч) при поддержании постоянного напора на поверхности почвы, равного 5 см, поток стабилизируется и начинается стадия фильтрации. В этот период, строго фиксируя количество

приливаемой воды Q , мл, в единицу времени t , мин, зная площадь учетной внутренней рамы S , см², можно рассчитать и коэффициент фильтрации, учитывая, что градиент гидравлического давления близок к единице: $K_{\phi} = \frac{Q}{S \cdot t}$, выраженный в сантиметрах в минуту. В

дальнейшем его легко можно пересчитать в необходимые единицы (м/сут, см/сут и проч.). В окончательном виде необходимо внести еще поправку на температуру воды, учитывая, что с изменением температуры вода изменяет свою вязкость. Все значения K_{ϕ} поэтому приводятся для температуры 10 °С по следующей формуле:

$$K_{\phi_{10}} = \frac{K_{\phi_T}}{0.7 + (0.03 \cdot T)},$$

где K_{ϕ_T} – экспериментально определенный коэффициент фильтрации при температуре воды в эксперименте T , °С, $K_{\phi_{10}}$ – приведенный к температуре 10 °С коэффициент фильтрации.

Экспресс-метод трубок с постоянным напором для определения водопроницаемости почвы

Метод малых заливаемых площадей практически не может быть применен для целевых почвенно-ландшафтных исследований по следующим причинам: 1) высокая трудоемкость метода; 2) результатом применения этого метода является определение коэффициента фильтрации лишь поверхностных слоев почвы, в то время как для почвенно-ландшафтных количественных исследований требуется послойное определение этой величины.

Применение *метода трубок с постоянным напором* позволяет решить эти две проблемы: дает возможность определять послойно величины коэффициента фильтрации, и в то же время он не является столь трудоемким, как метод малых заливаемых площадей. Суть его заключается в том, что после установки металлических или пластиковых трубок высотой 10 см на поверхности почвенной площадки в течение некоторого времени вода в установленных трубках поддерживается на постоянном уровне. Это время зависит, в первую очередь, от гранулометрического состава и оструктуренности почвы, а также от водопропускности агрегатов и может составлять от 1 до 2 – 3 ч. Вода из трубки перемещается радиально по естественным путям фильтра-

ции, образуя увеличивающийся во времени эллиптический контур растекания. Увеличение зоны увлажнения сопровождается ростом расхода воды до некоторой величины, пока пропускная способность насыщенного слоя почвы под трубкой не окажется меньше расхода, необходимого для увеличения зоны увлажнения. С этого момента расход воды из трубки стабилизируется во времени и график впитывания принимает вид прямой линии. (Полевые и лабораторные методы, 2001). Таким образом, при использовании этого метода для определения коэффициента фильтрации удастся значительно снизить энерго- и временные затраты, что дает возможность определять эту величину на всех необходимых глубинах и получать подробную характеристику фильтрационных особенностей почвенного профиля.

Дискуссионным является вопрос о том, какой метод расчета K_{ϕ} должен быть использован в случае его определения методом трубок с постоянным напором. Традиционно водопроницаемость почвы, определенная методом трубок с переменным напором, рассчитывают по формуле

$$K_t = h/T,$$

где K_t – водопроницаемость почвы при данной температуре, мм вод.ст.; h – высота столба просочившейся воды, мм, см; T – время, мин, с, ч.

Для расчета K_{ϕ} , определяемого методом трубок с постоянным напором, Рейнолдс и Элрик предложили использовать следующее уравнение:

$$K_{\phi} = Q/(4rH + \pi r^2),$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации почвы; H – слой воды (напор) в цилиндре; Q – объем влаги, поступающей из цилиндра в почву в единицу времени; r – радиус цилиндра.

В последнее время наиболее широко используются так называемые аппроксимационные методы. В этом случае для определения коэффициента фильтрации устанавливают на поверхность почвы трубку, заливают ее водой до уровня 5 см над поверхностью почвы и, доливая воду и поддерживая уровень воды над поверхностью почвы в 5 см, учитывают количество воды в единицу времени. Такие наблюдения проводят в течение 1 – 2 ч, получают как минимум 5 – 7 точек зависимости скорости впитывания от времени. Получают так называемую кривую впитывания (см. рис. 2.11).

Полученную кривую впитывания аппроксимируют уравнением Хортона:

$$q_w = q_2 + (q_1 - q_2) \cdot \exp(-k \cdot t),$$

где q_1 и q_2 – начальная и конечная скорости впитывания (фильтрации); t – время; k – параметр аппроксимации.

