

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А. Ежевского»

Зайцев А.М., Горбунова М.С.

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИМ
ЗАНЯТИЯМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ, ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И АЭРОФИЗИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПОЧВ**



для студентов агрономического факультета
очного и заочного обучения по направлениям подготовки
35.03.04 – Агрономия, 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение

Иркутск – 2016

УДК 631.43 (072)
З-177

Зайцев А.М., Горбунова М.С. Земледелие. Методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям для изучения физических, физико-механических, гидрофизических и аэрофизических свойств почв / А.М. Зайцев, М.С. Горбунова. – Иркутск: Изд-во ИрГАУ им. А.А. Ежевского, 2016. – 60 с.

Рецензенты:

Кузнецова Е.Н., к.б.н., доцент кафедры агроэкологии, агрохимии, физиологии и защиты растений Иркутского ГАУ им. А.А. Ежевского.

Султанов Ф.С., к.с.-х.н., зам директора по науке ФГБНУ Иркутский НИИСХ.

Методическое пособие предназначено для изучения агрофизических свойств почв по дисциплине земледелие студентами 2 курса очного и 3 курса заочного обучения, направлений подготовки агрономия и агрохимия и агропочвоведение.

При изучении агрофизических свойств каждому студенту выдается почвенный образец (коробочка с почвой) с характеристиками (тип почвы, предшественник и прием обработки).

При выполнении лабораторных работ студент осваивает понятия и значение основных агрофизических свойств почвы. В пособии приведены оптимальные параметры разных физических свойств почвы для роста и развития основных полевых культур, и их изменение в пахотном слое почвы под влиянием различных агротехнических приемов. Представлен порядок и последовательность выполнения той или иной работы. Даны вопросы самоконтроля, которые помогают установить степень усвоения материала.

Печатается по решению методической комиссии агрономического факультета Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского.

Протокол № 8 от 17 мая 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Методика взятия образцов почвы для определения физических и гидрофизических свойств.....	5
Работа 1. Определение влажности почвы.....	7
Работа 2. Определение гигроскопической влаги в почве.....	8
Работа 3. Определение плотности почвы.....	10
Работа 4. Влагоемкость почвы.....	14
4.1. Определение капиллярной влагоемкости почвы.....	14
4.2. Определение полной влагоемкости почвы.....	15
Работа 5. Определение максимальной гигроскопичности почвы.....	17
Работа 6. Определение плотности твердой фазы почвы.....	19
Работа 7. Расчет общей пористости (скважности) почвы.....	21
Работа 8. Определение соотношения воды и воздуха в почве.....	23
Работа 9. Способы выражения влажности почвы.....	25
9.1. Формы почвенной влаги и почвенно-гидрологические константы	29
Работа 10. Определение водопроницаемости почвы методом трубок с переменным напором воды.....	34
Работа 11. Определение строения пахотного слоя почвы.....	37
Работа 12. Расчет запаса влаги в почве, суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления.....	41
Работа 13. Определение общего структурного состояния почвы.....	43
Работа 14. Определение физико-механических свойств почвы.....	47
14.1. Определение верхнего предела пластичности.....	49
14.2. Определение нижнего предела пластичности.....	50
14.3. Определение предела усадки.....	51
Работа 15. Определение газообмена почвы с атмосферой.....	52
Заключение.....	56

ВВЕДЕНИЕ

В получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышении плодородия почвы большое значение имеет создание благоприятного водного, воздушного и теплового режимов почвы. Правильное регулирование этих режимов обеспечивает нормальную деятельность микроорганизмов, благоприятный питательный режим и способствует лучшему росту и развитию растений. Придание почве оптимального физического состояния в значительной степени предотвращает возникновение водной и ветровой эрозии, наносящей огромный ущерб сельскому хозяйству.

Оптимальный водный, воздушный и тепловой режимы могут быть созданы в почвах, обладающих благоприятными физическими свойствами. Наиболее важными с агрономической точки зрения физическими, физико-механическими, гидрофизическими и аэрофизическими свойствами почвы являются: состояние увлажнения в полевых условиях; строение и плотность пахотного слоя; общая пористость и наличие различных видов пор; соотношение воды, воздуха и твердых частиц; структурный состав, связность и пластичность; тепловые свойства. Эти и некоторые другие физические свойства почвы в довольно широких пределах могут изменяться различными агротехническими приемами.

Наибольшее значение в регулировании физических, гидрофизических и аэрофизических свойств почвы имеет правильная обработка, научно-обоснованное чередование культур в севооборотах, внесение удобрений, осушение, орошение и другие агротехнические приемы.

В процессе выполнения лабораторно-практических работ необходимо изучить некоторые физические, физико-механические, гидрофизические и аэрофизические свойства почвы, их оптимальные показатели и усвоить основные приемы регулирования этих свойств в земледелии.

В данном пособии рассматривается значение основных физических, физико-химическими, гидрофизических и аэрофизических свойств почвы и порядок выполнения работ.

Для выполнения лабораторных работ и при ответе на контрольные вопросы, следует использовать следующую литературу:

1. Земледелие [Текст] : учеб. для вузов по направлениям и спец. агроном. образования / Г. И. Баздырев [и др.] ; под ред. Г. И. Баздырева. - М. : ИНФРА-М, 2013. - 607 с.
2. Земледелие [Текст] : практикум : учеб. пособие для вузов по агроном. спец. / И. П. Васильев [и др.]. - М. : ИНФРА-М, 2013. - 423 с.
3. Земледелие Западной Сибири / Н.В. Абрамов, В.Л. Ершов, П.Ф. Ионин, В.В. Рзаева, А.М. Ситников, Н.М. Сулимова, В.А. Федоткин. Под ред. А.М. Ситникова, В.А. Федоткина / Учебник, 2-е изд. – Тюмень, ТГСХА, 2009. - 348 с.
4. Яшутин Н.В. Научные основы, инновационные технологии и машины: монография / Н.В. Яшутин, А.П. Дробышев, А.И. Хоменко. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. 191 с.

МЕТОДИКА ВЗЯТИЯ ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Для выполнения данного задания отбираются образцы почв в поле, в них анализируются: сложение пахотного слоя, плотность почвы, влажность, агрегатный состав, плотность твердой фазы, твердость и др.

До выхода в поле взвешивают пустые сушильные стаканчики и патроны от бура П.А. Некрасова с крышками и производят записи в полевой дневник. Почвенный образец с ненарушенным сложением для определения плотности почвы (объемной массы) отбирают буром П. А. Некрасова, для чего отвинчивают с помощью ключа режущую часть бура (кольцо-нож); помещают вкладыш плоской стороной к штанге бура; затем в бур вставляют патрон, предварительно сняв с него крышки. Патрон вставляют в бур так, чтобы номер его был правильно расположен. В последующем при определении капиллярной влагоемкости, это поможет установить верх и низ взятого образца почвы. После того, как в бур вставлен патрон, навинчивают кольцо-нож, ставят бур строго отвесно на почву и вдавливают или вбивают деревянной колотушкой до нужной глубины (0-10; 10-20 и 20-30 см); осторожно поворачивают бур по часовой стрелке и вынимают его из почвы; оборачивают бур вверх; отвинчивают кольцо-нож; приподнимают патрон из бура с помощью вилки, которой надавливают на вкладыш через отверстия, находящиеся в верхней части бура; срезают лишнюю почву ножом вровень с краями патрона, закрывают крышкой патрон и вынимают его из бура; вынутый патрон закрывают второй крышкой. Глубину взятия образца и номер патрона записывают в полевой дневник.

2. Почвенную пробу на влажность берут буром, рядом с шурфом и с той же глубины, где брали образец почвы для определения плотности. Почву из бура высыпают на пергаментную бумагу, перемешивают и насыпают в сушильный бюкс примерно $\frac{2}{3}$ его объема. Глубину взятия почвенного образца и номер стаканчика записывают в полевой дневник. Если патроны не ставятся на насыщение, то дополнительные пробы для определения влажности не берут. Для этой цели используется почва из патрона после его взвешивания. В лабораторных условиях определяют гигроскопическую влагу и максимальную гигроскопичность.

Взятие образцов в пахотном слое рекомендуется до одного метра пятикратным повторением, более одного метра - трехкратным, с двух метров - однократным на изучаемый вариант.

Для отбора почвенных проб на влажность существует несколько конструкций буров (рис. 1).

Бур Измаильского в модификации Н. А. Качинского. Ствол бура из полосового четырехгранного железа с гранями шириной 2-2,5 см состоит из нескольких (длиной 1,5 м) штанг, скрепляющихся винтовой резьбой или болтами.

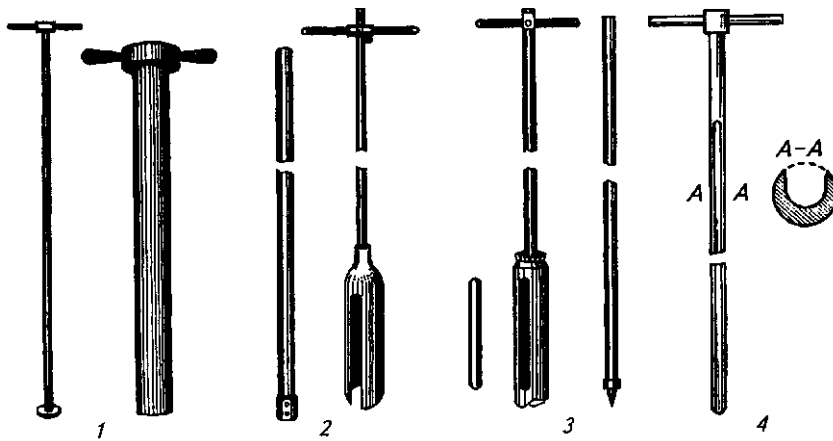


Рис. 1 - Буры для взятия проб почвы на влажность:
 1. Качинского; 2 - Измайльского; 3 - Некрасова; 4 - Игольчатый

Бур Качинского. Представляет собой железную трубу диаметром 4-5 см, нижняя режущая часть заострена. На верхнюю часть трубы насаживают головку с плечиками для ручек. Пробы берут последовательно бурами различной длины: 0,65; 1,25 и 2,25 м.

Бур Некрасова. Состоит из цилиндра для взятия пробы почвы, основной и дополнительной штанг, изготовленных из полый или глухой трубы длиной 100-160 см. На верхнюю часть основной штанги насаживают муфту, в отверстия которой вставляют ручку; нижняя часть штанги имеет винтовую резьбу, на которую навинчивают почвенный цилиндр.

Игольчатый бур. Изготавливается из цельного цилиндрического прута с нарезкой желоба, имеет специальные нарезки для погружения на заданную глубину. Бур очень производительный.

Мотобуры. Снабжены различными двигателями и регуляторами оборотов. Бурение на глубину до 10 м; диаметр скважины 7,0-7,5 см.

3. Для структурного анализа и других определений почву берут лопатой, вырезая с нужной глубины слой почвы площадью 10×10 см, и стараясь не разрушать структуру почвы, помещают ее в коробку. Сверху кладут этикетку с указанием даты, места и глубины взятия образцов, номера своей группы и фамилии.

Образцы почвы для определения влажности и плотности переносят в лабораторию и взвешивают. Результаты взвешивания заносят в соответствующие графы таблиц. Образец почвы на структурный анализ из коробки помещают в сухом месте, распределяя тонким слоем на листе бумаги, крупные комки слегка разламывают. В таких условиях почва доводится до воздушно-сухого состояния.

Плотность твердой фазы почвы определяют из высушенного почвенного образца.

Для получения более объективных показателей почвенные пробы отбираются в нескольких повторениях.

Для отбора в поле почвенных образцов необходимо иметь следующее оборудование:

- бур для взятия почвы на определение влажности;
- бур системы Некрасова с ключом, вилкой и патронами;
- нож большой;
- коробки для почвенных образцов;
- алюминиевые сушильные стаканчики (бюксы);
- линейку;
- лопату.

Взвешивание навески почвы при определении того или иного свойства проводится на весах с точностью до 0,01 г.

После выполнения лабораторной работы необходимо ответить письменно на вопросы для самоконтроля и защитить работу.

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Под *влажностью почвы* понимают количественное содержание в ней воды. Вода в почве является одним из основных факторов ее плодородия. Недостаток влаги в почве, так же как и ее избыток, сильно снижает урожай сельскохозяйственных культур. Знание величины полевой влажности почвы дает возможность судить об обеспеченности растений влагой и давать оценку различным агротехническим мероприятиям в регулировании водного режима почв.

Величину влажности почвы выражают в процентах от сухой массы, объема почвы.

Ход выполнения работы.

Обычно влажность определяется весовым методом путем выслушивания почвы до постоянного веса. При определении полевой влажности пробу почвы весом 25-30г (объемом $\frac{2}{3}$ стаканчика), помещают в предварительно взвешенный алюминиевый стаканчик и взвешивают. После взвешивания, сняв и поместив крышку под дно стаканчика, его ставят в сушильный шкаф.

Проба сушится в термостате при 100-105°C в течение трех часов (или дольше до достижения постоянного веса). После сушки стаканчик с почвой закрывают крышкой, помещают в эксикатор с CaCl_2 на дне, чтобы не произошло поглощения паров воды из воздуха, и после охлаждения взвешивают. Результаты взвешивания записывают в таблицу 1. Почву после взвешивания оставляют в сушильном стаканчике для последующего определения удельного веса.

Количество воды во взятой пробе почвы определяют по разности весов стаканчика с сырой и сухой почвой. Для выражения влажности в процентах к весу сухой почвы вычисляют сухую навеску почвы по разнице веса стаканчика с почвой после сушки и веса пустого стаканчика.

Таблица 1 – Форма записи при определении влажности почвы

Слой почвы, см	
№ сушильного стаканчика	
Вес сырой почвы со стаканчиком (B_1), г	
Вес сухой почвы со стаканчиком (B_2), г	
Вес пустого стаканчика (B_3), г	
Вес воды в пробе почвы (v_1), г	
Вес сухой почвы (v_2), г	
Влажность в % к весу сухой почвы, (B_0)	

Полевая влажность в процентах от веса сухой почвы вычисляется по формуле:

$$B_0 = \frac{v_1}{v_2} \times 100,$$

где: B_0 – содержание влаги в процентах от веса сухой почвы, %;

v_1 – вес воды в пробе, г;

v_2 – вес сухой почвы, г;

Таблица 2 – Пример расчета определения влажности почвы

Вес сырой почвам со стаканчиком (B_1), г	49,3
Вес сухой почвы со стаканчиком (B_2), г	46,4
Вес пустого стаканчика (B_3), г	24,5
Вес воды в пробе почвы $v_1 = (B_1 - B_2)$, г	2,9
Вес сухой почвы $v_2 = (B_2 - B_3)$, г	21,9
Влажность в процентах (%) к весу сухой почвы (B_0)	13,2
$B_0 = \frac{2,9}{21,9} \times 100 = 13,2$	

Вопросы для самоконтроля.