Таким образом, наблюдая за впитыванием влаги методом трубок с постоянным напором, регистрируя количество впитавшейся воды в единицу времени, можно получить кривую впитывания (не менее 5 – 7 точек) и, аппроксимируя эту кривую уравнением Хортона, рассчитать важнейшую почвенную агрофизическую величину – скорость (или коэффициент) фильтрации.

Однако, при введении новых методик определения тех или иных свойств сразу же встает вопрос о том, как результаты, полученные по этим новым методикам, соотносятся со значениями аналогичных показателей, полученных с помощью общепринятых методов. Проведенное нами изучение этого вопроса показало, что при исследовании фильтрационной способности серых лесных почв Владимирского ополья с поверхности значения K_{ϕ} , измеренного методом малых заливаемых площадей и методом трубок с постоянным напором, различаются незначительно. Так, с 95 %-ной вероятностью значения K_{ϕ} по результатам применения метода трубок с постоянным напором лежит в пределах от 1.87 до 4.17 м/сут. При этом величина K_{ϕ} , определенная на тех же почвах методом заливаемых площадей составила 2.94 м/сут. Кроме того, применение метода трубок с постоянным напором позволило оценить неоднородность исследуемых почв по изучаемому свойству.

Таким образом, учитывая временные и физические затраты при применении обоих рассмотренных методов определения K_{ϕ} и близость получаемых значений, следует отметить, что аппроксимационный метод больше подходит для проведения массового измерения изучаемого параметра в условиях агрофизического обследования сельскохозяйственных угодий.

Сравнение результатов определения НВ, полученных методом заливаемых площадей (НВ) и методом трубок с постоянным напором (НВ), позволяет говорить о близости полученных значений (Буева, 2005). Статистическая обработка данных показала, что результаты, полученные этими методами, достоверно не различаются при уровне значимости 0,05.

Использование вышеприведенных методик при агрофизическом обследовании почв позволило нам значительно сократить время полевых работ. Так, если по общепринятой методике дневная норма изучения физических свойств составляет 1 точку (максимум – 2), то при использовании метода трубок для определения K_{ϕ} и НВ в день тем же коллективом выполнялся весь комплекс работ на 8 – 10 точках.

Необходимо подчеркнуть, что указанная особенность обнаружена нами при исследовании комплекса серых лесных почв Владимирского ополья. Лишь после проведения аналогичных методических исследований на других типах почв можно говорить о рекомендации по распространению предложенных методов определения K_{ϕ} и НВ на другие почвенные варианты.

Глава 3. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

3.1. Основные понятия

Одним из важнейших факторов окружающей среды для роста и развития растений наряду с водой, воздухом, солнечной энергией и теплом является температура почвы.

Температура почвы определяет направленность и интенсивность почвообразовательных процессов, состав микробного комплекса почв и процессы, им инициируемые. От температуры почвы в разные моменты календарного года зависит выбор сельскохозяйственных культур, возделывание которых возможно в данных условиях. Следовательно, температурные особенности почв определяют необходимый набор мелиоративных мероприятий.

Температура почвы определяется как внешними условиями, а именно текущей погодой, так и тепловыми свойствами самой почвы. При поступлении одного и того же количества тепла изменение температуры почвы определяется ее **теплоемкостью**, а интенсивность внутрипочвенного переноса тепла – **теплопроводностью**.

Коэффициент теплопроводности – количество тепла, прошедшего в единицу времени через единичное сечение почвы при единичной толщине слоя почвы при разнице температур в 1 °С (или 1 К).

Теплоемкость – количество тепла, необходимого для нагревания одного грамма (или 1 см³) почвы на один градус. Теплоемкость единицы массы тела называют удельной теплоемкостью C_m , [кал/(г·°С)]; теплоемкость единицы объема – объемной теплоемкостью C_v , кал/(см³·°С) (Шеин, Гончаров, 2006). Объемная и удельная теплоемкости связаны соотношением

$$C_v = C_m \cdot \rho_b,$$

где ρ_b – плотность почвы.

Теплоемкость почвы складывается из теплоемкостей составляющих ее почвенных фаз (см. таблицу) с учетом содержания каждой фазы.