1. Что понимают под влажностью почвы. Единицы измерения влажности почвы.
2. От чего зависит влажность почвы.
3. Допустимые пределы влажности для оптимального роста и развития растений.

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАГИ В ПОЧВЕ

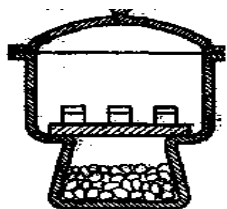
Почва в воздушно-сухом состоянии всегда содержит некоторое количество так называемой гигроскопической влаги. Это объясняется тем, что парообразная влага из воздуха поглощается (адсорбируется) почвой и прочно удерживается на поверхности ее частиц. Чем больше в воздухе водяных паров, т. е. чем выше относительная влажность воздуха, тем больше гигро-

скопическая влажность почвы. Величина гигроскопической влаги выражается в процентах к весу абсолютно сухой почвы.

Величина гигроскопической влаги необходима в дальнейшем для расчета веса абсолютно сухой почвы, которая в свою очередь используется при расчете многих физических величин (плотности, плотности твердой фазы, влагоемкости и др.), при расчете содержания питательных веществ и т.д.

Ход выполнения работы.

В чистый стеклянный стаканчик с притертой крышкой или алюминиевый бюкс, просушенный до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100-105°C, переносят в эксикатор для охлаждения, после чего взвешивают на аналитических весах. В бюкс помещают 5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, закрывают крышкой и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г.



Бюкс с открытой крышкой помещают в сушильный шкаф. Высушивание длится около 3 часов при температуре 100-105°C, после чего, используя щипцы, бюкс закрывают крышкой и переносят в эксикатор. Охлажденный бюкс с содержимым взвешивают на аналитических весах и снова просушивают в течение 2 ч.

Если масса бюкса с почвой после второй сушки осталась неизменной просушивание заканчивают. В случае уменьшения массы сушку продолжают. Эту операцию повторяют до тех пор, пока масса бюкса с содержимым не станет постоянной. Сушку заканчивают и в том случае, если будет небольшое повышение массы по сравнению с предыдущим взвешиванием, что наблюдается в почвах с большим содержанием органического вещества.

Содержание гигроскопической влаги вычисляют по формуле:

$$W_r = \frac{B_1}{B_2} \times 100,$$

где: W_r – гигроскопическая влага, %;
 B_1 – масса испарившейся воды, г;
 B_2 – масса абсолютно сухой почвы, г.

Коэффициент пересчета (K) воздушно-сухой почвы на абсолютно сухую определяют по формуле:

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

где: K – коэффициент пересчета воздушно сухой почвы на абсолютно сухую;
 W_r - гигроскопическая влага, %.

Результаты определения гигроскопической влаги записывают по следующей форме (табл. 3).

Таблица 3 – Форма записи при определении гигроскопической влаги в почве
Дата _____

Наименование почвы или изучаемого варианта	Номер бюкса	Масса пустого бюкса (V ₁), г	Масса бюкса с почвой до сушки (V ₂), г	Масса бюкса с почвой после первой сушки (V ₃), г	Масса бюкса с почвой после второй сушки (V ₄), г	Масса испарившейся влаги V ₅ = (V ₂ – V ₄), г	Масса абсолютно сухой почвы V ₆ = (V ₄ – V ₁), г	Содержание гигроскопической влаги, % $W_r = \frac{V_5 \times 100}{V_6}$

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется, гигроскопической влагой?
2. От чего зависит величина гигроскопической влаги?
3. Для чего необходимо рассчитывать величину гигроскопической влаги почвы?

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ

Плотностью (объемной массой) почвы называют вес единицы объема сухой почвы ненарушенного сложения. Плотность почвы выражают в г/см³.

Плотность почвы зависит от плотности сложения почвенных частиц, структурности, содержания гумуса и минералогического состава почвы. Чем больше в почве физической глины и меньше содержание гумуса, тем больше ее плотность. Плотность почвы необходима для характеристики степени уплотненности или рыхлости почвы, вычисления ее пористости, запасов воды, питательных веществ и массы пахотного слоя почвы на 1 га.

Характеристика почвы по степени уплотненности в зависимости от величины плотности представлена в таблице 4.

Благоприятные условия водного, воздушного, теплового и пищевого режимов складываются в почве, имеющей рыхлое и уплотненное состояние при величине плотности пахотного слоя 0,9-1,3 г/см³. Культуры сплошного способа сева хорошо растут на уплотненных почвах с плотностью пахотного слоя 1,1-1,3 г/см³, а для пропашных культур более благоприятно рыхлое со-

стояние при 0,9-1,1 г/см³.

Таблица 4 – Типы сложения пахотного слоя дерново-подзолистых почв

Тип сложения	Суглинистые и глинистые почвы		Песчаные и супесчаные почвы	
	плотность почвы, г/см ³	общая пористость, % к объему	плотность почвы, г/см ³	общая пористость, % к объему
Очень рыхлое	<0,9	>65	<1,2	>55
Рыхлое	0,9-1,1	65-58	1,2-1,3	55-51
Уплотненное	1,1-1,2	58-54	1,3-1,4	51-47
Средне уплотненное	1,2-1,3	54-50	1,4-1,5	47-43
Плотное	1,3-1,4	50-46	1,5-1,6	43-40
Очень плотное	1,4-1,5	46-42	>1,6	<40
Предельно плотное	>1,5	<42	-	-

На очень плотной почве (>1,4 г/см³), так же как и на чрезмерно рыхлой (<0,9 г/см³), рост и развитие сельскохозяйственных культур ухудшается. Под корнеплоды и клубнеплоды при плотности подпахотного слоя >1,4 г/см³ и под зерновые >1,5 г/см³ необходимо проводить подпахотное рыхление почвы почвообрабатывающими орудиями. Плотность почвы регулируется в земледелии механической обработкой, внесением удобрений, правильным чередованием возделываемых культур и другими приемами.

Ход выполнения работы.

В предварительно взвешенный металлический стакан (патрон) с сетчатым дном, лопаткой насыпают почву (примерно 2/3 объема), легким постукиванием ребром ладони о дно стакана, утрамбовывают почвенные агрегаты. Стакан с почвой взвешивают и получают вес почвы со стаканом.

Массу почвы, помещенную в стакане, рассчитывают по формуле:

$$M = M_2 - M_1,$$

где: M – масса почвы в стакане, г.;

M₂ – масса почвы со стаканом, г.;

M₁ – масса пустого стакана, г.

Затем определяют объем почвы в стакане (V), см³ по формуле:

$$V = \pi \times r^2 \times h,$$

где: V – объем почвы в стакане, см³;

π – постоянная величина (3,14);

r² – радиус стакана, см;

h – высота почвы в стакане, см.

Величину плотности почвы (d_0) рассчитывают по формуле:

$$d_0 = \frac{B}{V},$$

где: d_0 - плотность почвы, г/см³;

B – вес абсолютно-сухой почвы в стакане, г;

V - объем почвы в стакане, см³.

Вес абсолютно-сухой почвы (B) рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{100 + W_r},$$

где: B - вес абсолютно-сухой почвы, г;

M_2 - вес почвы со стаканом, г.;

M_1 - вес пустого стакана, г;

W_r - гигроскопическая влажность, %.

Результаты измерений заносят в рабочую тетрадь по форме таблицы 5, а стакан с почвой ставят на капиллярное насыщение для определения влагоемкости (работа 8).

Таблица 5 – Форма записи при определении плотности почвы с нарушенным сложением пахотного слоя почвы

Слой почвы, см	
№ стакана (патрона)	
Вес пустого стакана (M_1), г	
Вес воздушно-сухой почвы со стаканом (M_2), г	
Вес воздушно-сухой почвы (M_0), г ($M_0 = M_2 - M_1$)	
Влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	
Вес абсолютно сухой почвы (B), г	
Радиус стакана (r), см	
Высота почвы в стакане (h), см	
Объем почвы в стакане (V), см ³	
Плотность почвы (d_0), г/см ³	
Вес сухой почвы в слое 0-30 см ($M_{\text{почвы}}$), т/га	

Расчет веса 0-30 см слоя почвы с площади 1 га проводят по формуле:

$$M_{\text{почвы}} = 10000 \times H \times d_0,$$

где: $M_{\text{почвы}}$ - вес 0-30 см слоя сухой почвы с площади 1 га, г;

10000 – площадь 1 га, м²;

H – слой почвы, м;

d_0 - плотность почвы, г/см³.

Пример расчета плотности почвы:

Слой почвы, см	0-30
№ стакана (патрона)	25
Вес пустого стакана (M_1), г	70,5
Вес воздушно-сухой почвы со стаканом (M_2), г	285,2
Вес воздушно-сухой почвы (M_0), г ($M_0=M_2-M_1$)	214,7
Влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	6,0
Вес абсолютно сухой почвы (B), г $B = \frac{(285,2 - 70,5) \times 100}{100 + 6,0} = 202,5\text{г}$	202,5
Радиус стакана (r), см	2,9
Высота почвы в стакане (h), см	7,0
Объем почвы в стакане (V), см ³ $V = 3,14 \times (2,9)^2 \times 7 = 184,8 \text{ см}^3$	184,8
Плотность почвы (d_0), г/см ³ $d_0 = \frac{202,5}{184,8} = 1,09 \text{ г/см}^3$	1,09
Вес сухой почвы в слое 0-30 см ($M_{\text{почвы}}$), т/га $M_{\text{почвы}} = 10000 \times 0,3 \times 1,09 = 3270 \text{ т/га}$	3270

Таблица 6 – Форма записи при определении плотности почвы с ненарушенным сложением пахотного слоя

Слой почвы, см	
№ стакана (патрона)	
Вес пустого стакана (M_1), г	
Вес воздушно-сухой почвы со стаканом (M_2), г	
Вес воздушно-сухой почвы (M_0), г ($M_0=M_2 - M_1$)	
Влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	
Вес абсолютно сухой почвы (B), г	
Радиус стакана (r), см	
Высота почвы в стакане (h), см	
Объем почвы в стакане (V), см ³	
Плотность почвы (d_0), г/см ³	
Вес сухой почвы в слое 0-30 см ($M_{\text{почвы}}$), т/га	

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется плотностью почвы, в каких единицах она измеряется.
2. От чего зависит величина плотности почвы.
3. Что такое оптимальная и равновесная плотность почвы.
4. Равновесные и оптимальные показатели плотности почвы для разных полевых культур.
5. Для каких расчетов используется показатель плотности почвы.
6. Приемы регулирования плотности почвы.

Работа 4. ВЛАГОЕМКОСТЬ ПОЧВЫ

Влагодемкость почвы – это максимальное количество той или иной формы (категории) почвенной воды, удерживаемое соответствующими силами в почве.

Различают общую, полевую, предельную полевую, наименьшую, капиллярную, максимальную молекулярную, адсорбционную максимальную влагоемкость. Но основными показателями влагоемкости почвы являются: наименьшая, капиллярная и полная. Выражают влагоемкость почвы в %.

4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ

Количество воды, которое удерживает почва в состоянии капиллярного насыщения при подпоре воды снизу, называют **капиллярной влагоемкостью**.

Капиллярная влагоемкость в лабораторных условиях определяется методом насыщения образцов почвы с нарушенным сложением в металлических стаканах с сетчатым дном на мокрой фильтровальной бумаге.

Ход выполнения работы.

При работе с почвой (в воздушно сухом состоянии) с нарушенным строением пахотного слоя определение капиллярной влагоемкости ведут следующим образом:

В предварительно взвешенный металлический стакан с сетчатым дном (на сетку помещают фильтрованную бумагу) частями насыпают почву, каждый раз, постукивая дно стакана ладонью руки, добиваясь уплотнения почвы. Почву насыпают 2/3 объема стакана, взвешивают (работа №3) и ставят в кристаллизационную чашку, уровень воды в которой должен покрывать сетчатую крышку стакана (1-1,5 см). По мере уменьшения уровня воды в кристаллизаторе ее доливают. Моментом капиллярного насыщения считают момент, когда поверхность почвы в стакане начнет смачиваться водой – появляется пятно. Стакан вынимают, вытирают стенки и дно стакана и взвешивают. Запись результатов ведут по форме таблицы 7.

Величину капиллярной влагоемкости вычисляют по формуле:

$$W_{\text{к}} = \frac{M_3 - M_2}{B} \times 100 ,$$

где: $W_{\text{к}}$ – капиллярная влагоёмкость, %;

M_3 – вес стакана с почвой после капиллярного насыщения, г;

M_2 – вес стакана с почвой до насыщения, г;

B – вес абсолютно сухой почвы, г.

Вес абсолютно-сухой почвы (В) рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{100 + W_r},$$

где: В - вес абсолютно-сухой почвы, г;

M_2 – вес стакана с почвой до насыщения, г.;

M_1 - вес пустого стакана, г;

W_r - гигроскопическая влажность, %.

Таблица 7 – Форма записи при определении капиллярной влагоемкости почвы

№ стакана (патрона)	
Вес пустого стакана (M_1), г	
Вес стакана с почвой до насыщения (M_2), г	
Гигроскопическая влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	
Вес абсолютно сухой почвы в стакане (В), г	
Вес стакана с почвой после капиллярного насыщения (M_3), г	
Капиллярная влагоемкость в % к весу сухой почвы (W_k)	

Пример расчета капиллярной влагоемкости почвы:

№ стакана (патрона)	25
Вес пустого стакана (M_1), г	70,5
Вес стакана с почвой до насыщения (M_2), г	285,2
Гигроскопическая влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	6
Вес абсолютно сухой почвы в стакане (В), г $B = \frac{(285,2 - 70,5) \times 100}{100 + 6} = 202,5$ г	202,5
Вес стакана с почвой после капиллярного насыщения (M_3), г	350,5
Капиллярная влагоемкость в % к весу сухой почвы (W_k) $W_k = \frac{350,5 - 285,2}{202,5} \times 100 = 32,2\%$	32,2

4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ВЛАГЕМОСТИ ПОЧВЫ

Полной влагоемкостью называют количество воды, которое способна удерживать почва после полного насыщения. То есть когда все капиллярные и некапиллярные поры (межагрегатные пространства) заполнены водой, при этом практически весь воздух вытеснен.