**Теплоемкость и плотность некоторых почвенных компонент
(Физика среды обитания растений, 1968), воды и воздуха
при 10 °С и льда при 0 °С**

Вещество	C_v , кал/(см ³ ·°С)	ρ , г/см ³	C_m , кал/(г·°С)
Кварц	0.48	2.66	0.18
Глинистые минералы	0.48	2.65	0.18
Органическое вещество	0.60	1.30	0.46
Вода	1.00	1.00	1.00
Лед	0.45	0.92	0.49
Воздух	0.0003	0.00125	0.24

Коэффициент температуропроводности (коэффициент термодиффузии) κ , см²/с, см²/сут, характеризует способность среды выравнивать свою температуру, которая определяется не только теплопроводностью среды, но и ее объемной теплоемкостью. Коэффициент температуропроводности является производной теплофизической характеристикой. Он численно равен повышению температуры, которое произойдет в единице объема почвы при поступлении в нее тепла, численно равного ее теплопроводности:

$$\kappa = \lambda_T / C_v$$

где κ – коэффициент температуропроводности; λ_T – коэффициент теплопроводности; C_v – теплоемкость.

Чем выше температуропроводность почвы, тем она быстрее будет проводить температурный поток, будут быстрее повышаться температура нижних слоев, проникать вниз «температурная волна», т. е. почва будет быстрее прогреваться (Шеин, Гончаров, 2006).

Температуропроводность почвы зависит от ее плотности, содержания органического вещества, распределения почвенных частиц по размерам, влажности.

3.2. Полевые методы измерения температуры почвы

Измерение коэффициента температуропроводности – достаточно трудоемкий процесс, требует продолжительного времени и измерение его нецелесообразно в полевых условиях, где проводят измерение температуры почвенных горизонтов.

Определение температуры почвы проводят жидкостными термометрами, разного рода электротермометрами и термодатчиками.

При проведении исследований температурного режима почвы и ее тепловых свойств необходимо следить за тем, чтобы во время проведения измерений термометр или датчик находился в состоянии термодинамического равновесия с почвой. При разовых измерениях температуры с использованием датчиков типа щупов следует выдерживать щуп в почве в течение достаточного для установления термодинамического равновесия времени. Кроме того, не должно быть заметного переноса тепла по кабелю, штанге или стеклянному резервуару, идущему от поверхности почвы к датчику термометра. Необходимо также, чтобы термометр или датчик плотно соприкасался с почвой без воздушных зазоров [2].

В практике изучения температурного режима почвы широко применяется ртутный термометр Савинова. Для этого выкапывается траншея глубиной 30 см и шириной 50 см, ориентированная в направлении с востока на запад. Стенка, обращенная на юг, отвесная, обращенная на север – наклонная (рис. 3.1). Термометры устанавливаются на исследуемых глубинах, которые ограничиваются длиной термометра. Расстояние между термометрами не должно быть менее 10 см. Первый замер температуры производят после 20 – 25 мин установки и засыпки траншеи.

Недостатками ртутных термометров является их хрупкость и невозможность проведения измерений в период, когда почва промерзает. Другим существенным недостатком применения термометров Савинова также является токсичность ртути. Кроме того, стеклянный резервуар ртутного термометра проводит тепло вглубь почвы, нарушая ее естественный температурный режим.

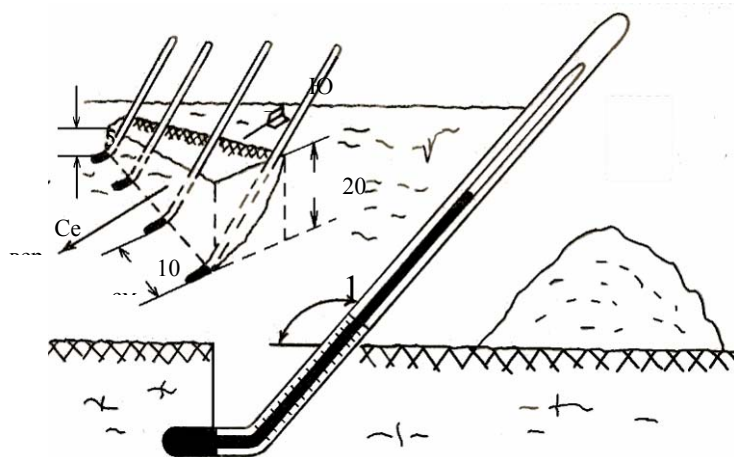


Рис. 3.1. Установка термометров Савинова

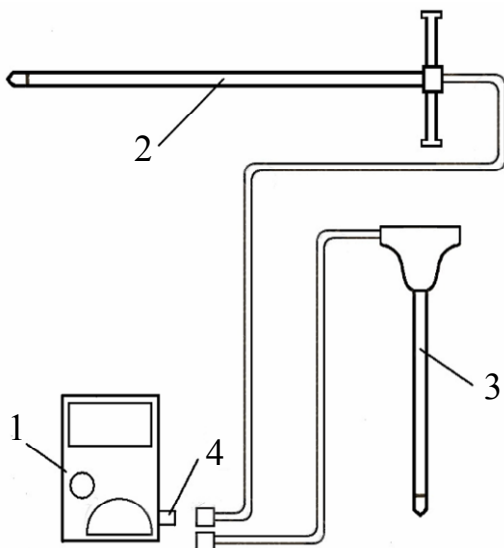


Рис. 3.2. Схема прибора ТЭТ-2:
1 – измерительное устройство;
2 – датчик-щуп; 3 – почвенный датчик; 4 – розетка

Часто в практике наблюдения за режимом температуры почвы используется транзисторный электротермометр ТЭТ-2 (рис. 3.2). Это портативный прибор, работающий и под дождем, и под снегом. Температуру поверхностных горизонтов измеряют с помощью почвенного датчика, а температуру глубинных горизонтов – с помощью датчика-щупа. Необходимо следить за тем, чтобы в перерывах между наблюдениями разъем датчиков и измерительного устройства был закрыт от попадания частиц почвы.

При проведении научных исследований широко используются

электротермометры, конструкция которых позволяет устанавливать термодатчики практически на любых глубинах и проводить круглогодичные измерения. По конструкции термодатчика электротермометры делятся на термометры сопротивления и полупроводниковые. Принцип действия обоих основан на изменении электрического сопротивления датчика при изменении его температуры. В термометрах сопротивления используется явление роста сопротивления металлов при нагреве; в полупроводниковых – уменьшение сопротивления полупроводников с ростом температуры [2].



Рис. 3.3. Термодатчик «Термохрон»

Примером термодатчиков, используемых для круглогодичного слежения за температурой почв, служат термодатчики «Термохрон» (изготовитель – Dallas Semiconductor Corp.). Эти датчики представляют собой цилиндр диаметром 17 мм и высотой 6 мм (рис. 3.3).

Диапазон измеряемых температур – от -80 до +45 °С. Преимущество применения такого вида приборов заключается в том, что наблюдения можно проводить непрерывно в течение долгого времени и без участия в этом процессе человека. Не-

достатком термодатчиков является их относительно высокая стоимость.

Результаты измерения температуры почвы в зависимости от схемы и продолжительности исследований могут быть представлены в виде:

А. Профильного распределения температуры.

Б. Изменения температуры в данной точке профиля за период исследования.

В. Хроноизоплант (временных функциональных поверхностей) температуры почвенного профиля или какой-либо его части.

Г. Топоизоплант (площадных функциональных поверхностей) температуры почв (единовременное распределение температур по площади).

Д. Динамики температурного поля (изменение во времени распределения температур по площади).

Процесс проведения работ по составлению топоизоплант температуры почвенного покрова заключается в единовременном измерении температуры на одной глубине в пределах изучаемого поля (участка, ландшафта) в точках, чье расположение определяется целью исследования, требуемой точностью к итоговой картине распределения температур и сложностью объекта.

Примером топоизоплант является распределение температуры почвы на глубине 10 см дерново-подзолистой суглинистой почвы, сформированной на кислых покровных суглинках (Московская обл.) (рис. 3.4). Территория участка имеет выраженный уклон. Причем уклон нижней части составляет 4 градуса, а верхней – 8. Проведенные исследования на такой территории позволили установить лучшую прогреваемость верхней более крутой части