Ход выполнения работы.

После капиллярного насыщения металлический стакан с сетчатым дном и содержащейся в нем почвой помещают в кристаллизационную чашку, уровень воды в которой должен быть равен уровню почвы в стакане. Моментом полного насыщения водой считают состояние, когда поверхность

почвы в стакане станет мокрой и заблестит.

Стакан с почвой вынимают, протирают фильтрованной бумагой стенки и дно стакана и быстро взвешивают. Запись результатов ведут по форме таблицы 8.

Величину полной влагоемкости рассчитывают по формуле:

$$W_n = \frac{M_4 - M_2}{B} \times 100 ,$$

где: W_n – полная влагоёмкость, %;

M_4 – вес стакана с почвой после полного насыщения, г;

M_2 – вес стакана с почвой до насыщения, г;

B – вес абсолютно сухой почвы, г.

Вес абсолютно-сухой почвы (B) рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{100 + W_r} ,$$

где: B - вес абсолютно-сухой почвы, г;

M_2 - вес стакана с почвой до насыщения, г.;

M_1 - вес пустого стакана, г;

W_r - гигроскопическая влажность, %.

Таблица 8 – Форма записи при определении полной влагоемкости почвы

№ стакана (патрона)	
Вес пустого стакана (M_1), г	
Вес стакана с почвой до насыщения (M_2), г	
Гигроскопическая влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	
Вес абсолютно сухой почвы в стакане (B), г	
Вес стакана с почвой после полного насыщения (M_4), г	
Полная влагоемкость в % к весу сухой почвы (W_n)	

Пример расчета полной влагоемкости почвы:

№ стакана (патрона)	25
Вес пустого стакана (M_1), г	70,5
Вес стакана с почвой до насыщения (M_2), г	285,2
Гигроскопическая влажность в % к весу сухой почвы (W_r)	6
Вес абсолютно сухой почвы в стакане (B), г $B = \frac{(285,2 - 70,5) \times 100}{100 + 6} = 202,5 \text{ г}$	202,5
Вес стакана с почвой после полного насыщения (M_4), г	380,5
Полная влагоемкость в % к весу сухой почвы (W_n) $W_n = \frac{380,5 - 285,2}{202,5} \times 100 = 47,1\%$	47,1

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется влагоемкостью почвы, в каких единицах она измеряется. Понятие капиллярной и полной влагоемкости.
2. От чего зависит величина влагоемкости почвы.
3. С какой целью определяют величину влагоемкости почвы.
4. Приемы регулирования влагоемкости почвы.

Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ ПОЧВЫ

Максимальной гигроскопичностью (МГ) называют наибольшее количество парообразной влаги, которое почва может поглотить из воздуха, насыщенного парами воды.

Максимальная гигроскопичность в сильной степени зависит от гранулометрического состава почвы и содержания в ней гумуса. Чем тяжелее гранулометрический состав и больше содержится гумуса в почве, тем больше максимальная гигроскопичность. Максимальную гигроскопичность используют для приблизительной оценки влажности завядания растений, соответствующей количеству в почве воды, при котором растения начинают завядать.

Принято считать, что влажность завядания (ВЗ) примерно в полтора раза больше максимальной гигроскопичности. Показатель влажности завядания растений используют для определения запасов продуктивной влаги в почве и величины продуктивной влагоемкости.

Ход выполнения работы.

Для определения максимальной гигроскопичности навеску почвы 10 г помещают в бюкс и ставят в эксикатор, на дно которого наливают 10 % раствор серной кислоты или насыщенный раствор сернокислого калия. В эксикаторе над этими растворами создается относительная влажность воздуха 95-98 %. Насыщение ведется до постоянного веса, что определяется повторными взвешиваниями почвы и продолжается в зависимости от условий 2-4 недели. После насыщения обычным высушиванием определяется влажность почвы, которая соответствует максимальной гигроскопичности. Запись результатов ведут по форме табл. 9.

Таблица 9 – Форма записи при определении максимальной гигроскопичности

Слой почвы, см	
№ бюкса	
Вес пустого бюкса (V_1), г	
Вес бюкса с почвой после насыщения (V_2), г	
1-е взвешивание, г	
2-е взвешивание, г	
3-е взвешивание, г	
Вес бюкса с почвой после сушки (V_3), г	
Максимальная гигроскопичность, %	

Максимальную гигроскопичность почвы ($W_{\text{мг}}$, %), определяют по формуле:

$$W_{\text{мг}} = \frac{V_2 - V_3}{V_3 - V_1} \times 100,$$

где: $W_{\text{мг}}$ – максимальная гигроскопичность, %;

V_1 – вес пустого бюкса, г;

V_2 – вес бюкса с почвой после насыщения, г;

V_3 – вес бюкса с почвой после сушки, г.

Максимальная гигроскопичность из-за большой длительности анализа студентами иногда не определяется, а для расчетов используются данные, приведенные в табл. 10.

Таблица 10 – Максимальная гигроскопичность (по С.И. Долгову) и влажность завядания (по С.А. Вериге и Л.А. Разумовой) разных по гранулометрическому составу почв (в % к весу сухой почвы)

Разновидность почвы по гранулометрическому составу	Влажность завядания	Максимальная гигроскопичность	Отношение влажности завядания к максимальной гигроскопичности ($V_3:W_{\text{мг}}$)
Песчаная	1,5	1,5	1,00
Супесчаная	4	3	1,33
Легкосуглинистая	7	5	1,40
Среднесуглинистая	9	6	1,50
Тяжелосуглинистая	12	7	1,71
Глинистая	20	12	1,67

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется максимальной гигроскопичностью почвы.
2. От чего зависит величина максимальной гигроскопичности почвы.
3. С какой целью определяют величину максимальной гигроскопичности почвы.

Работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВЫ

Под плотностью твердой фазы почвы понимают отношение массы твердой фазы (частиц) почвы определенного объема к массе воды того же объема при температуре 4 °С, или массу 1 см³ абсолютно сухой твердой фазы почвы.

Обычно плотность твердой фазы почвы выражают в граммах на один кубический сантиметр, и он всегда больше величины плотности почвы. Знание величины плотности твердой фазы почвы необходимо для расчета ее пористости. Эта величина зависит от минералогического состава почвы и содержания гумуса. Чем богаче почва гумусом, тем меньше плотность твердой фазы. Плотность твердой фазы пахотного слоя черноземных почв с содержанием гумуса 6-8 % колеблется в пределах 2,50-2,65 г/см³. В малогумусных почвах эта величина выше – 2,65-3,00 г/см³.

Плотность твердой фазы почвы устанавливают с помощью пикнометра – мерного сосуда, позволяющего учитывать объем жидкости с большой точностью. Принцип этого метода заключается в определении объема частиц навески почвы, взятой для анализа, по вытесняемой ими жидкости.

Ход выполнения работы.

1. Для определения плотности твердой фазы из коробочного образца берут среднюю пробу почвы. Пробу растирают в ступке и просеивают через сито с отверстиями 1 мм. На аналитических или электронных весах взвешивают навеску 10 г.

2. Взвешивают сухой пустой пикнометр. Взвешивание и расчет при определении плотности твердой фазы почвы производят с точностью до 0,01 г.

3. Навеску просеянной почвы 10 г помещают в пикнометр и взвешивают почву с пикнометром.

4. Для определения объема твердых частиц в навеске, пикнометр с почвой наполняют водой до половины, накрывают воронкой и кипятят в течение 30 мин для удаления воздуха из почвы. Нельзя допускать бурного кипения воды с почвой, так как это может привести к частичной потере почвы из пикнометра и искажению результатов анализа.

5. После кипячения пикнометр охлаждают, наполняют его водой до риски, удаляют пузырьки воздуха и всплывшие легкие частицы с помощью фильтровального жгутика и взвешивают.

6. Воду с почвой выливают из пикнометра, промывают его, наливают чистую дистиллированную воду до риски и взвешивают (снаружи пикнометр должен быть сухим и чистым).

Результаты работы записывают в следующей форме (табл. 11).

Таблица 11 – Форма записи при определении плотности твердой фазы почвы

№ пикнометра	
Вес пустого пикнометра (М), г	
Вес пикнометра с почвой (М _п), г	
Вес воздушно-сухой почвы (М ₀), г	
Влажность воздушно-сухой почвы (W _г), %	
Вес абсолютно-сухой почвы (В), г	
Вес пикнометра с почвой и водой (М _{пв}), г	
Вес пикнометра с водой (М _в), г	
Объем твердых частиц почвы (V _{тчп}), см ³	
Плотность твердой фазы почвы (d), г/см ³	

Вес взятой для анализа навески воздушно сухой почвы (М₀) находят по разности весов пикнометра с почвой и пустого пикнометра.

Вес абсолютно сухой почвы в пикнометре рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{M_0 \times 100}{100 + W_r}$$

где: В – вес абсолютно-сухой почвы, г;

М₀ – вес воздушно-сухой почвы, г,

W_г – гигроскопическая влажность, %.

Обычно гигроскопическая влажность в черноземных тяжелосуглинистых почвах колеблется в пределах 6-8 %.

Объем твердых частиц почвы, равный объему вытесненной ими воды, находят путем вычитания из суммы веса пикнометра с водой, налитой до отметки, и навески сухой почвы веса пикнометра с водой и помещенной в него почвой.

Объем твердых частиц почвы определяется по формуле:

$$V_{тчп} = (M_в + B) - M_{пв}$$

где: V_{тчп} - объем твердых частиц почвы, см³;

М_в - вес пикнометра с водой, г;

В - вес абсолютно сухой почвы, г;

М_{пв} - вес пикнометра с почвой и водой, г.

Плотность твердой фазы определяют по формуле:

$$d = \frac{B}{V_{тчп}}$$

где: d – плотность твердой фазы почвы, г/см³;

В – вес абсолютно сухой почвы, г;

V_{тчп} – объем твердых частиц почвы, см³.

Пример расчета величины твердой фазы почвы:

№ пикнометра	15
Вес пустого пикнометра (M), г	23,24
Вес пикнометра с почвой (M _п), г	32,92
Вес воздушно-сухой почвы (M ₀), г	9,68
Влажность воздушно-сухой почвы (W _r), %	6
Вес абсолютно-сухой почвы (M _{абс. п}), г $B = \frac{9,68 \times 100}{100 + 6} = 9,13 \text{ г}$	9,13
Вес пикнометра с почвой и водой (M _{пв}), г	128,61
Вес пикнометра с водой (M _в), г	123,01
Объем твердых частиц почвы (V _{тщп}), см ³ $V_{тщп} = (123,01 + 9,13) - 128,61 = 3,53$	3,53
Плотность твердой фазы почвы (d), г/см ³ $d = \frac{9,13}{3,53} = 2,59$	2,59

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется плотностью твердой фазы почвы, в каких единицах измеряется.
2. От чего зависит величина плотности твердой фазы почвы?
3. Для расчета каких величин используется показатель плотности твердой фазы почвы.

Работа 7. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПОРИСТОСТИ (СКВАЖНОСТИ) ПОЧВЫ

Общей пористостью называют сумму всех пор почвы, выраженную в % от ее объема. Почвенные поры представляют собой различные по величине и форме промежутки, которые образуются в результате неплотного прилегания друг к другу комков и частиц почвы. От величины пористости почвы в значительной мере зависит ее плодородие. В порах размещаются вода, воздух, корни растений, микроорганизмы и в них протекают различные почвенные процессы. Кроме того, знание общей пористости необходимо для вычисления воздухосодержания, полной влагоемкости почвы и других показателей. Общая пористость находится в тесной зависимости от плотности и плотности твердой фазы почвы. Поэтому, чем рыхлее почва, тем больше в ней общая пористость и меньше плотность. Величиной общей пористости, также как и плотностью почвы, пользуются при характеристике степени уплотненности почвы.

Благоприятные условия водно-воздушного и теплового режимов складываются в почве, имеющей рыхлое и уплотненное состояние пахотного слоя при величине общей пористости 50-65 %. Культуры сплошного способа сева (зерновые) хорошо растут на уплотненных почвах с общей пористостью 50-58%, а для пропашных культур (картофель, корнеплоды, овощи) более

благоприятно рыхлое сложение почвы, имеющее общую пористость 58-65 %. На очень плотной почве, также как и на чрезмерно рыхлой, рост и развитие сельскохозяйственных культур ухудшается. При общей пористости в подпахотном слое меньше 48 % под корнеплоды и меньше 44 % под зерновые необходимо проводить рыхление почвы почвообрабатывающими орудиями.

Оптимальные показатели пористости зависят от состояния увлажнения почвы. При недостаточном увлажнении даже при небольшой пористости аэрация почвы может быть нормальной и, наоборот, при переувлажнении почвы с повышенной пористостью аэрация ухудшается.

Таблица 12 – Оценка уплотненности почвы по общей пористости (в %) для дерново-подзолистых суглинистых почв с содержанием гумуса 3-5 %

Слои почвы	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Степень уплотненности почвы				
		очень рыхлая	рыхлая	уплотненная	плотная	очень плотная
Пахотный	2,60	>65	65-58	58-50	50-46	<46
Подпахотный	2,70	-	>52	52-48	48-41	<46

Общая пористость определяется расчетным путем по формуле:

$$V_1 = \left(1 - \frac{d_0}{d}\right) \times 100,$$

где: V_1 – общая пористость почвы, %;
 d_0 – плотность почвы, г/см³;
 d – плотность твердой фазы почвы, г/см³.

В этой формуле отношение плотности почвы к плотности твердой фазы показывает, какую часть объема почвы занимают твердые частицы. Следовательно, оставшая часть объема приходится на поры $\left(1 - \frac{d_0}{d}\right)$. Умножением на 100 эти величины выражают в процентах.

Таблица 13 – Форма записи при расчете общей пористости

Плотность почвы, г/см ³	
Плотность твердой фазы, г/см ³	
Общая пористость почвы, %	

Пример расчета общей пористости почвы при плотности твердой фазы – 2,60 г/см³ и плотности – 1,12 г/см³:

$$V_1 = \left(1 - \frac{1,12}{2,6}\right) \times 100 = 56,9 \%$$

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется общей пористостью почвы?
2. От чего зависит общая пористость почвы.
3. Оптимальная величина пористости почв для различных сельскохозяйственных культур.
4. Приемы регулирования общей пористости почвы.

Работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДЫ И ВОЗДУХА В ПОЧВЕ

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

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

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

Оптимальные условия водо- и воздухообеспеченности растений создаются при наличии в почве 60-75 % воды и 25-40 % воздуха от общей пористости.

Различные сельскохозяйственные растения предъявляют неодинаковые требования к содержанию воды и воздуха в почве (табл. 12).

Таблица 14 – Оптимальное соотношение воды и воздуха, необходимое для нормального роста сельскохозяйственных растений

Культуры	Содержание в % от общей пористости	
	воды	воздуха
Пропашные	55-65	35-45
Зерновые	65-75	25-35
Многолетние травы	70-80	20-30

Определение соотношения воды и воздуха в почве производится путем вычисления. Для этого необходимы данные по влажности, плотности и пористости почвы. Величину полевой влажности почвы берут по данным таблицы 16 в зависимости от предшественника и приема обработки почвы.

1. Первоначально вычисляют влажность в процентах от объема почвы по формуле:

$$B_1 = B_{\text{п}} \times d_0 ,$$

где: B_1 – влажность почвы в % к ее объему,
 $B_{\text{п}}$ – полевая влажность почвы в % к ее весу;
 d_0 – плотность почвы.

2. Затем определяется воздухоудерживание по разности между общей пористостью и объемной влажностью почвы:

$$V = V_1 - B_1 ,$$

где: V – воздухоудерживание, %;
 V_1 – общая пористость, %;
 B_1 – влажность почвы в % к ее объему.

3. Содержание воды в почве ($V_{\text{воды}}$, %) определяют по формуле:

$$V_{\text{воды}} = \frac{B_1 \times 100}{V_1} ,$$

4. Содержание воздуха в почве ($V_{\text{возд.}}$, %) определяют по формуле:

$$V_{\text{возд.}} = \frac{V \times 100}{V_1} ,$$

Таблица 15 – Форма записи при определении соотношения содержания воды и воздуха в почве

Общая пористость (V_1), %	
Полевая влажность почвы в % к ее весу ($B_{\text{п}}$) (таблица 16)	
Плотность почвы (d_0), г/см ³	
Влажность почвы в % к ее объему (B_1)	
Воздухоудерживание (V) в % к объему почвы	
Содержание воды ($V_{\text{воды}}$) в % от общей пористости	
Содержание воздуха ($V_{\text{возд.}}$) в % от общей пористости	

Пример расчета определения соотношения воды и воздуха в почве при ее полевой влажности ($B_{\text{п}}$) 13,2%, плотности почвы (d_0) 1,12 г/см³ и общей пористости (V_1) 56,9 %.

1. Содержание воды в почве в % от ее объема:

$$B_1 = 13,2 \times 1,12 = 14,8 \%$$

2. Воздухосодержание:

$$V = 56,9 - 14,78 = 42,1 \%$$

3. Содержание воды в % от общей пористости:

$$V_{\text{воды}} = \frac{14,78 \times 100}{56,9} = 26,0\%$$

4. Содержание воздуха в % от общей пористости:

$$V_{\text{возд.}} = \frac{42,12 \times 100}{56,9} = 74,0\%$$

Таблица 16 - Полевая влажность почвы в слое 0-20 см в зависимости от предшественника и приема обработки почвы, %
(по данным кафедры земледелия и растениеводства)

Предшественник	Система обработки почвы				
	отвальная	плоскорезная	чизельная	мини-мальная	без обработки
Пар чистый	25,6	26,4	26,2	26,6	-
Пар сидеральный	24,1	-	-	-	-
Однолетние травы	22,2	24,8	24,5	25,2	-
Пшеница	18,7	19,6	19,2	20,0	-
Ячмень	18,4	19,3	19,1	19,7	-
Овес	17,6	19,4	18,2	19,0	-
Кукуруза	23,5	23,9	23,0	23,8	-
Многолетние травы	-	-	-	-	17,1

Вопросы для самоконтроля.

1. Способ расчета процентного содержания воды и воздуха от общей пористости почвы.

Работа 9. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

В зависимости от целей, для которых используются данные, влажность почвы может выражаться различными способами.

1. Содержание влаги при определении влажности почвы выражают **в процентах от массы абсолютно сухой почвы**. Это выполнялось в работе № 1. Для выполнения расчета величину влажности берут из таблицы 16 в соответствии с предшественником и обработкой почвы.

$$W = \frac{v_1 \times 100}{B},$$

где: W – содержание влаги, %;

v_1 – вес воды в образце, г;

B – вес абсолютно сухой почвы, г.

2. Влажность часто выражают *в процентах от объема почвы*.

$$W_v = W \times d_0 ,$$

где: W_v – влажность, % от объема почвы;
 d_0 – плотность почвы г/см³.

3. В связи с тем, что выпадающие осадки измеряют в миллиметрах водного столба, целесообразно запасы влаги в почве выражать *в миллиметрах*.

$$W_{\text{мм}} = \frac{W \times h \times d_0 \times 10}{100} ,$$

где: $W_{\text{мм}}$ – влажность почвы, мм;
 h – толщина слоя почвы, см;
 W – влажность почвы, %;
 d_0 – плотность почвы г/см³;
множитель 10 – перевод см в мм.

4. В практике, например, при установлении норм полива, запасы влаги в почве выражают *в м³/га или т/га* путем умножения величины влажности в миллиметрах водного столба ($W_{\text{мм}}$) на коэффициент 10. Каждый миллиметр выпавших осадков на 1 га составляет 10 м³ или 10 т.

$$W_{\text{м}}^3 = W_{\text{мм}} \times 10,$$

где: $W_{\text{м}}^3$ – запас влаги, м³/га;
 $W_{\text{мм}}$ – содержание воды, мм.

Расчет запаса влаги в мм или м³/га в метровом слое почвы проводят путем определения содержания влаги в каждом десяти сантиметровом слое. При этом обязательно учитывают содержание влаги и плотность в каждом из слоев почвы. В дальнейшем влажность отдельных слоев суммируют для определения запаса влаги в полуметровом или в метровом слое.

5. *Влажностью завядания* растений ($W_{\text{зав}}$) называется такая влажность почвы, при которой появляются первые признаки завядания растений, не исчезающие при 12-часовом пребывании их в атмосфере, насыщенной водяными парами. Это нижний предел доступной для растений влаги. Вся влага ниже влажности завядания уже недоступна растениям. В связи с чем величину влажности завядания используют для расчетов содержания продуктивной (доступной) влаги в почве.

$$W_{\text{зав}} = 1,5 \times W_{\text{мг}} ,$$

где: $W_{\text{мг}}$ – максимальная гигроскопичность почвы, %.

Величину максимальной гигроскопичности почвы следует брать из таблицы 10 (стр. 18).

6. При агрономической оценке водного режима почв важное значение имеет установление количества **продуктивной влаги**.

Продуктивной влагой называют всю почвенную влагу (в пределах полевой влагоемкости) сверх величины влажности завядания. Только при наличии продуктивной влаги растения могут расти.

Запас продуктивной влаги определяется по разности между фактической влажностью почвы и влажностью завядания растений:

$$W_{\text{прод}} = W - W_{\text{зав}},$$

где: $W_{\text{прод}}$ – продуктивная влага, мм;

W – содержание воды в слое почвы, мм;

$W_{\text{зав}}$ – влажность завядания, мм.

Оценку запасов продуктивной влаги в первый период роста и развития растений в слое 0-20см производят по следующей шкале:

Запасы: Хорошие	>40 мм.
Удовлетворительные	20-40 мм.
Неудовлетворительные	<20 мм.

При дальнейшем росте растений в слое 0-100 см.

Запасы: Очень хорошие	>160 мм.
Хорошие	160-130 мм.
Удовлетворительные	130-90 мм.
Плохие	90-60 мм.
Очень плохие	< 60 мм.

7. **Диапазон активной (продуктивной) влаги ($W_{\text{д.а.в.}}$)**. Наивысшему увлажнению почвы в полевых условиях соответствует состояние близкое к полевой влагоемкости ($W_{\text{п.в.}}$), нижним пределом доступной или активной влаги является влажность завядания ($W_{\text{зав}}$). Разница между названными пределами увлажнения соответствует диапазону активной влаги в почве:

$$W_{\text{д.а.в.}} = W_{\text{п.в.}} - W_{\text{зав}},$$

где: $W_{\text{д.а.в.}}$ - диапазон активной влаги, %.

$W_{\text{п.в.}}$ - полевая влагоемкость, %;

$W_{\text{зав}}$ - влажность завядания, %.

8. При расчете поливной нормы, а также для суждения об обеспеченности растений влагой, устанавливают дефицит запаса почвенной влаги, который подсчитывается по разности между полевой влагоемкостью и влажностью почвы:

$$W_{\text{д}} = W_{\text{п.в.}} - W,$$

где: $W_{\text{д}}$ - дефицит запаса почвенной влаги, %;

$W_{\text{п.в.}}$ - полевая влагоемкость, %;

W - содержание влаги в процентах от веса сухой почвы, %

Пример расчета различных способов выражения влажности почвы:

Вес воды в образце (v_1) - 5 г.

Вес абсолютно сухой почвы (B) - 25 г.

Плотность почвы (d_0) - 1,12 г/см³.

Максимальная гигроскопичность - 7 %.

Капиллярная влагоемкость - 30,0 %.

Полная влагоемкость - 50,0 %.

1. Содержание влаги в процентах от массы абсолютно сухой почвы:

$$W = \frac{5 \times 100}{25} = 20\%$$

2. Влажность в процентах от объема почвы.

$$W_v = 20 \times 1,12 = 22,4\%$$

3. Запасы влаги в почве в миллиметрах:

$$W_{\text{мм}} = \frac{20 \times 10 \times 1,12 \times 10}{100} = 22,4 \text{ мм}$$

4. Запасы влаги в м³/га:

$$W_m^3 = 22,4 \times 10 = 224 \text{ м}^3/\text{га}$$

5. Влажность завядания:

$$W_{\text{зав}} = 1,5 \times 7 = 10,5\%$$

6. Количество продуктивной влаги:

$$W_{\text{прод}} = 20 - 10,5 = 9,5\%$$

7. Диапазон активной (продуктивной) влаги ($W_{\text{д.а.в.}}$):

$$W_{\text{д.а.в.}} = 30 - 10,5 = 19,5\%$$

8. Дефицит запаса почвенной влаги:

$$W_d = 30 - 20 = 10\%$$

Таблица 17 – Показатели влажности почвы в зависимости от свойств почвы

Водные свойства почвы	Влажность почвы выражена в			
	% к весу сухой почвы	% к объему почвы	мм водного слоя	м ³ /га
Полевая влажность	20	22,4	22,4	224
Максимальная гигроскопичность	7,0	7,8	7,8	78
Влажность завядания	10,5	11,8	11,8	118
Капиллярная влагоемкость	30,0	33,6	33,6	336
Полная влагоемкость	50,0	56,0	56,0	560
Содержание продуктивной влаги	9,5	10,6	10,6	106
Диапазон активной влаги	19,5	21,8	21,8	218
Дефицит запаса почвенной влаги	10,0	11,2	11,2	112

Вопросы для самоконтроля.

1. Способы выражения влажности почвы.
2. От чего зависит величина влажности почвы.
3. Понятие об общем, продуктивном запасах влаги в почве, влажности завядания, диапазоне активной влаги в почве.
4. Приемы регулирования содержания влаги в почве.

9.1. ФОРМЫ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Почвенная влага в зависимости от характера связи между молекулами воды, твердой и газовой фазами почвы характеризуется разной подвижностью и неодинаковыми свойствами. Поэтому почвенную воду разделяют на категории или формы.

По физическому состоянию различают три формы почвенной воды: твердую, жидкую и парообразную; по характеру связи с твердой фазой и степени подвижности воды - шесть: химически связанную, твердую, парообразную, физически прочносвязанную и рыхлосвязанную, свободную (капиллярную и гравитационную) (рис. 2).

Химически связанная вода. Характеризуется неподвижностью, высокой прочностью связей, неспособностью растворять, включает конституционную и кристаллизационную воду, входит в состав твердой фазы почвы.

Химически связанная вода растениям недоступна.

Твердая вода. Образуется в почве в форме льда при ее промерзании в осенне-зимний период (сезонное промерзание) или сохраняется на определенной глубине в промерзшей толще почвы, не оттаивая даже летом (вечная, многолетняя мерзлота). Твердая вода в почве способна таять и испаряться, представляет собой потенциальный источник жидкой и парообразной воды.

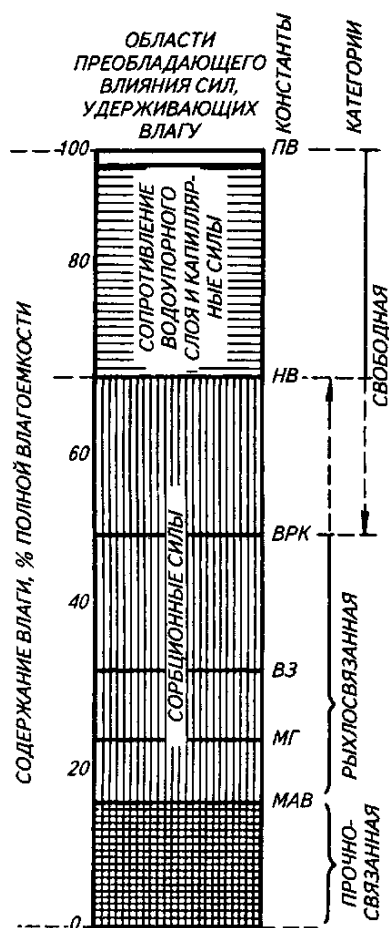


Рис. 2 - Категории (формы) почвенной влаги и почвенно-гидрологические константы (по Роде)

Гигроскопическая вода отличается особыми свойствами: она замерзает при температуре $-4...-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, не растворяет растворимые в свободной воде вещества, характеризуется повышенной плотностью ($1,5-1,8\text{ г/см}^3$) и вязкостью. Она недоступна растениям.

Рыхлосвязанная вода. Это вторая форма физически связанной, или сорбированной воды, называемая пленочной водой. Она образуется в результате дополнительной (к МГ) сорбции молекул воды при соприкосновении твердых коллоидных частиц почвы с жидкой водой. Это происходит потому, что почвенные частицы, сорбирующие максимальное количество молекул гигроскопической воды (из водяного пара), полностью не насыщаются и способны еще удерживать несколько десятков слоев ориентированных молекул воды, образующих водную пленку. Пленочная, или рыхлосвязанная, вода слабоподвижна (она передвигается медленно от почвенной частицы с более толстой пленкой к частице с менее толстой пленкой). Растениям она малодоступна. Максимальное количество рыхлосвязанной (пленочной) воды, удерживаемой силами молекулярного притяжения дисперсных почвенных частиц, называется *максимальной молекулярной влагоемкостью* (ММВ).

Твердая вода неподвижна, растениям недоступна.

Парообразная вода. Содержится в виде водяного пара в почвенном воздухе, насыщая его нередко до 100 %. Она передвигается от мест с большей упругостью в места с меньшей упругостью водяных паров, а также с током воздуха.

Парообразная вода в снабжении растений водой практически значения не имеет.

Прочносвязанная вода. Это первая форма физически связанной, или сорбированной, воды, называемая гигроскопической водой. Она образуется в результате сорбции почвенными (преимущественно коллоидными) частицами водяных паров из воздуха. Эту способность почвы называют гигроскопичностью. Гигроскопическая вода покрывает почвенные частицы тонкой пленкой, состоящей из 1-3 слоев молекул. Молекулы воды, сорбированные почвой, являясь диполями, находятся в строго ориентированном положении.

Капиллярная вода. В капельно-жидком состоянии она находится в капиллярах почвы, доступна растениям. Это наиболее благоприятная для растений форма почвенной влаги. Различают капиллярно-подвешенную и капиллярно-подпертую воду. *Капиллярно-подвешенная вода* образуется при увлажнении почвы с поверхности (дождевая вода, талые воды, оросительные), *капиллярно-подпертая* - при поступлении воды снизу, т. е. при подъеме воды по капиллярам от грунтовых вод. Под слоем почвы, увлажненным капиллярно-подвешенной водой, и над слоем почвы, увлажненным капиллярно-подпертой водой, находится слой сухой почвы. Над зеркалом грунтовых вод расположена капиллярная кайма.

Гравитационная вода. Занимает все крупные некапиллярные промежутки между агрегатами (поры, пустоты) в почве, вытесняя воздух. Передвигается свободно под действием силы тяжести (гравитации), способна растворять и переносить соли, коллоиды, суспензии по профилю почвы. Доступна растениям.

Почвенные гидрологические константы.

Почвенно-гидрологические константы (ПГК) – это граничные значения влажности, при которых количественные изменения в подвижности воды переходят в качественные отличия. К ним относятся:

МГ, $W_{\text{мг}}$ (максимальная гигроскопичность) – наибольшее количество сорбированной парообразной воды из воздуха с относительной влажностью 98%. Насыщение воздуха парами воды увеличивает количество сорбируемой воды, поэтому вокруг почвенной частицы образуется полимолекулярный слой адсорбированной воды. Она соответствует рыхлосвязанной. Это величина “рубежная” и достаточно условная. Определить ее можно только в лаборатории, в условиях равновесия почвы с парами воды при их содержании в окружающей атмосфере, равными 98%.

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

Эта величина экспериментально определяется методом вегетационных миниатюр, когда растения выращивают в небольших стаканчиках емкостью около 100 см^3 до стадии третьего листа. Поверхность почвы прикрывают от испарения песком и парафином и прекращают полив. Когда обнаруживаются признаки завядания, растения ставят на ночь во влажную камеру. И если после нахождения во влажной атмосфере потеря тургора будет заметна, это означает, что в почве достигнута влажность, соответствующая ВЗ.

ВРК или РВК (влажность разрыва капилляров, разрыв влажности капилляров) – влажность, соответствующая разрыву сплошности капилляров и при этом прерывается гидравлическая связь капиллярной сети. Сплошность заполнения водой капилляров теряется в результате испарения и потребления воды растениями. При этом уменьшается подвижность воды и до-

ступность ее растениям. ВРК, иначе говоря, характеризует нижний предел оптимальной влажности.

Общепринятых методов определения ВРК нет, иногда эту величину считают близкой к 70% от НВ для суглинистых почв, а для песчаных и супесчаных – около 50-60 % от НВ.

НВ или ППВ (наименьшая влагоемкость или предельно полевая влагоемкость, полевая влагоемкость) – наибольшее количество капиллярно-подвешенной воды. Это важнейшая характеристика водных свойств почвы.

Влажность, установившаяся после стекания избытка воды предварительно насыщенной почвы; достигается, как правило, через 2-3 дня после интенсивного дождя или полива хорошо дренируемой гомогенной почвы.

НВ дает представление о наибольшем количестве воды, которое почва способна накопить и удерживать длительное время. Вся система капиллярных пор при влажности НВ заполнена водой, поэтому в почве создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений.

Эта величина является основой большинства гидрологических, мелиоративных расчетов.

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

ПВ (полная влагоемкость, водовместимость) – наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех пор (капиллярных и некапиллярных) водой, за исключением занятых “защемленным” и адсорбированным воздухом. В почве присутствуют гравитационная и капиллярная вода.

Количественные оценки почвенно-гидрологических констант зависят от минералогического и гранулометрического состава, содержания гумуса, структурного состояния, пористости и плотности почв. Существует правило (не всегда соблюдающееся!) о соотношении величин влажностей, соответствующих почвенно-гидрологическим константам:

$$\text{ПВ} : \text{НВ} : \text{ВРК} : \text{ВЗ} : \text{МГ} = 1 : 0,5 : 0,35 : 0,25 : 0,05$$

Но, очень важно, это правило можно применять лишь для ориентации в величинах почвенно-гидрологических констант, но оно неприменимо для количественных расчетов. Основой для нахождения величин почвенно-гидрологических констант является их экспериментальное определение.

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

Рассмотрим **диапазоны** между отдельными почвенно-гидрологическими константами, характеризующие доступность **почвенной влаги** для растений:

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

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

ВРК-ВЗ – лежит в пределах между ВРК и ВЗ. Характеризует низкую продуктивность растений. **ТРУДНОДОСТУПНАЯ.**

ВЗ-МAB – она представлена рыхлосвязанной водой. Трудная доступность объясняется низкой подвижностью этой воды. Количественно определяется диапазоном между ВЗ и МAB. **ВЕСЬМА ТРУДНОДОСТУПНАЯ.**

МAB – Недоступность воды объясняется тем, что всасывающая сила корней намного меньше сил, которые удерживают эту воду на поверхности почвенных частиц. Это мертвый запас воды. **НЕДОСТУПНАЯ.**

Почвенно-гидрологические константы некоторых типов почв представлены в таблице 18.

Таблица 18 - Почвенно-гидрологические константы различных почв

Горизонт	Плотность твердой фазы (d), г/см ³	Плотность (d ₀), г/см ³	Максимальная гигроскопичность (МГ), %	Влажность завядания (ВЗ), %	Наименьшая влагоемкость (НВ), %	Полная влагоемкость (ПВ), %
Дерново-подзолистая суглинистая						
A ₁	2,64	1,16	4,8	6,6	32,0	56,0
B	2,68	1,59	14,3	21,5	37,0	42,0
Серая лесная слабоподзоленная тяжелосуглинистая						
A ₁	2,63	1,15	11,3	16,5	32,5	52,0
B	2,50	1,29	14,7	16,0	31,4	49,5
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый						
A	2,42	1,05	14,2	18,0	42,6	61,2
AB	2,42	1,21	15,2	17,8	31,8	53,6
Солонец глубокостолбчатый тяжелосуглинистый						
A	2,67	1,17	8,9	13,3	42,0	56,5
B ₁	2,73	1,53	14,5	21,7	33,5	41,0

Работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ТРУБОК С ПЕРЕМЕННЫМ НАПОРОМ ВОДЫ

Водопроницаемость – это способность почвы впитывать и пропускать воду. Проникновение воды в почву происходит вследствие впитывания и фильтрации ее. При впитывании происходит заполнение водой свободных пор под влиянием сил тяжести, напора воды и менисковых сил, возникающих на границе смачивания. Процесс фильтрации – это движение воды в порах, полностью заполненных водой, которое происходит под действием напора воды и почти не изменяется во времени.

В природных условиях разделять процесс водопроницаемости на отдельные фазы (впитывание и фильтрацию) почти невозможно. В агрономической практике чаще имеют дело с процессом впитывания воды. И только в лабораторных условиях на специально взятых образцах можно проследить за процессами впитывания и фильтрации.

Водопроницаемость зависит от многих условий: механического состава, содержания гумуса, пористости, структуры, влажности, типа почвы, температуры воды и т.д.

Водопроницаемость почвы – важное физическое свойство почвы. Она обуславливает использование атмосферных осадков и поливной воды. При хорошей водопроницаемости вода почти полностью проникает в почву, создавая запасы. При плохой водопроницаемости вода стекает по поверхности. Путем изменения водопроницаемости обеспечивают нормальный сток избыточной воды, предотвращают переувлажнение почвы и ее эрозию (смыв и размыв). В отдельных случаях создание хорошей водопроницаемости почвы положительно влияет на работу дренажной системы, отводящей избыточную воду. Следовательно, изменяя водопроницаемость почвы, можно регулировать водный режим в зависимости от складывающихся условий увлажнения почвы.

Как слишком незначительная, так и очень большая водопроницаемость почвы нежелательна. В первом случае вода будет стекать или застаиваться на поверхности, во втором – быстро просачиваться вглубь.

Наличие в почве капиллярных и некапиллярных пор обуславливает различное движение воды – однородное и неоднородное. Однородное движение воды характерно для пахотного слоя гомогенного (однородного) сложения. Неоднородное движение воды происходит при гетерогенном (неоднородном) сложении пахотного слоя. Неоднородное движение воды усиливает повышенная глубистость пашни, наличие трещин и других крупных некапиллярных пор.

Чем больше напор воды, тем меньше длина фильтрационного пути и чем больше площадь поперечного сечения потока, тем больший расход воды на фильтрацию.

Водопроницаемость чаще всего выражают в миллиметрах водного

столба в минуту, а иногда в сантиметрах в час или в метрах в сутки.

Оценка водопроницаемости по скорости впитывания воды:

- > 1,6 мм/мин - очень высокая;
- 1,5-0,6 мм/мин - высокая;
- 0,5-0,3 мм/мин - наилучшая;
- 0,3-0,15 мм/мин - хорошая;
- 0,15-0,07 мм/мин - пониженная;
- < 0,07 мм/мин - низкая.

Водопроницаемость почвы – важный показатель, по нему часто судят о других физических свойствах почвы (механическом и структурном составе, плотности и др.).

Большое значение в улучшении водопроницаемости почвы имеет внесение повышенных доз органических удобрений, возделывание многолетних трав, надлежащая обработка почвы.

Ход выполнения работы.

Для выполнения этой работы берется 4 патрона бура Некрасова без крышек. При определении водопроницаемости с поверхности пахотного слоя патроны устанавливаются на поверхности почвы. Если определяется водопроницаемость почвы на определенной глубине пахотного или подпахотного слоев, предварительно отрывается площадка размером 30 x 50 см на необходимую глубину 10, 20 или 30 см. Открытые площадки выравнивают лопатой, но уплотнять их не следует. Патрон вдавливают или забивают в почву на глубину 4 см на расстоянии 13 - 15 см один от другого.

Чтобы установить правильность заглубления патрона измеряют его общую высоту, а после установления в почву – высоту части патрона, находящуюся над поверхностью почвы.

С внешней стороны почва вокруг патрона уплотняется. Внутри патрона помещают фанерный кружок, чтобы предохранить поверхность почвы от заплывания. После этого патрон заполняют водой, измеряют высоту столба воды, отмечают время и следят за скоростью ее впитывания. После проникновения в почву всей воды, патрон может снова быть заполнен водой и наблюдения продолжены.

Предварительно определяется влажность почвы и измеряется температура воды.

Если вода проникает в почву слишком медленно, необходимо определить количество воды, испарившейся из патрона. Для этой цели рядом с патронами ставится стакан с определенным уровнем воды, по изменению которого находят количество воды, испарившейся за время работы.

Водопроницаемость почвы при данном методе работы выражают в мм водного столба, проходящего в единицу времени и рассчитывают по формуле:

$$K_t = \frac{h}{T},$$

где: K_t - водопроницаемость почвы в мм водного столба при данной температуре мм/мин;
 h – высота столба просочившейся воды в мм;
 T – время в мин.

Затем по специальной формуле водопроницаемость приводят к температуре 10° С:

$$K_{10} = \frac{K_t}{0,7 + 0,03 t},$$

где: K_{10} - коэффициент фильтрации при температуре 10°С, мм/мин;
 K_t - коэффициент фильтрации при данной температуре;
0,7 и 0,03 - эмпирические коэффициенты;
 t - температура воды используемой для определения водопроницаемости, °С.

Расчет производится для каждого патрона в отдельности. Затем выводится среднее значение K_{10} мм/мин для данного слоя почвы при определенной его влажности.

На основании полученных результатов исследования и приведенной в методическом указании таблицы 19 делают вывод о водопроницаемости почвы.

В дерново-подзолистых суглинистых и глинистых почвах с преобладанием капиллярной пористости водопроницаемость будет незначительная по сравнению с супесчаными и песчаными. Структурные почвы имеют большую водопроницаемость, чем бесструктурные.

Таблица 19 – Форма записи при определении водопроницаемости почвы методом трубок с переменным напором воды

Исходная влажность почвы, %	
Температура почвы, °С	
Начало заполнения патрона водой, час, мин	
Высота столба воды, мм	
Окончание просачивания воды, мин	
Длительность просачивания воды, мин	
Скорость впитывания воды при данной температуре (K_t)	
Скорость впитывания воды при температуре 10° (K_{10})	

Пример расчета

$$K_t = \frac{h}{T}, \quad K_t = \frac{48}{37} = 1,3 \text{ мм/мин}$$

$$K_{10} = \frac{K_t}{0,7 + 0,03 t}, \quad K_{10} = \frac{1,3}{0,7 + 0,03 t} = 1,13 \text{ мм/мин}$$

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называют водопроницаемостью почвы.
2. От чего зависит величина водопроницаемости почвы.
3. Приемы регулирования водопроницаемости почвы.

Работа 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ

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

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

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

В тончайших ультра порах движение свободной воды отсутствует, и они обычно заполнены связанной водой, адсорбированной почвой и недоступной для растений. Суммарный объем этих пор называют *пористостью гидратации*. В агрономическом отношении наибольшую ценность представляют поры аэрации (крупные некапиллярные) и капиллярные поры. В этих порах размещается воздух, доступная для растений влага, корни растений и микроорганизмы.