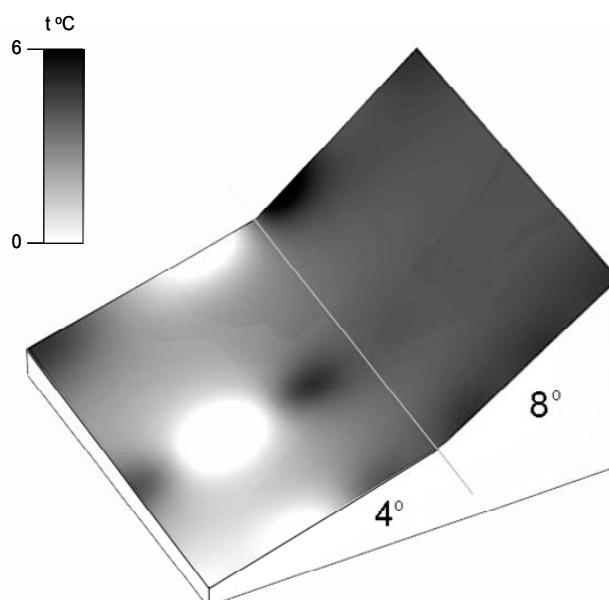


Рис. 3.4. Распределение температуры почвы на глубине 10 см (Московская обл., 04.04.2008)

склона и, следовательно, являются основанием для дифференцированного подхода к использованию различных элементов опытного участка.

Объединение функциональных поверхностей площадного распределения температур, полученных с определенным временным шагом, позволяет получать картину динамики в данном случае температурного поля. Современная компьютерная техника позволяет это представлять в виде анимированных фильмов.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Основные размерности величин, использующихся в физике почв, и коэффициенты перехода между различными системами

Для перевода единиц системы СИ в традиционные умножить на	Система СИ	Традиционная (или используемая за рубежом) система единиц	Для перевода единиц из традиционной в систему СИ умножить на
Длина			
1.0	Микрометр, мкм (10^{-6} м)	Микрон, μ	1.0
10	Нанометр, нм (10^{-9} м)	Ангстрем, Е	0.1
Площадь			
2.47	Гектар, га	Акр	0.405
10^4	Квадратный метр, m^2	Гектар, га	10^{-4}
Удельная поверхность			
10	Квадратный метр на килограмм, m^2/kg	Квадратный сантиметр на грамм, cm^2/g	0.1
Давление			
9.90	Мегапаскаль, МПа (10^6 Па)	Атмосфера, атм	0.101
10	Мегапаскаль, МПа (10^6 Па)	Бар (амер.)	0.1
1.02	Гектопаскаль, гПа	Сантиметр водного столба, см. водн. ст.	0.98
10^5	Паскаль, Па	Атмосфера, атм	10^{-5}
Насыщенная (коэффициент фильтрации) и ненасыщенная (коэффициент влагопроводности) влагопроводность			
$8.64 \cdot 10^6$	м/с	см/сут	$1.16 \cdot 10^{-7}$

* В данной таблице приведены ориентировочные значения физических свойств. В реальных условиях при непосредственных определениях эти усредненные значения и пределы варьирования могут значительно отличаться в связи с содержанием органического вещества, оструктуренностью, сельскохозяйственной обработкой, растительностью и многими другими факторами, существенно изменяющими приведенные ориентировочные значения.

** ВРК определены по характерным основным гидрофизическим характеристикам (ОГХ) на основании метода А.Д. Воронина.

*** Природные пески почти всегда слоисты. Вследствие этого приведенные данные весьма ориентировочны.

Для перевода единиц системы СИ в традиционные умножить на	Система СИ	Традиционная (или используемая за рубежом) система единиц	Для перевода единиц из традиционной в систему СИ умножить на
Сила, энергия, работа, тепло			
10^5	Ньютон, Н	Дина	10^{-5}
0.239	Джоуль, Дж	Калория, кал	4.19
10^7	Джоуль, Дж	Эрг	10^{-7}
$2.387 \cdot 10^{-5}$	Джоуль на кв.метр, Дж/м ²	Калория на кв.сантиметр (лэнгли), кал/см ²	$4.19 \cdot 10^4$
1.163	Ватт, Вт	Калория в секунду, кал/с	0.86
$1.43 \cdot 10^{-3}$	Ватт на кв.метр, Вт/м ²	Калория на кв.сантиметр в минуту, кал/(см ² ·мин)	698
Температура			
1.00 (К-273)	Кельвин, К	Цельсий, °С	1.00 (°С+273)
(1.8 °С) + 32	Цельсий, °С	Фаренгейт, °F	0.5556 (°F – 32)
Транспирация и фотосинтез			
$3.60 \cdot 10^{-2}$	Миллиграмм на кв.м в секунду, мг/(м ² ·с)	Грамм на кв.дециметр в час, г/(дм ² ч)	27.8
10^{-4}	Миллиграмм на кв.метр в секунду, мг/(м ² ·с)	Миллиграмм на кв. сантиметр в секунду, мг/(см ² ·с)	10^4
$1.16 \cdot 10^{-6}$	Миллиграмм на кв.метр в секунду, мг/(м ² ·с)	Грамм на гектар в сутки, г/(га · сут)	$8.64 \cdot 10^5$
0.116	Грамм (H ₂ O) на кв.метр в секунду, г/(м ² ·с)	Сантиметр водного слоя в сутки, см водн. сл. /сут	8.64
$5.56 \cdot 10^{-3}$	Миллиграмм (H ₂ O) на кв.метр в секунду, мг/(м ² ·с)	Микромоль (H ₂ O) на кв.сантиметр в секунду, мкмол/(см ² ·с)	180
Удельная электропроводность и магнетизм			
10	Сименс на метр, См/м	Миллимо на сантиметр, ммО/см	0.1
10^4	Тесла, Т _л	Гаусс, G	10^{-4}
Концентрации			
1	Сантимоль на килограмм, смоль/кг	Миллиэквивалент на 100 г, мэкв/100 г	1
0.1	Грамм на килограмм, г/кг	Процент, %	10
1	Миллиграмм на килограмм, мг/кг	Промилле (часть на миллион), ppm	1
Радиоактивность			
$2.7 \cdot 10^{-11}$	Беккерель, Вq	Кюри, Сi	$3.7 \cdot 10^{10}$
100	Грпай, Gy (полученная доза)	Рад, rd	0.01
100	Эквивалентная доза, сиверт, Sv	Рентген (на человека)	0.01

2. Некоторые характерные физические свойства почв различного гранулометрического состава (средние и наиболее вероятные колебания – в скобках)*

Класс по гранулометрическому составу	Порозность (% объемный)	Плотность почвы, г/см ³	НВ (% к весу)	ВРК (% к весу)**	ВЗ (% к весу)	ДДВ (% к весу)	Коэффициент фильтрации, см/сут
Песок рыхлый***	37 (32–40)	1.65 (1.5–1.75)	4 (3–5.5)	3.5 (2.5–5.5)	2.5 (2–3.5)	2 (1.5–3.5)	> 150
Песок связанный***	38 (32–42)	1.6 (1.5–1.7)	6 (5–10)	4.5 (4–6)	4 (3–6)	4 (2–6)	150 (80–200)
Супесь	43 (40–46)	1.5 (1.4–1.6)	14 (10–18)	7.5 (6–8.5)	6 (4–8)	8 (6–10)	100 (50–150)
Легкий суглинок	47 (43–51)	1.4 (1.3–1.5)	22 (18–26)	13 (12–14.5)	10 (8–12)	12 (10–14)	80 (40–120)
Средний суглинок	49 (47–51)	1.35 (1.3–1.4)	27 (23–31)	18.5 (17–19.5)	13 (11–15)	14 (12–16)	50 (30–70)
Тяжелый суглинок	51 (49–53)	1.3 (1.25–1.45)	30 (27–35)	21 (20–22)	15 (13–17)	16 (14–18)	40 (20–70)
Глина	53 (51–55)	1.25 (1.2–1.4)	35 (31–39)	25.5 (24–27)	20 (18–24)	15 (14–18)	15 (2–30)

3. Оценочные показатели степени деградации почв и земель (приводятся в сокращенном варианте по В.Н. Шептухову и др., 1997*)

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Уменьшение содержания физической глины, % от исходного	<5	6–15	16–25	26–32	>32
Увеличение равновесной плотности пахотного слоя почвы, % от исходной	<10	11–20	21–30	31–40	>40
Стабильная структурная (межагрегатная, без учета трещин) пористость, см ³ /г	>0.2	0.11–0.2	0.06–0.1	0.02–0.05	<0.02
Текстурная пористость (внутриагрегатная), см ³ /г	>0.3	0.26–0.3	0.2–0.25	0.17–0.19	<0.17
Коэффициент фильтрации, м/сут	>1.0	0.3–1.0	0.1–0.3	0.01–0.1	<0.01
Каменистость, % покрытия	<5	6–15	16–35	36–70	>70

* Шептухов В. Н., Решетина Т. В., Березин П. Н. и др. О совершенствовании оценки процессов деградации почв // Почвоведение. – 1997. – №7. – С. 799 – 805.