От соотношения некапиллярных и капиллярных пор зависят водные и воздушные свойства почвы. Поры гидратации не имеют полезного значения в обеспечении нормального водно-воздушного режима.

В практике земледелия при установлении роли различных агротехнических приемов (обработка, чередование культур, внесение удобрений и др.) в изменении физических свойств определяют строение пахотного и подпахотного слоев почвы.

Под строением пахотного слоя почвы понимают соотношение объемов твердых частиц почвы и различных видов пор (пор аэрации, капиллярных пор и пор гидратации).

Оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов создаются в дерново-подзолистой почве при величине общей пористости в пахотном слое 50-65 % с отношением пор аэрации к капиллярной пористости с пористостью гидратации как 2:3. Это значит, если общая пористость данной почвы составляет 49,6 %, то пористость аэрации должна составлять при оп-

тимальных условиях 20 %, а капиллярная и пористость гидратации – 30 %. При уплотнении почвы с уменьшением общей пористости резко возрастает капиллярная пористость и уменьшается некапиллярная. Чрезмерное уплотнение почвы увеличивает пористость гидратации и резко ухудшает ее аэрацию, так как капиллярные поры обычно заняты водой, а поры гидратации в аэрации не участвуют.

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

Порядок вычисления величин, характеризующих строение пахотного слоя почвы

Для установления строения пахотного слоя определяют объемы, занимаемые в почве твердыми частицами и пористостью: общей, аэрации (крупными некапиллярными порами), капиллярной и гидратации. При расчете этих величин из предшествующих работ необходимо использовать плотность и плотность твердой фазы, капиллярную влагоемкость и влажность завядания.

1. Объем твердых частиц в процентах от общего объема почвы находится по формуле:

$$V_T = \frac{d_0}{d} \times 100,$$

где: V_T - объем твердых частиц почвы, %;

d_0 - плотность почвы, г/см³;

d - плотность твердой фазы почвы, г/см³.

2. Общая пористость, как было показано в работе 7, вычисляется по формуле:

$$V_1 = \left(1 - \frac{d_0}{d}\right) \times 100,$$

где: V_1 - общая пористость, %;

d_0 - плотность почвы, г/см³;

d - плотность твердой фазы почвы, г/см³.

Как видно из этих формул, сумма объемов твердых частиц почвы и общей пористости составляет 100 %.

3. Пористость гидратации соответствует по величине влажности завядания, выраженной в процентах к объему почвы.

$$V_{\text{гид}} = W_{\text{зав}} \times d_0,$$

где: $V_{\text{гид}}$ - пористость гидратации (поры заполненные водой), %;

$W_{\text{зав}}$ - влажность завядания, %;

d_0 - плотность почвы, г/см³.

4. Капиллярная пористость определяется по формуле:

$$V_{\text{кап}} = W_k \times d_0 - V_{\text{гид}},$$

где: $V_{\text{кап}}$ - капиллярная пористость, %;

$V_{\text{гид}}$ - пористость гидратации (поры заполненные водой), %;

W_k - капиллярная влагоемкость, %;

d_0 -плотность почвы, г/см³.

Суммарный объем капиллярных пор и пор гидратации ($V_{\text{кап}} + V_{\text{гид}}$) устанавливаются по капиллярной влагоемкости. При капиллярном насыщении эти поры полностью заполнены водой и, следовательно, капиллярная влагоемкость, выраженная в процентах к объему почвы, численно соответствует суммарному объему капиллярной пористости и пористости гидратации:

5. Пористость аэрации (объем крупных некапиллярных пор) устанавливается вычитанием из общей пористости, капиллярной пористости и пористости гидратации.

$$V_{\text{аэр}} = V_1 - V_{\text{кап}} - V_{\text{гид}},$$

где: $V_{\text{аэр}}$ - пористость аэрации, %;

V_1 - общая пористость, %;

$V_{\text{кап}}$ - капиллярная пористость, %;

$V_{\text{гид}}$ - пористость гидратации (поры заполненные водой), %.

$$V_{\text{кап}} + V_{\text{гид}} = W_k \times d_0,$$

Пример расчета при определении строения пахотного слоя почвы:
Плотность почвы (d_0) - 1,12 г/см³.
Плотность твердой фазы почвы (d) - 2,60 г/см³.
Капиллярная влагоемкость в процентах к весу сухой почвы (W_k) – 30,6 %.
Влажность завядания в процентах к весу сухой почвы ($W_{\text{зав}}$) – 9,3 %.

1. Объем твердых частиц в процентах от общего объема почвы находится по формуле:

$$V_T = \frac{1,12}{2,6} \times 100 = 43,1\%$$

2. Общая пористость, %

$$V_1 = \left(1 - \frac{1,12}{2,6}\right) \times 100 = 56,9\%$$

3. Пористость гидратации, %

$$V_{\text{гид}} = 9,3 \times 1,12 = 10,42\%$$

4. Суммарный объем капиллярных пор и пор гидратации, %

$$V_{\text{кап}} + V_{\text{гид}} = 30,6 \times 1,12 = 34,3\%$$

5. Капиллярная пористость, %

$$V_{\text{кап}} = 30,6 \times 1,12 - 10,42 = 23,88\%$$

6. Пористость аэрации, %

$$V_{\text{аэр}} = 56,9 - 23,88 - 10,42 = 22,6\%$$

Таблица 20 – Форма записи при определении строения пахотного слоя почвы

Слой почвы, см	
Плотность почвы (d_0), г/см ³	
Плотность твердой фазы почвы (d), г/см ³	
Капиллярная влагоемкость ($W_{\text{к}}$) в % к весу сухой почвы	
Влажность завядания ($W_{\text{зав}}$) в % к весу сухой почвы	
Объем твердых частиц почвы ($V_{\text{т}}$), %	
Общая пористость (V_1), %	
Пористость аэрации ($V_{\text{аэр}}$), %	
Капиллярная пористость ($V_{\text{кап}}$), %	
Пористость гидратации ($V_{\text{гид}}$), %	

Полученные величины объемов твердых частиц почвы и видов пористости: общей, аэрации, капиллярной, гидратации - используют для построения графика строения пахотного слоя. График делают в форме прямоугольника, площадь которого принимают за 100 % объема почвы.

Наиболее благоприятное соотношение между объемом твердой фазы почвы и общей пористостью примерно составляет для структурных подзолистых почв 1:1 (50:50 %), а для черноземных пористость занимает до 60 % и более объема почвы.

График строения пахотного слоя почвы
по соотношению объемов твердых частиц почвы
и различных видов пористости

Объем твердых частиц почвы	Общая пористость		
$V_{\text{т}}$	V_1		
	56,9%		
43,1%	$V_{\text{гид}}$	$V_{\text{кап}}$	$V_{\text{аэр}}$
	10,42%	23,88%	22,6%

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется строением пахотного слоя почвы.
2. Назовите показатели оптимального строения пахотного слоя почвы.
3. Способы регулирования строения пахотного слоя почвы.

Работа 12. РАСЧЕТ ЗАПАСА ВЛАГИ В ПОЧВЕ, СУММАРНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Зная показатели влажности и плотности почвы можно рассчитать суммарное водопотребление и коэффициент водопотребления для сельскохозяйственных культур.

Для определения показателей выделяют не менее 2-х площадок размером 2×2 м, на одной изучают культуру, а другая свободна от растений. В производственных условиях чистые площадки не делают. На выделанных участках, через определенное время, на глубину 1 м через каждые 10 см определяют влажность и плотность почвы. Для уменьшения количества расчетов используют средние значения влажности и плотности почвы в слоях 0-30; 30-50; и 50-100см. За каждый период проводится учет количества осадков.

1. Расчет запасов воды в слое почвы 1 м проводят в начале (W_0) и конце (W_k) вегетации по следующим формулам:

$$W_0 = \sum \frac{B_0 d_o h_{30}}{10} + \frac{B_0 d_o h_{20}}{10} + \frac{B_0 d_o h_{50}}{10}, \text{ мм/га, или м}^3/\text{га}$$

$$W_k = \sum \frac{B_0 d_o h_{30}}{10} + \frac{B_0 d_o h_{20}}{10} + \frac{B_0 d_o h_{50}}{10}, \text{ мм/га, или м}^3/\text{га}$$

где: влажность почвы в начале (W_0) и конце (W_k) вегетации, %;

d_o – плотность почвы по слоям, г/м³;

h – высота (мощность) слоя почвы, см;

10 – коэффициент перевода м³ в мм;

значения B_0 и d_o соответствуют каждому слою почвы.

2. Суммарное водопотребление ($\sum B$) рассчитывается по формуле:

$$\sum B = W_0 - W_k + \sum O,$$

где: $\sum O$ – количество осадков за вегетационный период, мм/га

3. Коэффициент водопотребления (K_B) определяется по формуле:

$$K_B = \sum B \div Y, \text{ мм/ц, или м}^3/\text{ц}$$

где: Y – урожай культуры, ц/га

4. Количество недоступной влаги (W_H) в метровом слое почвы определяется по формуле:

Таблица 21 - Показатели влажности (%) и плотности (г/см³) почвы в начале (В₀) и конце (В_к) вегетации

Показатели	Слой почвы, см					
	0-30	30-50	50-100	0-30	30-50	50-100
	1-й вариант			2-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	21	23	25	18	22	23
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	16	18	20	14	18	19
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,21	1,25	1,31	1,15	1,2	1,35
Количество осадков за вегетационный период, мм	340			261		
	3-й вариант			4-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	24	20	22	30	20	24
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	16	14	16	22	16	18
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,22	1,34	1,42	1,24	1,33	1,39
Количество осадков за вегетационный период, мм	195			293		
	5-й вариант			6-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	16	18	22	18	16	21
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	12	14	18	15	13	15
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,25	1,3	1,35	1,15	1,25	1,3
Количество осадков за вегетационный период, мм	280			245		
	7-й вариант			8-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	26	24	22	20	24	26
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	18	19	20	18	20	22
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,16	1,25	1,34	1,15	1,3	1,4
Количество осадков за вегетационный период, мм	241			201		
	9-й вариант			10-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	16	18	24	18	20	26
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	14	15	18	13	16	20
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,15	1,22	1,32	1,21	1,35	1,44
Количество осадков за вегетационный период, мм	181			150		
	11-й вариант			12-й вариант		
Влажность почвы в начале вегетации В ₀ , %	14	16	21	28	20	24
Влажность почвы в конце вегетации В _к , %	15	15	17	18	22	20
Плотность почвы (d ₀), г/см ³	1,2	1,28	1,32	1,25	1,35	1,45
Количество осадков за вегетационный период, мм	238			259		

$$W_H = \left(\sum \frac{W_{Mг} d_0 h_{30} 1,34}{10} + \frac{W_{Mг} d_0 h_{20} 1,34}{10} + \frac{W_{Mг} d_0 h_{50} 1,34}{10} \right),$$

где: $W_{\text{мг}}$ – максимальная гигроскопичность почвы, %;
 d_o – плотность почвы по слоям, г/м³;
 h – высота (мощность) слоя почвы;
1,34 – коэффициент увеличивающий значение $W_{\text{мг}}$ для учета всей недоступной для растений влаги;
10 – коэффициент перевода м³ в мм.

5. Запасы *продуктивной влаги* ($W_{\text{п}}$) в метровом слое почвы рассчитывается как разница между суммарным водопотреблением и количеством недоступной влаги в почве:

$$W_{\text{п}} = \sum B - W_{\text{н}}, \text{ мм/га или м}^3/\text{га}$$

Зная запасы воды в метровом слое почвы в начале вегетации и коэффициент водопотребления, можно рассчитать водообеспеченность растений за вегетацию. Эти расчеты необходимы для дальнейшей разработки комплекса агротехнических и химических приемов, направленных на получение запланированной урожайности.

Вопросы для самоконтроля.

1. По заданию преподавателя, используя данные таблицы 20 рассчитать запасы влаги в почве.

Работа 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

Под структурным состоянием почвы понимается содержание различных по величине, форме, прочности, пористости комочков, называемых агрегатами, а способность ее распадаться на отдельные комочки называется структурностью.

Структурный состав почвы является одним из показателей степени ее плодородия и окультуренности. Чем большая часть почвенных частиц агрегирована в комки, тем выше агрономическая ценность почвы. Это связано с тем, что структурная почва обладает рядом более благоприятных свойств для сельскохозяйственных культур по сравнению с бесструктурной или малоструктурной.

Структурная почва обладает хорошей водопроницаемостью, воздухопроницаемостью, для обработки лучше крошится, распадаясь на мелкокомковатые отдельности.

Бесструктурная, распыленная почва быстро заплывает и уплотняется на поверхности ее часто образуется почвенная корка, резко ухудшается воздухо- и водопроницаемость. Бесструктурные почвы трудно поддаются обра-

ботке: плохо крошатся и образуют глыбы.

В агрономическом отношении ценными считаются *комковато-зернистые агрегаты размером от 0,25 до 10 мм*. Более крупные комки относятся к глыбистой части почвы, а более мелкие составляют распыленную часть почвы. В засушливых условиях имеют наибольшее значение мелкие агрегаты, на переувлажненных – более крупные.

Агрегаты размером меньше 0,25 мм называют *микроагрегатами*, более 0,25 мм - *макроагрегатами*.

По размеру агрегатов принята следующая классификация структуры почвы:

<i>Наименование структуры почвы</i>	<i>Размер почвенных агрегатов, мм</i>
Глыбистая	более 10
Макроструктура	от 10 до 0,25
Микроструктура:	
Грубая	от 0,25 до 0,01
Тонкая	менее 0,01

Важным качеством структуры почвы является ее *водопрочность*, под которой понимается способность почвенных агрегатов противостоять размывающему действию воды. Водопрочная структура меньше разрушается и более длительное время сохраняет благоприятное строение, приданное почве механической обработкой.

Установлено, что наибольшее количество водопрочных агрегатов (60-70 %) содержат черноземные почвы, дерново-карбонатные до 60 %, значительно меньше агрегатов в дерново-подзолистых почвах (25-45 %). В супесчаных почвах по гранулометрическому составу агрегатов содержится меньше, чем в суглинистых почвах.

Важное агрономическое значение принадлежит не только мелко комковатой водопрочной структуре, а всем агрегатам пахотного слоя, на которые распадается почва при обработке.