4. Оптимальные гидротермические условия для произрастания сельскохозяйственных культур (по В.В.Медведеву и др., 2002*)

Показатель	Оптимальные	Допустимые	Нерекомендуемые
Температура воздуха при появлении всходов, °С	6–12	4–5	<4
Температура воздуха при формировании генеративных органов, °С	6–12	45	<4
Запасы продуктивной влаги (см водн. сл.) в слое 0 – 20 см при появлении всходов	>3.0	1.0–3.0	<1.0
Запасы продуктивной влаги в слое 0 – 100см при цветении или формировании генеративных органов	>12.0	6.0–12.0	<6.0
Гидротермический коэффициент за период с температурой воздуха больше 10 °С	0.9–1.2	0.7–0.89 или 1.21–1.6	<0.78 или >1.6

* Медведев В. В., Булыгин С. Ю., Лактионова Т. Н., Деревянко Р. Г. Критерии оценки пригодности земель Украины для возделывания зерновых культур // Почвоведение. – 2002. – № 2. – С. 216 – 227.

5. Оценка структуры и сложения пахотного слоя почв (по И.В. Кузнецовой, 1979)

Содержание водопрочных агрегатов размерами более 0,25 мм, %	Оценка		Равновесная плотность сложения, г/см ³	Оценка плотности сложения
	водопрочности структуры	устойчивости сложения по структуре		
Менее 10	Неводопрочная	Неустойчивое	Более 1,5	Очень плотное
10...20	Неудовлетворительная		1,5...1,4	
20...30	Недостаточно удовлетворительная	Недостаточно устойчивое	1,4...1,3	Плотное
30...40	Удовлетворительная	Устойчивое	1,3...1,2	Уплотненное
40...60	Хорошая		1,2...1,1	
60...75(80)	Отличная	Высокоустойчивое	1,1...1,0	Оптимальное для большинства культур
Более 75(80)	Избыточно высокая		Менее 1,0	

6. Оценка плотности и пористости суглинистых и глинистых почв в вегетационный период (по Н.А. Качинскому, 1965).

Плотность почвы, г/см ³	Общая пористость почвы, %	Оценка плотности	Оценка пористости
Менее 1,0	Более 70	Почва вспушена или богата органическим веществом	Избыточно пористая – почва вспушена
1,0...1,1	65...55	Типичные величины для культурной или свежевспаханной почвы	Отличная – культурный пахотный слой
1,1...1,2	55...50	Пашня слабо уплотнена	Хорошая, характерная для окультуренных почв
1,2...1,3	50...45	Пашня уплотнена	Удовлетворительная, характерная для освоенных почв
1,3...1,4	45...40	Пашня сильно уплотнена	Неудовлетворительная для пахотного слоя
1,4...1,6	40...35	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)	Чрезмерно низкая – характерна для уплотненных подпахотных и иллювиальных горизонтов
1,6...1,8		Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	

7. Примерная оценка гранулометрического состава почв для зерновых культур (по Н.А. Качинскому).

Почвы	Оценка по гранулометрическому составу почв, баллы						
	Глинистые	Тяжелосуглинистые	Среднесуглинистые	Легкосуглинистые	Супесчаные	Песчаные мелкозернистые, связные	Песчаные крупнозернистые, рыхлые
Глееподзолистые	4	6	8	10	8	5	3
Подзолистые	5	6	8	10	8	5	3
Дерново-подзолистые	6	7	10	8	6	4	2
Серые лесные	8	10	9	7	6	4	2
Черноземы типичные	10	9	8	6	4	3	1
Черноземы южные	9	10	8	7	5	3	1
Темно-каштановые	8	10	9	7	6	3	1
Каштановые	7	9	10	8	6	3	1
Бурые	7	8	10	7	5	2	1
Сероземы	8	10	9	7	5	3	2
Красноземы и желтоземы	10	9	7	6	4	–	–
Желтоземно-подзолистые	8	9	10	9	6	4	2

8. Критические давления, оказываемые на почвы при проходе техники при различной влажности и времени года (по А.Г.Бондареву, 1990).*

Время года	Влажность почвы	Критическое давление, кПа
Весна	> НВ	<80
Осень и лето	> НВ	<100
Весна	НВ - 0.5 НВ	80-180
Осень и лето	НВ - 0.5 НВ	100-210
Весна	<0.5 НВ	<180
Осень и лето	<0.5 НВ	210

* - колесный трактор оказывает контактное давление около 100 кПа, а К-700 (701) «Кировец» – до 190–220 кПа.

9. Оценка наименьшей влагоемкости почв (по Н.А. Качинскому,).

Влагоемкость, % сухой массы почвы	Оценка
Тяжелые почвы	
40...50	Наилучшая
30...40	Хорошая
25...30	Удовлетворительная
Менее 25	Неудовлетворительная
Легкие почвы	
20...25	Отличная для песчаных почв
10...25	Удовлетворительная для полевых культур
3...10	Удовлетворительная для лесных культур
Менее 3	Неудовлетворительная для любых культур

10. Термические характеристики климата отдельных форм рельефа (по Д.И.Шашко, 1967) (за нулевой уровень приняты термоусловия на выравненных элементах рельефа: равнинах, плоских вершинах, в средних частях пологих склонов)

Форма рельефа	Поступление холодного воздуха		Разность по сравнению с выровненными условиями			
	Приток	Отток	минимальных ночных температур весной и осенью, °С	длительности безморозного периода, дни	суммы температур за безморозный период, °С	минимальной температуры воздуха в июле, °С
Вершины, верхние и средние части склонов	Нет	Есть	+3...+5	+15...+25	+150... ...+200	+1,5... ...+2,0
Дно и нижние части склонов узких долин	Есть	Есть	+3...+5	+15...+25	+150... ...+200	+1,0... ...+2,0

Форма рельефа	Поступление холодного воздуха		Разность по сравнению с выровненными условиями			
	При-ток	Отток	минимальных ночных температур весной и осенью, °С	длительности безморозного периода, дни	суммы температур за безморозный период, °С	минимальной температуры воздуха в июле, °С
Долины больших рек, берега водоемов	Есть	Есть	+2...+4	+10...+20	+100... ...+200	+0,5... ...+1,0
Дно и нижние части склонов нешироких, извилистых, замкнутых долин	Есть	Почти нет	-4...-6	-15...-25	-200... ...-300	-0,5... ...-2,0
Котловины	Есть	Нет	-2...-3	-20...-30	-250... ...-350	-2,0... ...-2,5
Нижние части склонов и прилегающие части дна широких долин	Есть	Слабый	-3...-5	-15...-25	-200... ...-300	-1,0... ...-1,5
Замкнутые, широкие, плоские низины	Есть	Почти нет	-4...-6	-20...-30	-250... ...-300	-2,0... ...-2,5
Выровненные пониженные участки с неосушенными торфяными почвами	Нет	Нет		-10...-15	-100... ...-200	-1,0... ...-1,5
Выровненные участки с осушенными почвами (луга)	Нет	Нет		-25...-30	-250... ...-300	-

Некоторые критические уровни физических свойств почв (для Почвенной службы Австралии)

Глубина почвенного профиля – >50 см.

Сопротивление пенетрации – <0.5 МПа.

Содержание макропор (диаметр >30 мкм), макропористость – > 15 % к объему почвы.

Сохраняющие поры (диаметр от 0.2 до 30 мкм) – > 20%

Коэффициент влагопроводности (при -1000 см водн. ст.) – >10⁻² см/сут.

Воздухоносная порозность (после 24 часов свободного дренажа) – >15 %.

Температурный оптимум – 18 – 25 °С.

Библиографический список

1. *Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.
2. Теории и методы физики почв : коллектив. моногр. / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М. : Гриф и К, 2007. – 616 с.
3. *Шеин, Е. В.* Курс физики почв / Е. В. Шеин. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. ПОЛЕВЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ	4
1.1. ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.ПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА НА МЕСТНОСТИ.....	4
1.2. ОПИСАНИЕ ПОЧВЫ.....	6
Глава 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	20
2.1. ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ	20
2.2. ТЕРМОВЕСОВОЙ МЕТОД – ПРЯМОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ	21
2.3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ	21
2.4. ПЛОТНОСТЬ ПОЧВ.....	27
2.5. СТРУКТУРА ПОЧВ. АГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ.....	37
2.6. ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЫ (ВПИТЫВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ)	48
Глава 3. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ	57
3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	57
3.2. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ	58
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	63
Библиографический список	70

Учебное издание

МАЗИРОВ Михаил Арнольдович
ШЕИН Евгений Викторович
КОРЧАГИН Алексей Анатольевич
и др.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ

Учебное пособие к полевой практике
для студентов, обучающихся по направлению
подготовки 021900 – почвоведение

Подписано в печать 18.01.12.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 4,19. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.