Количество агрегатов, их размеры, прочность и пористость зависит от содержания гумуса в почве, ее гранулометрического состава, от механической обработки и биологических особенностей возделываемых культур. Структурность почвы улучшается при внесении удобрений, правильной обработке и рациональном чередовании культур.

При определении структурного состава почвы наиболее распространенным является метод Н.И. Савинова. Метод состоит из двух частей: обычное просеивание воздушно-сухой почвы (сухой рассев) и просеивание этой же почвы в воде (мокрый рассев). Сухим просеиванием (количественная характеристика структуры почвы) устанавливается общее количество агрегатов различного размера, мокрым (качественная характеристика структуры почвы) – количество водопрочных агрегатов почвы. Данные, полученные этим методом, используют для сравнительной оценки влияния на структурный состав почвы различных агротехнических приемов: механической обработки,

чередования культур, искусственных структурообразователей, внесения удобрений и др.

Ход выполнения работы.

1. Сухое просеивание.

Для сухого просеивания берут среднюю пробу воздушно-сухой почвы, весом 500 г., и просеивают через колонку сит с диаметром отверстий 10, 7, 5, 3, 1, 0,5 и 0,25 мм. Внизу колонки сит ставится поддон, а сверху – крышка. Просеивание осуществляется наклоном сит без встряхивания, но постукиванием ребром ладони по ситам после каждого наклона. По мере прохода мелких агрегатов сита одно за другим снимаются. Фракции агрегатов с каждого сита переносят на бумагу, взвешивают, отбирают среднюю пробу, складывают в пакеты и сохраняют для мокрого отсева. Вес фракций записывают в таблицу и определяют процентное содержание каждой фракции агрегатов к исходной навеске (массу и процентное содержание фракции с диаметром частиц менее 0,25 мм вычисляют по разности). Сумма всех фракций должна быть равна весу взятой навески – 500 г. (табл. 22).

2. Мокрое просеивание.

Для определения водопрочной структуры почвы составляют среднюю пробу массой 50 г, отбирая из каждой фракции после сухого просеивания навеску, численно равную половине процентного ее содержания. Например, если в почве содержится агрегатов размером 2-3 мм 24 %, то для средней пробы из этой фракции нужно взять 12 г. Чтобы избежать забивания сит, в среднюю пробу не включают фракцию меньше 0,25 мм, при расчете содержания водопрочных агрегатов за 100 % принимают навеску 50 г.

Таблица 22 – Структурный состав почвы по сухому и мокрому просеиванию

Размер почвенных агрегатов, мм	Сухое просеивание		Взято для просеивания в воде, г	Мокрое просеивание				
	вес агрегатов, г	содержание агрегатов, %		№ чашки	вес пустой чашки, г	вес чашки и фракции после сушки, г	вес фракции, г	содержание водопрочных агрегатов, %
> 10								
10-7								
7-5								
5-3								
3-1								
1-0,5								
0,5-0,25								
<0,25 (поддон)								
Всего	500	100	50					
в т.ч. 0,25-10 мм (агрономически ценных)								

Отобранную таким образом, среднюю пробу осторожно высыпают в литровый стеклянный цилиндр, наполненный на $\frac{2}{3}$ объема водой, и оставляют в покое на 10 минут для удаления воздуха из агрегатов.

Чтобы ускорить вытеснение воздуха, через 1-2 минуты цилиндр закрывают пробкой или стеклом и осторожно наклоняют до горизонтального положения и возвращают в исходное состояние.

Через 10 минут цилиндр доливают водой доверху, закрывают пробкой или стеклом и переворачивают вверх дном, удерживая в таком положении несколько секунд, пока основная масса агрегатов переместится вниз, и возвращают цилиндр в исходное положение. После десяти подобных оборотов закрытый цилиндр опрокидывают над набором сит, стоящих в ванне (бачке) с водой. Цилиндр под водой быстро открывают и плавными круговыми движениями распределяют почву по верхнему сити. Когда все агрегаты крупнее 0,25 мм упадут на сито (примерно 40-60 секунд), цилиндр закрывают, переворачивают горлышком вверх и оставляют в вертикальном положении. Перенесенную на сита почву просеивают в воде. Для этого набор сит медленно поднимают на 5-6 см и быстро опускают на 3-4 см. Встряхивания повторяют 10 раз с промежутком в 2-3 секунды. Затем сита с отверстиями больше 2 мм снимают, а остальные встряхивают еще 5 раз и вынимают из воды.

Оставшиеся на ситах агрегаты смывают струей воды из промывалки в фарфоровые чашки, избыток воды сливают, затем агрегаты переносят в металлические чашки и выпаривают. Почву доводят до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Для каждой фракции определяют ее процентное содержание, умножая вес фракции на 2, результаты записывают в таблицу 21.

Процент частичек диаметром меньше 0,25 мм (пыль) определяется вычитанием из суммы 100 % более крупных фракций.

В зависимости от содержания агрегатов оптимального размера (0,25 – 10 мм), оценка структурного состава почвы производится по следующей шкале (табл. 23).

Таблица 23 – Шкала оценки структурного состояния почвы
(по Долгову и Бахтину)

Содержание агрегатов 0,25-10 мм, % к весу почвы		Оценка структурного состояния почвы
воздушно-сухих	водопрочных	
>80	>70	Отличное
80-60	70-55	Хорошее
60-40	55-40	Удовлетворительное
40-20	40-20	Неудовлетворительное
<20	<20	Плохое

При наличии в почвах пыли до 35 % почва считается комковатой, от 35

до 75 % распыленной, больше 75 % сильно распыленной.

Большая распыленность наблюдается на тяжелых по гранулометрическому составу почвах. Поэтому создание мелко-комковатой структуры наибольшее значение имеет на дерново-подзолистых пылеватых суглинистых почвах. В легких по гранулометрическому составу почвах, пыли содержится меньше и в них меньше водопрочных агрегатов. Благоприятное строение этих почв обусловлено наличием крупных пылеватых частиц.

Благоприятные размеры макро- и микроагрегатов для пахотных земель относительно. Во влажных условиях оптимальные размеры структурных агрегатов увеличиваются (1-3 мм), в засушливых – уменьшаются (0,5-1 мм), а в условиях эрозионной опасности размеры увеличиваются до 1-2 мм в диаметре.

Оценку структурного состояния почвы на устойчивость к процессам ветровой и водной эрозии проводят по процентному содержанию агрегатов более 1 мм по следующей шкале:

<25 % - степень проявления эрозии сильная, почва неустойчива против ветра;

25-50 % - степень проявления эрозии средняя, почва неустойчива против ветра;

50-75 % - степень проявления эрозии слабая, почва устойчива к эрозионным процессам;

>75 % - проявление эрозионных процессов нет, почва устойчива к эрозионным процессам.

Для оценки структурного состояния рассчитывают коэффициент структурности по формуле:

$$K = \frac{M}{m+L},$$

где: K – коэффициент структурности;

M – сумма агрегатов от 0,25 до 10 мм (%);

m – агрегаты >0,25 мм (%);

L – агрегаты >10 мм (%).

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется структурой и структурностью почвы.
2. Агрономическое значение структуры почвы.
3. Назовите по форме основные типы структуры. Что называют агрономически ценной структурой почвы.
4. Что называется водопрочностью почвы.
5. Способы улучшения структуры почвы.

Работа 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Физико-механическими свойствами почвы являются твердость, пластичность, липкость, набухаемость, усадка и пр.

Физико-механические свойства называют еще технологическими, так как от них зависит выбор оптимальных условий проведения механической

обработки. Твердость, набухаемость и усадка почвы оказывают большое влияние на условия жизни культурных растений.

Под твердостью почвы понимают ее сопротивление проникновению различных тел, а под **пластичностью** - способность почвы деформироваться без распада на отдельные части при механическом воздействии. **Липкостью** называют способность почвы прилипать к поверхности других тел. **Набухание и усадка** почвы характеризуются изменением ее объема при увлажнении и высушивании.

Эти физико-механические свойства зависят от гранулометрического состава, структурности, содержания гумуса и в значительной мере от состояния увлажнения почвы. В зависимости от степени увлажнения суглинистые и глинистые почвы могут находиться в следующих состояниях: жидкотекучем, пластичном, полутвердом и твердом. При жидкотекучем состоянии может иметь место смыв и оползание почвы со склонов. В пластичном состоянии почва максимально набухает, обладает липкостью, прилипая к сельскохозяйственным машинам и орудиям, при обработке не поддается крошению, при проезде машин в ней образуются глубокие колеи по ходу колес.

Полутвердая почва не липнет и находится в состоянии физической спелости. При этом она хорошо крошится почвообрабатывающими орудиями при обработке на отдельные комки без образования глыб и пыли. Таким образом, **под физической спелостью почвы** понимается состояние оптимального увлажнения для ее обработки.

Обработка почвы в состоянии физической спелости способствует созданию наиболее благоприятного строения пахотного слоя. В результате повышается производительность почвообрабатывающих машин и меньше затрачивается энергии.

Твердая почва, обладающая большой связностью, препятствует появлению всходов семян, росту корневой системы растений. Твердая почва при обработке плохо крошится, образуя глыбы, много пыли и требует больших затрат механической энергии. Границу перехода почвы из одного состояния в другое: жидкотекучего в пластичное, пластичного в полутвердое, полутвердого в твердое - устанавливают по величине ее влажности. Границу перехода почвы из жидкого состояния в пластичное устанавливают определением верхнего предела пластичности или нижней границы текучести почвы. Границу перехода почвы, из пластичного состояния в полутвердое устанавливают определением важности нижнего предела пластичности или границы раскатывания почвы в шнур.

В интервале влажности почвы между верхним и нижним пределами пластичности суглинистые и глинистые почвы находятся в пластичном состоянии. Разница во влажности верхнего и нижнего пределов пластичности называется числом пластичности. Тяжелые по механическому составу почвы имеют большее число пластичности: глины >17, суглинки 17-7, супеси 7-0, песок - 0. Определив число пластичности, можно приблизительно судить о гранулометрическом составе почвы. Границу перехода почвы из полутвер-

дого состояния в твердое устанавливаются определением влажности предела усадки почвы. Предел усадки почвы характеризуется степенью увлажнения, при снижении которого объем почвы перестает уменьшаться и почва переходит из полутвердого состояния в твердое.

При влажности, меньшей предела усадки, когда почва переходит в твердое состояние, и при влажности, большей нижнего предела пластичности, когда почва переходит в пластическое состояние, ее обработка нежелательна.

В спелом, наиболее благоприятном для обработки состоянии почва находится в интервале влажности между пределом усадки и нижнего предела пластичности.

Определение верхней и нижней границы влажности физической спелости почвы имеет очень важное значение, так как позволяет установить оптимальный срок ее обработки.

Верхнюю и нижнюю границы физической спелости почвы, можно определить по ее относительной влажности.

Считают, что нижний предел влажности физической спелости для глинистых почв около 50, суглинистых - 45, супесчаных – 40 % от полной влагоемкости; верхний предел влажности физической спелости для этих почв соответственно составляет около 65, 76, 80 %.

Влажность физической спелости почвы зависит от скорости вспашки. При вспашке на повышенных скоростях почву можно обрабатывать в более увлажненном состоянии.

14.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ

Способность влажной почвы необратимо менять форму без образования трещин непосредственно после приложения нагрузки определенной интенсивности называют *пластичностью почвы*. Она зависит от гранулометрического и химического составов, влажности почвы, содержания органического вещества в ней. Сухие и переувлажненные почвы не обладают пластичностью.

Число пластичности представляет собой разность между влажностью почвы при верхнем и нижнем пределах пластичности. По числу пластичности Аттерберг классифицирует все типы почвы на четыре категории (табл. 24).

Каждая почва характеризуется своим интервалом влажности, при котором проявляется пластичность.

Ход выполнения работы.

Верхним пределом пластичности (нижней границей текучести) называют такое увлажнение, при котором почва из пластичного состояния переходит в текучее.

Таблица 24 – Классификация типов почвы по числу пластичности

Число пластичности	Пластичность почвы	Гранулометрический состав почвы
0	Непластичные	Песок
0-7	Слабопластичные	Супесь
7-17	Пластичные	Суглинок
Более 17	Высокопластичные	Глина

Метод Аттерберга. Берут 40-50 г воздушно-сухой почвы, отбирают из нее корни, растирают в ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Затем 20-30 г подготовленной почвы помещают в чашку и увлажняют ее при тщательном перемешивании до состояния густой пасты. В таком состоянии почву оставляют на 1 сутки, затем переносят ее в специальную чашку и раскладывают слоем 1 см, поверхность почвы разравнивают и разрезают V-образным шпателем на две равные части так, чтобы образовалась щель шириной по дну 1-1,5 мм и на поверхности почвы 2-3 мм. После этого чашку с почвой трижды бросают на стол с высоты 6 см.

Если после трех падений части почвы в чашке начнут слипаться так, что заполняется щель между ними на высоту 1 мм и длину 1,5-2 см, то данное увлажнение соответствует нижнему пределу текучести почвы. Если слияние не наблюдается, то к почве добавляют немного воды и вновь повторяют все операции. При избытке воды слияние почвенной массы наблюдается уже после первого или второго падения. В этом случае в исследуемый образец добавляют немного сухой почвы, тщательно перемешивают и продолжают испытания.

Когда необходимое увлажнение почвы достигнуто, из чашки берут 10-15 г почвы и определяют ее влажность весовым методом.

14.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ПЛАСТИЧНОСТИ

Ход выполнения работы.

Нижним пределом пластичности называют такое состояние увлажнения, при котором образец почвы можно раскатать в жгут диаметром 3 мм без образования в нем разрывов.

После определения верхней границы пластичности почву слегка подсушивают или добавляют в нее немного воздушно-сухой почвы, тщательно перемешивают и скатывают шарик диаметром 1 см. В дальнейшем шарик раскатывают (на стекле или восковой бумаге) в шнур диаметром 3 мм. Если шнур не распадается, то почву вновь собирают в шарик и раскатывают в шнур. Эту операцию повторяют до тех пор, пока почвенный шнур при раскатывании не станет распадаться на кусочки длиной 8-10 мм.

Эти кусочки собирают в стаканчик и определяют влажность почвы, которая и будет соответствовать нижней границе пластичности.

Для определения нижнего предела пластичности используют балансный конус А. М. Васильева, который падает на поверхность почвы с высоты 34 см под действием собственной массы.

Влажность почвы, при которой конус погружается точно на 10 мм, будет соответствовать нижнему пределу пластичности.

Число пластичности (W) определяют как разность между верхним (W_v) и нижним (W_n) пределами пластичности.

Значения верхнего и нижнего пределов пластичности записывают в таблицу 25.

Таблица 25 – Форма записи определения нижнего предела пластичности

Порядок записи	Предел пластичности	
	верхний	нижний
№ сушильного стаканчика		
Вес сушильного стаканчика		
Вес стаканчика с влажной почвой		
Вес стаканчика с сухой почвой		
Вес испарившейся воды		
Вес сухой почвы		
Влажность в % от сухой почвы		
Число пластичности		

Вопросы для самоконтроля.

1. Что называется пластичностью почвы.
2. Какие свойства почвы определяют ее пластичность.
3. Влияние пластичности почвы на качество обработки.

14.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА УСАДКИ

Сжатие почвы при изменении влажности и действии других факторов называют *усадкой почвы*. Она характеризуется линейными и объемными деформациями.

Ход выполнения работы.

Образец измельченной в ступке и просеянной через сито с отверстиями 1 мм воздушно-сухой почвы доводят до влажности, соответствующей верхнему пределу пластичности, и переносят в специальную формочку размером 5 x 3 x 2 см (рис. 3).

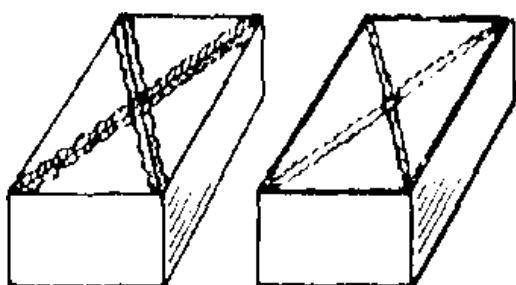


Рис. 3 - Внешний вид формочки для определения усадки почвы

Стенки формочки предварительно смазывают вазелином. Поверхность почвы в формочке выравнивают и прочерчивают по диагонали неглубокие бороздки. После этого почву подсушивают на воздухе до отставания почвы от стенок формочки и затем высушивают до постоянной массы в термостате при температуре 105°C.

Измерив объем почвы до (V_1) и после (V_2) высушивания и длину диагоналей (соответственно D_1 и D_2), линейную (l_y) и объемную (V_y), усадку определяют по формулам:

$$l_y = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100, \quad V_y = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100,$$

Результаты измерений при определении усадки почвы заносят в таблицу 26.

Таблица 26 - Определение усадки почвы

Название почвы или изучаемый вариант	Слой почвы, см	Длина диагоналей, мм		Объем почвы, см ³		Усадка, %	
		D_1	D_2	V_1	V_2	линейная	объемная

Работа 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗООБМЕНА ПОЧВЫ С АТМОСФЕРОЙ

В почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и корневой системы растений происходит поглощение кислорода и выделение углекислоты. Приток атмосферного кислорода и отток углекислоты, образующейся

в результате дыхания микроорганизмов и корней растений, составляет содержание газообмена почвы с атмосферой.

Необходимым условием нормального газообмена является наличие в почве воздухоносных пор ($> 10 - 16 \%$ к объему почвы) и жизнедеятельность микроорганизмов и корней растений, которые поглощают кислород, и выделяют углекислоту, создают постоянную разницу концентрации этих газов почвенного воздуха.

Газообмен почвенного воздуха с атмосферным (аэрация) происходит под действием, главным образом, диффузии газов. На этот процесс влияют также колебания температуры воды и воздуха, изменение атмосферного давления, влажности почвы и ветер.

Об интенсивности газообмена почвенного и атмосферного воздуха и биологической активности почвы судят по количеству выделяющегося из почвы углекислого газа.

Количество выделяющегося из почвы углекислого газа зависит от факторов газообмена, активности микробиологических процессов, жизнедеятельности корневой системы растений и наличия органического вещества в почве.

Наибольшая биологическая активность в почве проявляется при оптимальной влажности, хорошей аэрации, температуре почвы $20 - 30^\circ$.

Поскольку образование диоксида углерода в почве связано с биологическими и биохимическими процессами, протекающими в ней, то количество выделившегося CO_2 может характеризовать не только интенсивность газообмена, но и интенсивность разложения органических веществ в почве, т. е. ее биологическую активность.

Многие из известных методов определения биологической активности почвы по количеству выделившегося CO_2 основаны на адсорбции его растворами щелочей.

Ход выполнения работы.

Метод В. И. Штатнова. Для работы этим методом необходимо иметь сосуды-изоляторы и сосуды для поглощающего раствора. В качестве изоляторов используют металлические колпаки высотой 10-15 см и диаметром открытой части 16 см. Для предохранения от перегрева изоляторы окрашивают снаружи в белый цвет. Сосудами для раствора, поглощающего CO_2 , часто служат чашки Петри.

Работу ведут в такой последовательности. На поверхность почвы с помощью подставки устанавливают сосуд для поглощающего раствора, наливают в него 25 мл 0,1 н. раствора щелочи (КОН или NaOH) и сразу накрывают изолятором, края которого врезают в почву на глубину 1,5-2,0 см или присыпают к ним снаружи небольшой слой почвы (рис. 4). Сосуд со щелочью и изолятор одновременно устанавливают в плоскодонный сосуд с

крепким раствором поваренной соли для холостого (контрольного) определения.

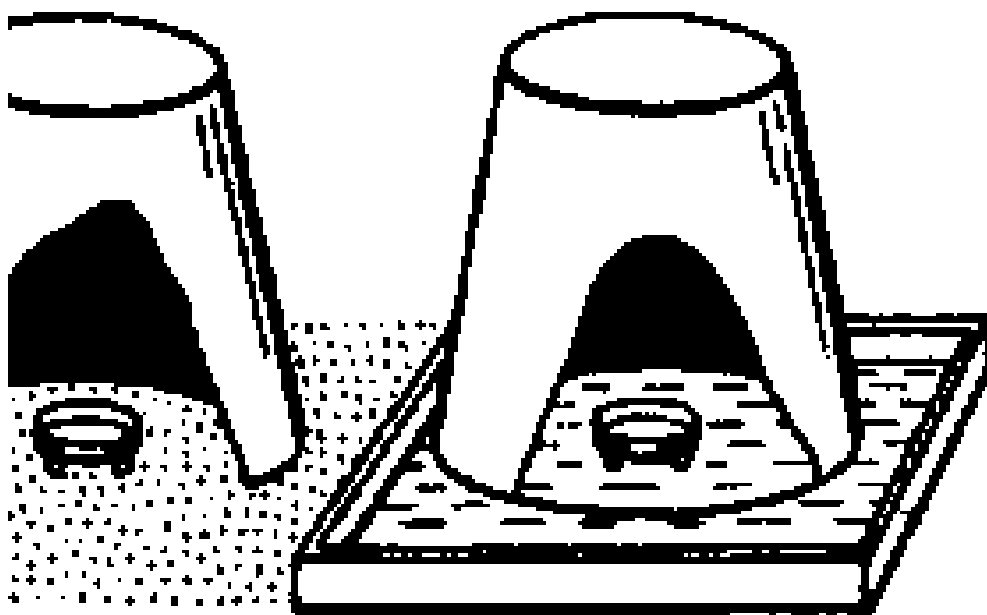


Рис. 4 - Оборудование для определения количества выделяющегося из почвы диоксида углерода по методу В. И. Штатнова

Через 3-5 ч экспозиции изоляторы снимают, в сосуд с раствором поглотителя приливают 1 мл 20%-ного раствора хлорида бария (для связывания поглощенного CO_2), содержимое чашек перемешивают, переносят в колбочки и титруют по фенолфталеину 0,1 н. раствором HCl до исчезновения розовой окраски. Если размеры сосуда-поглотителя позволяют, титрование можно проводить непосредственно в сосудах. Аналогичным образом определяют количество поглощенного CO_2 в контрольном сосуде.

Количество выделившегося диоксида углерода (B_a , $\text{mg CO}_2/\text{m}^2 \text{ ч}$) рассчитывают по формуле:

$$B_a = \frac{(a - b) \times k}{st},$$

где: a - количество 0,1 н. раствора HCl , пошедшей на титрование щелочи при холостом определении, мл;

b - то же в опыте, мл;

k - коэффициент для перевода мл 0,1 н. раствора щелочи в mg CO_2 , равный 2,2;

s - площадь сосуда-изолятора, m^2 ;

t - время экспозиции, ч.

Одновременно с определением биологической активности необходимо установить влажность почвы и ее температуру.

Записи при определении биологической активности почвы по количеству выделившегося CO_2 ведут по форме таблицы 27.

Таблица 27 - Определение газообмена по выделению CO_2

Дата _____

Количество прилитого в сосуд 0,1 н. раствора щелочи _____ мл

Название почвы или изучаемый вариант	Диаметр изолятора, см	Площадь экспозиции, м^2	Время экспозиции, ч	Количество израсходованного 0,1 н. раствора HCl при титровании, мл		Биологическая активность почвы, $\text{мг CO}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$
				контрольное	в опыте	

Вопросы для самоконтроля.

1. С какой целью определяют величину газообмена почвы с атмосферой.
2. От каких факторов зависит величина газообмена почвы с атмосферой.
3. Значение биологической активности почвы в плодородии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении лабораторного цикла работ составляют итоговую таблицу 28, в которую записывают величины основных агрофизических свойств почвы в зависимости от предшественника и приема обработки почвы. При этом студент использует результаты своих лабораторных работ и результаты других студентов.

После заполнения таблицы 28 проводится анализ влияния предшественников и приемов обработки почвы на основные агрофизические свойства: плотность, плотность твердой фазы, общую пористость, структурное состояние, влагоемкость, показатели влажности и др.

По результатам анализа студент формулирует выводы. На основании полученных выводов предлагаются мероприятия по улучшению физических свойств почвы в зависимости от предшественника и приема обработки почвы.

Таблица 28 - Оценка влияния предшественников и приемов обработки на агрофизические свойства почвы

№ п.п.	Предшественник	Прием обработки	Глубина, см	Плотность твердой фазы (d), г/см ³	Плотность почвы (d ₀), г/см ³	Общая пористость (скважность) (Q), %	Структурное состояние (содержание ценных агрегатов 0,25-10 мм), % /оценка		К, коэффициент структурности	Влагоемкость, %		
							результат сухого рассева	водопрочных		капиллярная (W _к)	полная (W _п)	наименьшая (НВ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Окончание таблицы 28 - Оценка влияния предшественников и приемов обработки на агрофизические свойства почвы

Строение пахотного слоя почвы				Влажность почвы, %				Содержание влаги в почве, мм				Дефицит влаги в почве (Двл)	Степень ветроустойчивости почвы
объем твердых частиц почвы (V_T), %	пористость гидратации ($V_{гид}$), %	капиллярная пористость ($V_{кап}$), %	пористость аэрации ($V_{аэр}$), %	полевая (ВП)	гигроскопическая (ГВ)	максимальная гигроскопическая (ГВ)	влажность завядания (ВЗ)	общий (W_o)	недоступный (W_n)	продуктивный ($W_{пр}$)	при наименьшей влагоемкости ($W_{нв}$)		
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27

Вопросы для проверки знаний по земледелию при изучении физических свойств почвы

1. Что понимают под влажностью почвы. Единицы измерения влажности почвы.
2. От чего зависит влажность почвы.
3. Допустимые пределы влажности для оптимального роста и развития растений.
4. Что называется гигроскопической влагой.
5. От чего зависит величина гигроскопической влаги.
6. Для чего необходимо рассчитывать величину гигроскопической влаги в почве.
7. Что называется плотностью почвы, в каких единицах она измеряется.
8. От чего зависит величина плотности почвы.
9. Что такое оптимальная и равновесная плотность почвы.
10. Равновесные и оптимальные показатели плотности почвы для разных полевых культур.
11. Для каких расчетов используется показатель плотности почвы.
12. Приемы регулирования плотности почвы.
13. Что называется влагоемкостью почвы, в каких единицах она измеряется. Понятие капиллярной и полной влагоемкости.
14. От чего зависит величина влагоемкости почвы.
15. С какой целью определяют величину влагоемкости почвы.
16. Приемы регулирования влагоемкости почвы.
17. Что называется максимальной гигроскопичностью почвы.
18. От чего зависит величина максимальной гигроскопичности почвы.
19. С какой целью определяют величину максимальной гигроскопичности почвы.
20. Что называется плотностью твердой фазы почвы, в каких единицах измеряется.
21. От чего зависит величина плотности твердой фазы почвы?
22. Для расчета каких величин используется показатель плотности твердой фазы почвы.
23. Что называется общей пористостью почвы?
24. От чего зависит общая пористость почвы.
25. Оптимальная величина пористости почв для различных сельскохозяйственных культур.
26. Приемы регулирования общей пористости почвы
27. Способ расчета процентного содержания воды и воздуха от общей пористости почвы.
28. Способы выражения влажности почвы.
29. От чего зависит величина влажности почвы.
30. Понятие об общем, продуктивном запасах влаги в почве, влажности завядания, диапазоне активной влаги в почве.

31. Приемы регулирования содержания влаги в почве.
32. Что называют водопроницаемостью почвы.
33. От чего зависит величина водопроницаемости почвы.
34. Приемы регулирования водопроницаемости почвы.
35. Что называется строением пахотного слоя почвы.
36. Назовите показатели оптимального строения пахотного слоя почвы.
37. Способы регулирования строения пахотного слоя почвы.
38. По заданию преподавателя, используя данные таблицы 20 рассчитать запасы влаги в почве.
39. Что называется структурой и структурностью почвы.
40. Агрономическое значение структуры почвы.
41. Назовите основные типы структуры почвы. Что называют агрономически ценной структурой почвы.
42. Что называется водопрочностью структуры почвы.
43. Способы улучшения структуры почвы.
44. Что называется пластичностью почвы.
45. Какие свойства почвы определяют ее пластичность.
46. Влияние пластичности почвы на качество обработки.
47. Что называют липкостью почвы.
48. С какой целью определяют величину газообмена почвы с атмосферой.
49. От каких факторов зависит величина газообмена почвы с атмосферой.
50. Значение биологической активности почвы в плодородии.

Зайцев Александр Михайлович
Горбунова Мария Семеновна

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям для изучения физических, физико-механических, гидрофизических и аэрофизических свойств почв

Методическое пособие

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать 19.05.2014 г.
Тираж 100 экз.

Издательство Иркутского государственного
аграрного университета им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный