

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В двух частях

Часть 2

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений образования, обеспечивающих получение
общего высшего образования по специальностям
6-05-0811-01 Производство продукции растительного происхождения,
6-05-0811-05 Защита растений и карантин,
6-05-0532-03 Землеустройство и кадастры*

Горки
Белорусская государственная
Сельскохозяйственная академия
2025

УДК 631.4(075.8)

ББК 40.3я73

П65

*Рекомендовано методическими комиссиями
землеустроительного факультета 24.03.2025 (протокол № 7);
агротехнологического факультета 25.03.2025 (протокол № 7)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
26.03.2025 (протокол № 8)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. Ф. Валейша*;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Т. Ф. Персикова*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *О. В. Мурзова*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. Д. Курганская*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *М. В. Царёва*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *О. А. Поддубный*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик НАН Беларуси *В. В. Лапа*;
доктор сельскохозяйственных наук, доцент *И. П. Козловская*

Почвоведение. Лабораторный практикум : в 2 ч. Ч. 2 :
П65 учебно-методическое пособие / Е. Ф. Валейша, Т. Ф. Персикова,
О. В. Мурзова [и др.]. – Горки : Беларус. гос. с.-х. акад., 2025. –
138 с.

ISBN 978-985-882-666-6.

Во второй части лабораторного практикума представлены все виды лабораторных занятий, которые необходимо выполнить студентам при изучении водно-физических, химических, физико-химических и физико-механических свойств почвы, используя общепринятые стандартные методы анализа.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальностям 6-05-0811-01 Производство продукции растительного происхождения, 6-05-0811-05 Защита растений и карантин, 6-05-0532-03 Землеустройство и кадастры.

УДК 631.4(075.8)

ББК 40.3я73

ISBN 978-985-882-666-6 (ч. 2)

ISBN 978-985-882-604-8

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Почвоведение – важнейшая естественно-историческая наука, основным объектом изучения которой являются почвы.

Почва – относительно маломощный, по сравнению с отложениями горных пород, поверхностный плодородный слой суши, который участвует во всех важнейших процессах трансформации и миграции веществ, протекающих в биосфере. На ней развивается основная часть зеленых растений Земли, которые являются важнейшим источником пищевого и биоэнергетического материала для всех обитателей планеты. Зеленые растения поддерживают определенный уровень содержания кислорода в атмосфере. В почве разлагается вплоть до газообразных продуктов огромное количество растительного опада, и таким образом поддерживается постоянный состав атмосферы, плодородие и естественная эволюция почвы.

Знание характера и направления процессов, влияющих на эти свойства, позволит студентам научиться давать оценку различным водно-физическим и физико-механическим свойствам почвы, регулировать их с целью повышения плодородия почвы и получения высоких стабильных урожаев сельскохозяйственных культур.

В данном лабораторном практикуме представлены все виды лабораторных занятий, которые необходимо выполнить студентам при изучении водно-физических, химических, физико-химических и физико-механических свойств почвы, используя общепринятые стандартные методы анализа.

Выполнению лабораторных анализов предшествует подготовка почвы к анализу.

1. МЕТОДИКА ОТБОРА ПОЧВЕННОГО ОБРАЗЦА, ПОДГОТОВКА ПОЧВЫ К ЛАБОРАТОРНОМУ АНАЛИЗУ И ВЫБОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА

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

Образцы отбирают из каждого генетического горизонта. Для этого в средней части горизонта ножом вырезают прямоугольный монолит почвы с длиной ребра примерно 10 см и помещают на лист плотной бумаги. Почвенные образцы берут последовательно, снизу вверх, начиная с горизонта С. Масса образца обычно равна 1 кг. Каждый образец снабжают этикеткой, в которой записывается номер разреза, генетический горизонт, глубина взятия, дата, адрес, фамилия исследователя. После этого отобранные образцы тщательно заворачиваются в бумагу и доставляются в лабораторию.

Большинство агрохимических анализов проводят с образцами воздушно-сухой почвы, измельченной и просеянной через сито с отверстиями 1 мм. Для определения содержания гумуса требуется более тонкий помол почвы. После измельчения ее просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Для определения структуры – образцы воздушно-сухой почвы используют без предварительного измельчения.

Для некоторых видов анализов нужны образцы почвы, только что взятые в поле без предварительного просушивания (например, для определения нитратов).

Торф, тепличный грунт, лесную подстилку из-за большой влажности высушивают в хорошо вентилируемом помещении несколько суток, затем измельчают в ступках, размалывают на мельнице и просеивают через сито 2–3 мм. Затем отбирают средний образец массой 50–200 г, измельчают и просеивают через сито в 1 мм. Растирают и просеивают до тех пор, пока не будет просеян весь образец, который затем хранится так же, как и минеральная почва.

Общая подготовка почвы к анализу. Доставленный в лабораторию образец почвы 0,50–1,00 кг рассыпают тонким слоем на листе бумаги, удаляют корни и другие растительные остатки. Прикрыв сверху другим листом бумаги, доводят до воздушно-сухого состояния в сухом проветриваемом, не содержащем в воздухе паров кислот и газов помещении, избегая попадания прямых солнечных лучей.

Сушка. Для рационализации работ по подготовке почвенных об-

разцов к анализу целесообразно отбирать почвенные образцы в поле в маркированные коробки, в которых почва доставляется затем в лабораторию, в них же сушится, возвращается в те же коробки после размола и в них же складывается. Это исключает операции по пересыпке образцов из одной тары в другую и необходимость дополнительной ее маркировки, что не только требует значительных затрат рабочего времени, но и часто служит источником ошибок. Высушивание почвы необходимо для обеспечения последующих операций по размолу и просеиванию. Кроме того, сушка служит средством фиксации образцов. Она прекращает деятельность микроорганизмов, вызывающих значительные изменения агрохимических свойств почвы, которые могут происходить при хранении ее во влажном состоянии. Во время сушки образцы должны находиться в открытых коробках для доступа воздуха к почве. Для ускорения процесса сушку могут проводить при усиленной принудительной приточно-отточной вентиляции и подогреве приточного воздуха до 40 °С с помощью калориферных устройств. В воздухе сушильных помещений должны отсутствовать пары аммиака и кислот.

Размол и просеивание. Размол необходим для усреднения почвенного образца и обеспечения возможности взятия представительной навески для анализа. Большая часть агрохимических анализов требует измельчения почвы до частиц размером не более 1 мм. При этом пробу почвы для определения физических, химических и физико-механических свойств измельчают в фарфоровой ступке резиновым пестиком и просеивают через сито с круглыми отверстиями диаметром 1 мм.

Из размолотого образца могут отбираться пробы для анализов, требующих более тонкого помола почвы. Так, отбирают пробы почв весом около 5 г для определения гумуса. Пробу почвы для определения гумуса целиком измельчают в фарфоровой или агатовой ступке и просеивают через плетеное проволочное сито с ячейками размером 0,25 мм. Подготовленные для анализов почвенные образцы помещают в маркированные картонные или пластмассовые коробки.

Воздушно-сухая почва хранится в коробках или банках с притертой пробкой. Часть ее оставляют в неизменном состоянии, а другую часть растирают в ступке деревянным пестиком или с резиновым наконечником, отобрав из разных мест пробы 45–50 г почвы. Растертую пробу просеивают через сито с размером ячейки 1 мм. Почву, не прошедшую через сито, вновь измельчают в ступке и просеивают через то же сито. Растирание и просеивание продолжается до тех пор, пока на сите не

останутся каменные частички крупнее 1 мм (почвенный скелет). Их взвешивают и вычисляют процент от общей массы почвы. Просеянную почву (мелкозем) помещают в коробку или банку с притертой пробкой отдельно от не растертой почвы или заворачивают в бумагу и помещают в ту же банку или коробку. Отдельно хранят скелет почвы, что необходимо при изучении гранулометрического и петрографического состава почвы.

Для большинства анализов используют мелкозем, то есть почву, просеянную через сито в 1 мм.

Лабораторные методы анализа включают весовые, объемные, потенциометрические и большую группу оптических методов. Эти методы анализа вещества связаны с измерениями как преобразованного взаимодействием с ним светового потока, так и собственного излучения, вызванного различными способами возбуждения. К оптическим методам анализа относятся также комплексные физико-химические методы, начальная стадия которых основывается на определенных для каждого определяемого компонента химических реакциях, а завершающая – на использовании одного из оптических методов анализа – чаще всего фотометрического с использованием фотоэлектрических колориметров и светوفотометров различных марок.

Интенсивность излучения линий спектра элемента можно определять пламенно-фотометрическим методом (K, Na, Ca, Mg, Mn) и атомно-адсорбционным (Si, Fe, Al, P, C, Mg, Na, K, Mn, S, Cl, N, Zn, Cu, Co, Ni). Из этих методов наибольшее распространение имеет пламенно-фотометрический метод. В лабораториях выбирают наиболее доступные и достоверные методы, отвечающие требованиям отраслевых стандартов. Подробная методика работы на различных приборах приводится в прилагаемых к ним инструкциях.

В большинстве случаев анализы проводятся с воздушно-сухой почвой, которая содержит прочно удерживаемую на поверхности твердых частиц парообразную воду, которая называется гигроскопической. Ее величина зависит от содержания гумуса, гранулометрического состава, она находится в состоянии равновесия с парообразной влагой атмосферного воздуха. Для получения сравнимых результатов необходимо производить вычисления на сухую почву, т. е. не содержащую гигроскопической влаги. Поэтому, как правило, анализы сопровождаются определением гигроскопической и максимальной гигроскопической влажности. Показатель максимальной гигроскопической влажности почвы необходим для расчета влажности завядания растений.

2. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

2.1. Минералогический состав почв

Почва – многофазная полидисперсная система, состоящая из 4 фаз: твердой (минеральные и органические частицы);

– жидкой (почвенный раствор);

– газообразной (почвенный воздух);

– живой, или биологической (почвенные организмы).

Минеральная часть составляет 80–90 % и более от массы почвы и представлена совокупностью всех минералов, входящих в ее состав.

В состав почв входят первичные и вторичные минералы.

Первичные минералы образуются при застывании магмы в земной коре и остаются на месте своего образования. Они слагают магматические горные породы, а в почвах являются остаточным продуктом выветривания и представлены частицами размером более 0,001 мм. В большинстве случаев первичные минералы преобладают над вторичными. Наиболее распространенными первичными минералами в породах и почвах являются кварц, полевой шпат, амфиболы и пироксены (роговая обманка и авгит). Они составляют основную массу магматических пород (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Распространение первичных минералов в породах

Минералы	Содержание, %
Полевые шпаты	59,5
Кварц	12,0
Амфиболы (роговая обманка) и пироксены (авгит)	16,8
Слюды (мусковит, биотит)	3,8
Прочие	7,9

В рыхлых породах больше всего кварца – 40–60 %, затем полевого шпата – около 20 % (особенно ортоклаза). Кварц и полевые шпаты сосредоточены в основном в песчаных и пылеватых частицах. В целом первичные минералы составляют 90–100 % от массы мелкоземов песков, 50–80 % суглинков, 10–12 % глин. Несмотря на то, что первичные минералы не обладают, в отличие от вторичных (в частности, глинистых), поглотительной способностью, их влияние на формирование других свойств почвы велико:

– от их количества зависят агрофизические свойства почвы;

– они являются резервными источниками питания растений;

– из них образуются вторичные минералы.

Вторичные минералы образуются из первичных в результате выветривания и переотложения продуктов выветривания, химических и биохимических реакций и жизнедеятельности организмов. Они представлены частицами менее 0,001 мм. К ним относятся глинистые минералы, минералы простых солей, минералы оксидов и гидроксидов, смешанослойные минералы.

Глинистые минералы составляют основную массу вторичных минералов и представлены мелкими частицами размером менее 0,001 мм. К распространенным глинистым минералам относятся минералы группы монтмориллонита, каолинита, гидрослюда, хлоритов. Глинистые минералы обладают следующими общими свойствами:

- слоистое кристаллическое строение;
- высокая дисперсность;
- поглощательная способность;
- наличие химически связанной воды.

Однако каждая группа вышеперечисленных минералов имеет свои специфические свойства и значение в плодородии.

Минералы монтмориллонитовой группы обладают следующими свойствами:

- подвижная трехслойная кристаллическая решетка;
- наиболее высокая дисперсность;
- высокая поглощательная способность (ЕКО равна 80–120 мэкв/100 г почвы);
- водно-физические свойства данной группы малоблагоприятны;
- содержат большое количество химически связанной и гигроскопической воды, недоступной для растений;
- максимальная гигроскопичность до 30 %;
- во влажном состоянии сильно набухают и увеличиваются в объеме в 20 раз, а при высыхании проседают, уплотняются и растрескиваются;
- обладают значительной липкостью, слабой водопроницаемостью и образуют почвенную корку.

В сочетании с гуминовыми кислотами образуют водопрочные агрегаты. Поэтому на фоне высокого содержания гумуса в почве, богатой минералами монтмориллонитовой группы, значительно улучшаются и водно-химические свойства.

Минералы каолинитовой группы обладают следующими свойствами:

- жесткая неподвижная двухслойная кристаллическая решетка;
- не набухают;

- содержат мало щелочноземельных оснований;
- невысокая поглотительная способность (ЕКО до 20 мэкв/100 г почвы).

Среди глинистых минералов в почвах часто встречаются хлориты. Они представляют собой алюмосиликаты, содержащие Fe, Mg, Ni, Cr.

Минералы простых солей образуются при выветривании первичных минералов, а также в результате почвообразовательного процесса. К таким солям относятся: кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, галит NaCl , фосфаты, нитраты и др.

Эти минералы способны накапливаться в почвах в больших количествах в условиях сухого климата и определяют засоленность почв.

Минералы оксидов и гидроксидов – это гидроксиды кремния, алюминия, железа, марганца, образующиеся в аморфной форме при выветривании первичных минералов в виде гидратированных высокомолекулярных гелей и постепенно подвергающиеся дегидратации и кристаллизации с образованием оксидов и гидроксидов кристаллической структуры. К ним относятся: опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, пиролюзит MnO_2 , бемит $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$, гиббсит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, гематит Fe_2O_3 , гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и др.

Эти минералы встречаются в небольших количествах во всех почвах. Гетита и гиббсита много в ферралитных почвах.

Гидроксиды Al и Fe способствуют оструктурированию почвы, поглощают фосфат-ионы из почвенного раствора и делают фосфор малодоступным растениям.

Минералы группы гидрослюд (гидромусковит, гидробиотит и др.) образуются в основном из слюд и полевых шпатов. Широко распространены в почвах. Структура их подобна монтмориллониту. Они обладают следующими свойствами:

- жесткая неподвижная трехслойная кристаллическая решетка;
- не набухают;
- являются важным источником калия для растений (содержат K_2O 6–8 %);
- средняя поглотительная способность (ЕКО до 40–60 мэкв/100 г почвы, у вермикулита ЕКО = 100 мэкв/100 г почвы).

Почва наследует минеральный состав почвообразующей породы. В дальнейшем почвообразование вызывает передвижение, разрушение, синтез минералов, но существенно не меняет минералогический состав почвы.

2.2. Химический состав почв

Почва по своему химическому составу отличается от исходных почвообразующих пород.

Содержание отдельных химических элементов в породе и почве колеблется в широких пределах (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Химический состав почв и пород

Химический элемент	Почвообразующие породы (литосфера)	Почва
O	47,2	49
Si	26,7	33
Al	8,8	7,13
Fe	5,1	3,8
Ca	3,6	1,37
Na	2,64	0,63
K	2,6	1,36
Mg	2,1	0,6
H	0,15	–
C	0,1	2
P	0,08	0,09
N	0,01	0,1

Литосфера состоит почти наполовину из O₂, более чем на четверть из кремния, а также из Al, Fe, Ca, Na, K, Mg. Все эти 8 элементов составляют более 99 % от массы литосферы, а такие важные элементы питания растений, как N, C, S, P занимают десятые и сотые доли процентов. Еще меньшее содержание в породах и почвах микроэлементов.

Почва имеет сходство с литосферой по содержанию O₂, Si, Al и Fe. Однако в почве в 20 раз больше C и в 10 раз N, так как накопление этих элементов связано с жизнедеятельностью организмов.

Химический состав почв постоянно изменяется в соответствии с направленностью процессов почвообразования.

Химические элементы находятся в почвах в различных соединениях. При недостатке в почве хотя бы одного из необходимых растениям элементов урожай сельскохозяйственных культур снижается, а иногда и приводит к гибели растений, причем нельзя какой-либо элемент заменить другим.

Элементы, которые растения потребляют в большом количестве, называются **макроэлементами**. К ним относятся: азот (N), фосфор (P), калий (K), кальций (Ca), магний (Mg), натрий (Na).

Элементы, которые растения потребляют в незначительном количестве, называются **микроэлементами**. К ним относятся: бор (Bo), медь (Cu), йод (I), марганец (Mn), молибден (Mo), кобальт (Co), цинк (Zn), фтор (F).

Азот входит в состав всех белковых веществ, содержится в хлорофилле, нуклеиновых кислотах, фосфатидах и многих других органических веществах. Основная масса азота в почве сосредоточена в органическом веществе и находится в полной зависимости от содержания в почве органического вещества, прежде всего гумуса.

Азот доступен растениям главным образом в форме нитратов, нитритов и аммония. Аммонийный и нитратный азот – основные формы азотных соединений, которыми питаются растения.

Фосфор входит в состав многих органических соединений, которые представлены хитином, нуклеиновыми кислотами, фосфатидами, сахарофосфатидами и др. Кроме органических соединений, фосфор в почве находится в составе минералов: апатита, фосфорита, вивианита.

Апатит является первоисточником всех почвенных соединений фосфора и составляет 90 % фосфора в земной коре.

Калий входит в состав кристаллической решетки первичных и вторичных минералов в малодоступных для растений формах. Кроме этого, калий содержится в поглощенном состоянии (обменный и необменный калий) и в форме простых солей. Основным источником калия для растений является обменный калий. Необменный калий труднодоступен для растений.

Кальций и магний в почве находятся в кристаллической решетке минералов, в обменно-поглощенном состоянии и в форме простых солей (хлоридов, нитратов, карбонатов, сульфатов, и фосфатов).

Кальций среди обменных катионов занимает первое место, магний – второе, их ионы преобладают в почвенном растворе.

Сера находится в почве в форме сульфатов, сульфидов и в составе органического вещества. Основная доступная растениям форма – сульфат-ион.

Обычно в почвах содержится достаточное количество сульфатов для удовлетворения потребностей растений в сере, но некоторые сельскохозяйственные культуры требуют повышенного ее содержания (капустные).

Микроэлементы содержатся в небольших количествах, но играют важную роль в жизни растений, человека и животных. Участвуют в углеводном и азотном обменах, окислительно-восстановительных процессах, входят в состав ферментов, гормонов, витаминов, повышая устойчивость к болезням и неблагоприятным внешним условиям.

Количество микроэлементов в почвах определяется их содержанием в исходной почвообразующей породе.

В процессе почвообразования происходит перераспределение микроэлементов, вследствие чего они накапливаются или вымываются из верхних горизонтов. Количество микроэлементов может увеличиваться за счет внесения удобрений, техногенных загрязнений и т. п.

Доступность микроэлементов для растений определяется содержанием их в почвенном растворе в ионно-обменном состоянии. Зависит доступность от реакции среды, наличия органического вещества, окислительно-восстановительных условий, биологической активности почвы. При кислой реакции увеличивается подвижность Zn, Cu, Mn, Co и уменьшается подвижность Mo. В кислой и щелочной среде подвижны B, I, F.

Количество микроэлементов в почве определяется содержанием их в почвообразующей породе и влиянием почвообразующего процесса на их дальнейшее перераспределение. При активном гумусово-аккумулятивном процессе они накапливаются в верхней части профиля, а при интенсивном развитии подзолистого процесса верхние горизонты могут обедняться микроэлементами.

2.3. Радиоактивность почв

Радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радиоактивных элементов. Различают естественную и искусственную радиоактивность. **Естественная радиоактивность** вызывается естественными радиоактивными элементами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах или почвообразующих элементах. Естественные радиоактивные элементы подразделяются на 3 группы:

- радиоактивные элементы, все изотопы которых радиоактивны: уран (^{238}U , ^{235}U), радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th) и актиний (^{223}Ac , ^{227}Ac , ^{228}Ac);

- группа радиоактивных изотопов обычных элементов, обладающих радиоактивными свойствами: калий (^{40}K), кальций (^{40}Ca), рубидий (^{87}Rb), цирконий (^{96}Zr) и др. Основное значение имеет калий (^{40}K), обуславливающий наибольшую естественную радиоактивность;

- радиоактивные изотопы, образующиеся в атмосфере под действием космических лучей: тритий (^3H), бериллий (^7Be , ^{10}Be) и углерод (^{14}C).

Все естественные радиоактивные элементы – в основном долгоживущие изотопы с большим периодом полураспада (10^8 – 10^{16}). Валовое

содержание естественных радиоактивных изотопов зависит от почвообразующих пород.

Почвы, сформировавшиеся на кислых магматических породах, содержат радиоактивных изотопов больше, чем сформировавшиеся на основных и ультраосновных породах. По профилю они распределяются относительно равномерно, в почве находятся в основном в прочно связанной форме. Тяжелые почвы (глинистые, тяжелосуглинистые) содержат больше радиоактивных элементов, чем легкие.

Искусственная радиоактивность обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате ядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности или в результате аварий на атомных предприятиях. Образующиеся таким путем радиоактивные изотопы легко переносятся на значительные расстояния воздушными и водными потоками и, выпадая, приводят к радиоактивному загрязнению местности.

Наиболее опасными являются цезий (^{137}Cs), стронций (^{90}Sr), поскольку они обуславливают искусственную радиоактивность и характеризуются периодом полураспада: цезий (^{137}Cs) – 30,3 года; стронций (^{90}Sr) – 29 лет. Они обладают высокой энергией излучения и активно включаются в биологический круговорот. Основное количество этих изотопов закрепляется в верхнем слое почвы (5–9 см), причем почвы с высоким содержанием гумуса, богатые илистой фракцией и глинистыми минералами, поглощают радиоактивные изотопы лучше.

По своим свойствам стронций близок к кальцию, а цезий к калию. Поэтому поведение этих изотопов близко к поведению указанных химических элементов, значит, часть стронция и цезия закрепляется в почве по типу обменного поглощения, миграция их в почве зависит от прочности связи с почвой, в легких почвах она выражена больше, чем в тяжелых.

3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

3.1. Размеры, строение, свойства и классификация механических элементов

Механические элементы могут быть самой разнообразной величины: от десятков сантиметров до долей микрона. Элементарные частицы, близкие по размерам и свойствам, объединяются в группы, фракции, на основе чего производится классификация механических элементов. В настоящее время принята детальная классификация В. Р. Вильямса и А. Н. Сабинина, дополненная Н. А. Качинским (1965) (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Классификация механических элементов почвы
(по В. Р. Вильямса и А. Н. Сабинина, дополненная Н. А. Качинским (1965))

Фракции	Диаметр частиц, мм
1. Камни	>3
2. Гравий	3–1
3. Песок: крупный средний мелкий	1–0,5 0,5–0,25 0,25–0,05
4. Пыль: крупная средняя мелкая	0,05–0,01 0,01–0,005 0,005–0,001
5. Ил: грубый тонкий	0,001–0,0005 0,0005–0,0001
6. Коллоиды	<0,0001

Частицы размером более 1 мм называют **почвенным скелетом**, или **крупноземом**, а частицы размером менее 1 мм – **мелкоземом**.

Сумму всех частиц размером меньше 0,01 мм принято называть **физической глиной**, а крупнее 0,01 мм – **физическим песком**. Фракцию крупной пыли (0,05–0,01 мм) называют иногда лессовидной, иногда лессовой, так как она составляет основную массу частиц в лессах.

Рассмотрим характерные свойства фракций.

Частицы размером более 1 мм называют **почвенным скелетом**, или **крупноземом**, а частицы размером менее 1 мм – **мелкоземом**.

Сумму всех частиц размером меньше 0,01 мм принято называть **физической глиной**, а крупнее 0,01 мм – **физическим песком**. Фракцию крупной пыли (0,05–0,01 мм) называют иногда лессовидной, иногда лессовой, так как она составляет основную массу частиц в лессах.

Рассмотрим характерные свойства фракций (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Классификация почв по каменности (по Н. А. Качинскому)

Частицы размером >3 мм, %	Степень каменности	Тип каменности
<0,5	Некаменистая	Устанавливается по характеру скелетной части
0,5–5	Слабокаменистая	То же
5–10	Среднекаменистая	Может быть валунный, галечниковый, щебеночный
>10	Сильнокаменистая	То же

Камни – это обломки горных пород. Наличие их в почве затрудняет ее обработку и ускоряет износ сельскохозяйственной техники, что вызывает необходимость их удаления на средне- и сильнокаменистых почвах, где содержание камней превышает 5 %.

На территории Беларуси преобладает валунный тип каменистости.

Гравий (3–1 мм) – это обломки первичных минералов. Его содержание обуславливает неблагоприятные водно-физические свойства: провальную водопроницаемость при низкой влагоемкости, отсутствие водоподъемной способности.

Песок (1–0,05мм) состоит из более мелких обломков первичных минералов (в основном кварца и полевого шпата), но отличается от гравия некоторой влагоемкостью. Если она достигает 10 %, то такие пески пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, а для лесных культур она должна быть не менее 3–5 %.

Пыль крупная (0,01–0,05 мм) по составу и свойствам мало отличается от мелкого песка, но в ней уже наряду с первичными встречаются и вторичные минералы. При этом водные свойства несколько лучше песка.

Во фракциях **пыли средней** (0,01–0,005 мм) и **мелкой** (0,001–0,005 мм) по сравнению с крупной пылью меньше кварца и полевых шпатов, особенно в мелкой пыли. В мелкой пыли больше слюды, роговой обманки, для нее характерно наличие вторичных минералов и гумусовых веществ. Частицы средней пыли практически не участвуют в структурообразовании, а частицы мелкой пыли способны к коагуляции и структурообразованию. Влагоемкость и водоподъемная способность высокие; водопроницаемость низкая.

Ил (менее 0,001 мм) состоит преимущественно из вторичных минералов с небольшим количеством первичных в виде кварца и полевого шпата. В частицах этого размера, в особенности в коллоидах (менее 0,0001 мм), при преобладании глинистых минералов и наличии органических и органоминеральных частиц хорошо выражены поглотельная способность и способность к образованию водопрочных агрономических ценных агрегатов размером от 0,25 до 10 мм. Они улучшают водо- и воздухопроницаемость, в то время как илистая фракция при высокой влагоемкости создает неблагоприятные физические свойства.

Различия в свойствах механических элементов обуславливают важнейшие различия в свойствах физического песка и физической глины.

С уменьшением размера частиц изменяются физико-механические свойства почв и меняется степень легкости или тяжести их обработки сельскохозяйственными орудиями. По сумме этих свойств почвы делят на легкие (пески, супеси), средние (суглинки), тяжелые (глины) (табл. 3.3).

Таблица 3.3. **Важнейшие различия в свойствах физической глины и физического песка**

Свойства	Физическая глина (частицы <0,01 мм)	Физический песок (частицы >0,01 мм)
Пористость	Высокая (60–70 %)	Умеренная (до 50 %)
Связность	В сухом состоянии высокая	В сухом состоянии низкая
Водопроницаемость	Очень низкая	Очень высокая
Водоподъемная способность	Медленная, на большую высоту	Очень быстрая, на малую высоту
Влагоемкость	Высокая	Не высокая
Содержание SiO ₂	40–50 %	75–95 %
Содержание R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	30–40 %	5–20 %
Поглотительная способность	Высокая	Невысокая
Минералы	Главным образом вторичные	Главным образом первичные
Содержание питательных веществ	Значительное	Малое
Содержание гумуса	Высокое	Небольшое
Содержание микроэлементов	Высокое	Небольшое
Тепловой режим	Холодный	Теплый
Механическая обработка	Тяжелая	Легкая
Уровень естественного плодородия	Потенциально высокий	Низкий

С уменьшением размера фракций изменяются и химические свойства, так как уменьшается содержание кремнезема (SiO₂), увеличивается сумма полуторных оксидов алюминия и железа, повышается содержание макро- и микроэлементов.

3.2. Классификация почв по гранулометрическому составу

Гранулометрическим составом называют *совокупность механических (гранулометрических элементов)* разного размера, находящихся в почве в разных количествах и соотношениях.

Классификация по гранулометрическому составу проводится объединением пород и почв в несколько групп с характерными для них физическими и химическими свойствами.

В настоящее время для почвенно-географических и почвенно-агрономических исследований используется классификация почв по Н. А. Качинскому, в основу которой положено соотношение между физической глиной и физическим песком (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Классификация почв по гранулометрическому составу Н. А. Качинского для почв подзолистого типа почвообразования (1965)

Основное название поч- вы	Содержание, %	
	физической глины	физического песка
Песок: рыхлый	0–5	100–95
связный	5–10	95–90
Супесь*: рыхлая	10–15	90–85
связная	15–20	85–80
Суглинок: легкий	20–30	80–70
средний	30–40	70–60
тяжелый	40–50	60–50
Глина: легкая	50–65	50–35
средняя	65–80	35–20
тяжелая	>80	<20

*Для почв Беларуси.

При более детальной характеристике предложено дополнительное введение преобладающей фракции: почва гравелистая (преобладает фракция 3–1 мм), песчаная (1–0,05 мм), крупно-пылеватая (0,05–0,01 мм), пылеватая (0,01–0,001 мм), иловатая (менее 0,001 мм).

В зависимости от преобладания той или иной фракции, к основному названию почвы, указанному в табл. 3.4, принято добавлять название первых двух преобладающих. Например, дерново-подзолистая почва содержит: физической глины – 28,1 %, песка (1–0,05 мм) – 37, крупной пыли (0,05–0,01 мм) – 34,9, пылеватой (сумма средней и мелкой пыли: 0,01–0,005 + 0,005–0,001 мм) – 16 и ила (менее 0,001 мм) – 12,1 %. В этой почве преобладающая фракция – песок, на втором месте – крупная пыль, на третьем и четвертом – пыль и ил. Такая почва по гранулометрическому составу называется легким крупно-пылевато-песчаным суглинком, так как преобладающая фракция ставится на последнем месте, а на предпоследнем – фракция, занимающая второе место.

При более кратком определении часто оттеняется только какая-либо одна фракция. Так, суглинки могут быть пылеватые и песчаные, супеси – пылеватые, песчаные и гравелистые, пески – крупно-, средне- и мелкозернистые (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Детальная классификация с учетом преобладающих фракций

Содержание физической глины	Основное название почвы	Дополнительное название по преобладающим фракциям
0–5	Песок рыхлый	Гравелисто-песчаный, гравелистый средне-зернистый
5–10	Песок связный	Крупно-пылевато-песчаный, песчано-крупно-пылеватый, иловато-песчаный
10–15	Супесь рыхлая	Крупно-пылевато-гравелистая, пылевато-песчаная
15–20	Супесь связная	Песчано-пылеватая, крупно-пылеватая
20–30	Суглинок легкий	иловато-песчаный, пылевато-песчаный, гравелисто-песчаный
30–40	Суглинок средний	Пылевато-иловатый, иловато-пылеватый, крупно-пылеватый
40–50	Суглинок тяжелый	Песчано-иловатый, иловато-крупно-пылеватый, иловато-песчаный, пылеватый
50–60	Глина легкая	Пылеватая, иловато-песчаная, крупно-пылеватая
60–70	Глина легкая	Пылевато-иловатая, иловато-пылеватая, иловато-крупно-пылеватая, иловатая
70–80	Глина тяжелая	Пылевато-иловатая, иловато-пылеватая, пылеватая

3.3. Значение гранулометрического состава почв

Гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик почвы и имеет большое агрономическое значение. От него зависят все свойства и режимы: тепловой, водный, воздушный, все физические и физико-механические свойства.

Песчаные и супесчаные почвы хорошо водопроницаемы, они более «теплые», так как быстро оттаивают и прогреваются, но они бесструктурны и бедны гумусом и зольными элементами, плохо удерживают воду. Глинистые почвы, наоборот, влагоемки, медленно прогреваются, характеризуются недостаточной аэрацией, но они богаты гумусом, элементами питания, имеют высокую поглощательную способность и буферность.

В зависимости от гранулометрического состава меняются сроки начала полевых работ и условия обработки, структура посевов, нормы удобрений. Почвы песчаные и суглинистые легко поддаются обработке, поэтому их называют **легкими**. Тяжелосуглинистые и глинистые почвы отличаются от них более высокой связностью, их обработка требует больших энергетических затрат, поэтому их принято называть

тяжелыми. Такие почвы обладают неблагоприятными физическими и физико-механическими свойствами. Они имеют слабую водопроницаемость, легко заплывают, образуют корку, имеют большую плотность и липкость.

В условиях Беларуси лучшими являются легкосуглинистые почвы, в черноземной зоне – средне- и тяжелосуглинистые, которые способны создавать хороший запас влаги. Из бесструктурных почв лучшими являются среднесуглинистые, так как песчаные имеют недостаток влаги, а тяжелые заплывают.

Сельскохозяйственные культуры в силу физиологических особенностей для оптимального развития нуждаются в почвах определенного гранулометрического состава.

3.4. Методы определения гранулометрического состава почв

Существуют полевые и лабораторные методы определения гранулометрического состава почв.

3.4.1. Полевые методы определения гранулометрического состава почв

В полевых условиях определяют гранулометрический состав почв приближенно, по внешним признакам и на ощупь. Зная эти признаки и имея соответствующий навык, можно быстро и с достаточной точностью определить гранулометрический состав в полевых условиях.

Полевые методы делятся на сухой и мокрый.

Сухой метод.

Ход работы. Сухой комочек или щепотку мелкозема почвы испытывают на ощупь, кладут на ладонь и тщательно растирают пальцами. Гранулометрический состав почвы определяют по ощущению при растирании, состоянию сухой почвы, количеству песка (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Органолептические признаки почвы

Название почвы	Состояние сухого образца	Ощущение при растирании сухого образца
1	2	3
Песок	Сыпучее	Состоит почти полностью из песка
Супесь	Комочки слабые, легко раздавливаются	Преобладают песчаные частицы. Мелкие частицы являются примесью

1	2	3
Легкий суглинок	Комочки разрушаются с небольшим усилием	Преобладают песчаные частицы. Глинистых частиц 20–30 %
Средний суглинок	Структурные отдельно-сти разрушаются с трудом, намечается угловатость их формы	Песчаные частицы хорошо различимы. Глинистых частиц около половины
Тяжелый суглинок	Агрегаты плотные, угловатые	Песчаных частиц почти нет. Преобладают глинистые частицы
Глины	Агрегаты очень плотные, угловатые	Тонкая однородная масса, песчаных частиц нет

Результаты определения гранулометрического состава полевым сухим методом заносят в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Результаты определения гранулометрического состава полевым сухим методом

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Диагностические признаки				Название почвы по гранулометрическому составу
	Выраженность структуры	Связность	Наличие глины	Наличие песка	

Мокрый метод.

Ход работы. Образец почвы увлажняют и перемешивают до тестообразного состояния. Из подготовленной почвы на ладони скатывают шарик и пробуют раскатать его в шнур толщиной около 3 мм, затем свернуть в кольцо диаметром 2–3 см. В зависимости от гранулометрического состава почвы показатели будут различны.

Признаки поведения образца сырой почвы или породы:

песок: шарик не скатывается;

супесь: шарик скатывается, но раскатать его в шнур не удастся;

суглинок легкий: шарик раскатывается в шнур, но он дробится на части при раскатывании или взятии с ладони;

суглинок средний: шарик раскатывается в цельный, сплошной шнур, а при сворачивании его в кольцо образуются разрывы;

суглинок тяжелый: шарик раскатывается в шнур, а при сворачивании его в кольцо образуются трещины на внешней стороне кольца;

глина: шарик раскатывается в цельный, сплошной шнур, из которого можно сделать кольцо и восьмерку без трещин.

Результаты определения гранулометрического состава полевым мокрым методом записывают в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Результаты определения гранулометрического состава полевым мокрым методом

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Диагностические признаки			Название почвы по гранулометрическому составу
	Скатывание шарика	Образование шнура	Деформация шнура	

3.4.2. Лабораторный метод определения гранулометрического состава почвы (по Н. А. Качинскому в модификации С. И. Долгова и Л. И. Личмановой)

В настоящее время наиболее распространенным лабораторным методом определения гранулометрического состава почвы является пипеточный. Принцип метода основан на зависимости между скоростью падения почвенных частиц в спокойной воде и их диаметром: скорость падения прямо пропорциональна диаметру частиц.

Если взболтать в цилиндре почвенную суспензию, то по мере отстаивания в столбе воды почвенные частицы распределяются в соответствии с их размерами: более мелкие частицы долгое время останутся во взмученном состоянии, а крупные будут оседать на дно. Рассчитав, с какой скоростью падают частицы различного диаметра, можно путем взятия проб через известные промежутки времени и с определенной глубины столба воды определить их содержание.

При расчете принимается во внимание объем пипетки и общий объем воды в цилиндре.

Анализ состоит из двух частей:

- 1) подготовка почвы к анализу;
- 2) разделение почвы на механические элементы и определение весового количества каждой фракции.

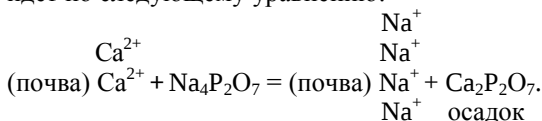
Подготовка почвы к анализу заключается в предварительном разрушении почвенных агрегатов, состоящих из сцементированных между собой частиц.

Если ранее не определялось содержание в почве частиц размером более 1 мм, то проводят их определение. Для этого навеску воздушно-сухой почвы массой 100 г помещают в ступку и растирают резиновым пестиком. Затем просеивают через сито с отверстиями диаметром 1 мм.

Почву, не прошедшую через сито, вновь измельчают и просеивают до тех пор, пока на сите не останется только каменистая часть почвы, которую промывают водой, высушивают и взвешивают. Результат взвешивания показывает процентное содержание скелета (частицы размером более 1,0 мм).

После отделения скелета производят предварительное разрушение почвенных агрегатов, состоящих из сцементированных между собой механических элементов. Для этого навеску почвы массой 20 г в фарфоровой ступке смачивают 4%-ным раствором пирофосфата натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) из расчета 2,5 мл на 5 г почвы и растирают в течение 10 мин пестиком с резиновым наконечником, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ добавляют по частям. (Для карбонатных и тяжелосуглинистых почв расход пирофосфата натрия составляет 5 мл на 5 г почвы, для засоленных – 10 мл). К концу растирания добавляют воду до состояния суспензии, которую затем сливают через сито с отверстиями 0,25 мм в цилиндр на 500 мл.

Реакция взаимодействия между почвой и пирофосфатом натрия идет по следующему уравнению:



Остатки пробы в ступке тщательно смывают струей воды из пипетки на сито. Оставшуюся на сите почву также промывают водой, доводя содержимое цилиндра до метки 500 мл, а частицы размером от 1 до 0,25 мм переносят водой в фарфоровую чашку. После осаждения частиц на дно лишнюю воду сливают, а остальную выпаривают. После выпаривания и досушивания при температуре 105 °С чашку с частицами взвешивают и по массе сухого остатка вычисляют его процентное содержание по отношению к взятой для анализа почвы (20 г).

Из цилиндра берут пробы специальной пипеткой вместимостью 25 мл для определения механических элементов размером менее 0,25 мм. Пробы берут с различной глубины для определенных групп механических элементов в следующей последовательности:

1-я проба (секундная) с глубины 25 см, частицы размером не более 0,05 мм;

2-я проба (минутная) с глубины 10 см, частицы размером не более 0,01 мм;

3-я проба (часовая) с глубины 10 см, частицы размером не более 0,005 мм;

4-я проба (суточная) с глубины 7 см, частицы размером не более 0,001 мм.

В табл. 3.9 указаны сроки взятия проб почвы с плотностью твердой фазы 2,60 г/см³.

Таблица 3.9. Сроки взятия проб

Пробы	Размер частиц, мм	Глубина погружения пипетки, см	Время отстаивания после взбалтывания при разных температурах			
			10°	15°	20°	30°
1-я	≤0,05	25	149 с	130 с	115 с	92 с
2-я	≤0,01	10	24 мин 52 с	21 мин 45 с	19 мин 45 с	15 мин 17 с
3-я	≤0,005	10	1 ч 39 мин 27 с	1 ч 26 мин 59 с	1 ч 16 мин 55 с	1 ч 01 мин 10 с
4-я	≤0,001	7	29 ч 00 мин	25 ч 22 мин	22 ч 26 мин	15 ч 50 мин

Суспензию взмучивают путем многократного взбалтывания специальной мешалкой (10–15 с) и засекают секундомером время отбора пробы через указанные в табл. 3.9 промежутки времени.

Для этого незадолго до истечения срока отстаивания (за 1–2 мин) пипетку погружают в цилиндр на заданную глубину (уровень жидкости в цилиндре должен совпадать с меткой на пипетке) и открывают кран, соединяющий пипетку с всасывающим устройством. Открывать кран надо за 10 с до истечения срока и засасывание суспензии вести быстро, особенно при взятии 1-й пробы, на отстаивание которой требуется 1,5–2,0 мин. После наполнения пипетки кран закрывают, пипетку поднимают вверх и сливают суспензию в заранее взвешенный стаканчик или фарфоровую чашку, повернув кран в положение «слив». Оставшиеся на стенках пипетки частицы смывают водой, аналогичным образом наполняя пипетку. Во избежание потерь при выливании нижний конец пипетки должен быть глубоко погружен в стаканчик. После взятия проб стаканчики ставят. Для выпаривания воды, затем пробу высушивают при температуре 105 °С, охлаждают и взвешивают. Разность в массе пустого стаканчика и стаканчика с пробой указывает на массу частиц в объеме одной пипетки.

Последующие пробы берут в таком же порядке. Перед взятием каждой пробы содержимое цилиндра взбалтывают, цилиндр водой не доливают. Результаты взвешиваний записывают в табл. 3.10.

Таблица 3.10. **Результаты взвешивания проб**

Глубина взятия образца, см	Пробы	Размер частиц, мм	Масса, г		
			пустого стаканчика	стаканчика с пробой	сухой пробы
		1–0,25			
	1-я	≤0,05			
	2-я	≤0,01			
	3-я	≤0,005			
	4-я	≤0,001			

При определении массы последней фракции (частицы размером 0,001 мм) вычитают прибавленное количество пирофосфата натрия в переводе в граммы этой соли.

Если прибавляется 10 мл $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, то в объеме одной пипетки пирофосфата натрия будет 0,1 г. Производим расчет:

в 100 мл 4%-ного раствора – 4 г пирофосфата;

в 10 мл – x , отсюда

$$x = \frac{10 \cdot 4}{100} = 0,4 \text{ г.}$$

Это количество пирофосфата, растворенного в цилиндре объемом 500 мл, а в одной пипетке (25 мл) будет в 40 раз меньше, т. е.

$$\frac{0,4}{40} = 0,01 \text{ г.}$$

Расчет фракций. Полученные в ходе анализа данные взвешивания вычисляются в процентах к первоначальной навеске следующим образом.

1. Содержание частиц размером от 1 до 0,25 мм, оставшихся на сите, находят по формуле:

$$A = \frac{m \cdot 100 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{P},$$

где A – процентное содержание частиц;

m – масса частиц размером 1–0,25 мм, г;

P – навеска воздушно-сухой почвы, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности для пересчета на абсолютно-сухую почву;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы.

2. Процентное содержание частиц в 1-й (секундной) пробе вычисляется по формуле:

$$П_1 = \frac{m \cdot V_{ц} \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{25 \cdot P},$$

где $П_1$ – процентное содержание частиц первой пробы;

m – масса частиц 1-й пробы, г;

$V_{ц}$ – объем цилиндра, мл;

25 – объем одной пипетки, мл;

P – навеска воздушно-сухой почвы, г;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности для пересчета на абсолютно-сухую почву;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы.

Точно таким же образом делается расчет процентного содержания частиц в других пробах. Процентное содержание частиц от 1-й пробы ($П_1$) до последней ($П_4$) должно уменьшаться, так как предыдущая проба включает в себя последующую.

После подсчета процентного содержания всех фракций производится вычисление содержания фракций согласно классификации механических элементов. Поскольку при взятии 1-й пробы в пипетку попадают все частицы, входящие во вторую, третью и четвертую пробы, при взятии второй пробы в пипетку попадают частицы, входящие в третью и четвертую пробы, при взятии третьей пробы в пипетку попадают частицы, входящие в четвертую пробу, то выделяют каждую фракцию посредством вычитания последующей из предыдущей.

Принцип выделения каждой фракции можно представить в виде следующей схемы:

крупный и средний песок (1–0,25 мм) – A ;

мелкий песок (0,25–0,05 мм): $100 - (A + П_1)$;

крупная пыль (0,05–0,01 мм): $П_1 - П_2$;

средняя пыль (0,01–0,005 мм): $П_2 - П_3$;

мелкая пыль (0,005–0,001 мм): $П_3 - П_4$;

ил (менее 0,001 мм) – $П_4$.

$П_1, П_2, П_3, П_4$ – соответственно 1, 2, 3 и 4-я пробы.

Для того, чтобы определить, сколько процентов содержится крупной пыли, надо из 1-й пробы $П_1$ вычесть 2-ю пробу $П_2$. Для определения содержания средней пыли нужно из $П_2$ вычесть $П_3$, мелкой пыли – из $П_3$ вычесть $П_4$. Запись выполняется по вышеприведенной схеме.

Чтобы определить содержание мелкого песка (оно в анализе не определяется), надо из 100 % вычесть сумму ($A + П_1$), т. е. фракции на

сите и фракции 1-й пробы. При взятии 1-й пробы фракция мелкого песка (0,25–0,005 мм) оказалась ниже уровня пипетки, т. е. прошла в нижнюю часть цилиндра.

Полученные результаты записываются по следующей форме (табл. 3.11).

Таблица 3.11. Результаты гранулометрического анализа

Глубина взятия образца, мм	Содержание скелета, (>1,0), %	Размер механических элементов (мм) и их содержание, %							Название почвы по гранулометрическому составу
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	0,001	Физической глины (<0,01)	

Поясним расчет на конкретном примере.

1. Для анализа взято 20 г воздушно-сухой почвы, коэффициент гигроскопичности равен 1,02, объем цилиндра – 500 мл, объем пипетки – 25 мл.

2. Масса частиц (1–0,25 мм), оставшихся на сите – 5,0032 г. Вычисляем процентное содержание частиц по формуле:

$$A = \frac{m \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P} = \frac{5,0032 \cdot 100 \cdot 1,02}{20} = 25,51 \text{ \%}.$$

3. Масса 1-й пробы в объеме одной пипетки – 0,6544 г, а процентное содержание составит:

$$P_1 = \frac{0,6544 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 20} = 66,75 \text{ \%}.$$

4. Масса 2-й пробы (частицы не более 0,01 мм) – 0,2568 г, а процентное содержание составит:

$$P_2 = \frac{0,2568 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 20} = 26,19 \text{ \%}.$$

5. Масса 3-й пробы (частицы не более 0,005 мм) – 0,2040 г, а процентное содержание составит:

$$П_3 = \frac{0,2040 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 20} = 20,81 \, \%.$$

6. Масса 4-й пробы (частицы не более 0,001 мм) – 0,1056 г, а процентное содержание составит:

$$П_4 = \frac{0,1056 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02}{25 \cdot 20} = 10,77 \, \%.$$

На основании полученных данных подсчитываем процентное содержание каждой фракции согласно классификации механических элементов.

1. Частицы размером 1–0,25 мм – 25,51 %.
 2. Частицы размером 0,25–0,05 мм: $100 - (A + П_1) = 100 - (25,51 + 66,75) = 7,74 \, \%$.
 3. Частицы размером 0,05–0,01 мм: $П_1 - П_2 = 66,75 - 26,19 = 40,56 \, \%$.
 4. Частицы размером 0,01–0,005 мм: $П_2 - П_3 = 26,19 - 20,81 = 5,38 \, \%$.
 5. Частицы размером 0,005–0,001 мм: $П_3 - П_4 = 20,81 - 10,77 = 10,04 \, \%$.
 6. Частицы размером 0,001 мм – $П_4 = 10,77 \, \%$.
- Итого: 100 %.

Эту почву можно определить по гранулометрическому составу как легкосуглинистую, песчано-крупно-пылеватую, поскольку первой преобладающей фракцией является крупная пыль (0,05–0,001 мм) – 40,56 %, на втором месте стоит песок (1–0,05 мм) – 33,25 %.

Реактивы:

1) 40 г $Na_4P_2O_7$ помещают в мерную колбу на 1 л, растворяют в дистиллированной воде и объем доводят до метки.

4. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

4.1. Общие сведения

Органическая часть почвы представляет собой очень сложный комплекс разнообразных органических веществ, которые разделяются на две группы:

- 1) негумифицированные органические вещества растительного и животного происхождения;
- 2) гумус (гумусовые вещества) – органические вещества специфической природы.

В группу негумифицированных органических веществ входят:

- неразложившиеся остатки растений и животных (корни, листья, стебли и пр.);
- органические остатки различной степени разложения, частично или полностью потерявшие свою прежнюю форму (детрит);
- продукты разложения органических остатков в виде разнообразных соединений, таких как углеводы, протеины, лигнин, смолы, дубильные вещества и т. д.;
- плазма микроорганизмов и продукты ее автолиза. Эти вещества, называемые также органическими веществами неспецифической природы, довольно динамичны и неустойчивы. Под влиянием микроорганизмов содержащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в доступную для растений форму. При этом в первые один-два года полностью разлагается 70–80 % органической массы. Остальные 20–30 % свежего органического вещества подвергаются гумификации с образованием гумусовых веществ (гумуса), на долю которых в среднем приходится 80–90 % всей органической части почвы.

Гумусом называют сложное высокомолекулярное органические соединения, который образуются при разложении и гумификации органических остатков.

В среднем скорость его разложения составляет 1–2 % в год. Его содержание в верхних горизонтах колеблется от 0,5–1 до 10–12 % и более и зависит от условий и особенностей почвообразовательного процесса.

Гумусовые вещества подразделяются на три группы:

- 1) гуминовые кислоты;
- 2) фульвокислоты;
- 3) гумины.

Гуминовые кислоты представляют собой сложные высокомолекулярные соединения ароматической природы, очень слабо растворимые в воде и минеральных кислотах, хорошо – в растворах щелочей и пирофосфата натрия. В их составе: 52–62 % углерода, 31–39 % кислорода, 2,8–6,6 % водорода, 3,3–5,1 % азота, некоторое количество зольных элементов (P, S, Al, Fe). Благодаря слабой растворимости в воде они накапливаются главным образом в виде органоминеральных коллоидов в местах своего образования.

Гуминовые кислоты, взаимодействуя с катионами почвы, образуют соли, которые называются гуматами. Гуматы одновалентных катионов (Na^+ , K^+ , NH_4^+) растворимы в воде. В большинстве почв из катионов преобладает кальций, и поэтому в основном образуются гуматы каль-

ция, которые нерастворимы в воде и выпадают в почве в виде коллоидного осадка. Гуматы магния и трехвалентных катионов (Fe^{3+} и Al^{3+}) также не растворимы в воде.

Фульвокислоты, в отличие от гуминовых, полностью растворимы в воде и других растворителях. В них содержится 40–52 % углерода, 4–6 – водорода, 42–52 – кислорода и 2–6 % – азота. Благодаря наличию карбоксильных групп, водород которых способен к обменным реакциям, водные растворы фульвокислот имеют сильноокислую реакцию ($\text{pH}_{\text{КС1}} = 2,6\text{--}2,8$), энергично разрушают минеральную часть почвы и являются одним из главных агентов подзолообразовательного процесса.

В условиях промывного водного режима таежно-лесной зоны, куда входит Республика Беларусь, продукты разрушения с током воды могут выноситься из верхней части почвенного профиля в нижележащие горизонты с образованием в верхней части почвенного профиля подзолистого горизонта. При этом степень разрушающего воздействия фульвокислот на минералы значительно зависит от содержания в почве гуминовых кислот. Чем меньше в ней гуминовых кислот, тем сильнее действие фульвокислот.

С катионами, находящимися в почвенном растворе или в поглощенном состоянии, фульвокислоты образуют соли (фульваты), которые растворимы в воде и легко вымываются.

Фульвокислоты преобладают в составе гумуса дерново-подзолистых почв, формирующихся под лесной растительностью, гуминовые – в гумусе степных почв (черноземы, темно-каштановые и др.)

Гумины – комплекс гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с минеральной частью почвы и не выделяемых из нее при обычных способах экстрагирования гумусовых веществ. В практике аналитических работ эти неэкстрагируемые вещества называют негидролизуемым остатком.

По соотношению углерода гуминовых кислот (Сг.к) и фульвокислот (Сф.к) в составе гумуса судят о его качестве. По этому показателю выделяют следующие типы гумуса:

Тип гумуса	Сг.к : Сф.к
Фульватный	менее 0,6
Гуматно-фульватный	0,6–0,8
Фульватно-гуматный	0,8–1,2
Гуматный	более 1,2

Наиболее благоприятны фульватно-гуматный и гуматный типы гумуса с наименьшим количеством свободных фульвокислот.

В дерново-подзолистых почвах соотношение $C_{гк}:C_{фк}$ намного меньше единицы (0,4–0,6). На хорошо окультуренных участках оно приближается к ней или несколько больше. В черноземах этот показатель всегда выше единицы, что говорит о высоком качестве гумуса.

Другим важным показателем, характеризующим качество гумуса, является соотношение содержащихся в нем углерода и азота. В среднем в гумусе содержится около 5 % азота. Его доля в составе гумуса несколько возрастает в южном направлении, т. е. от подзолистых почв к черноземам, каштановым почвам и далее к сероземам, а также в направлении с запада на восток в соответствии с изменением водного, теплового и других режимов.

Отношение $C : N$ указывает на обогащенность гумуса азотом.

Обогащенность азотом	$C : N$
Очень высокая	менее 5
Высокая	5 – 8
Средняя	8–11
Низкая	11– 14
Очень низкая	более 14

В последнее время при характеристике качества гумуса начали учитывать содержание так называемых подвижных гумусовых веществ, несущих большую информацию о трансформации и новообразовании гумуса при сельскохозяйственном использовании почв. Предлагаются различные методы их определения. Некоторые из них рассмотрены в данных методических указаниях.

4.2. Влияние природных условий на характер и скорость гумусообразования

Характер и скорость гумификации во многом определяются условиями почвообразования, в том числе водным, воздушным, тепловым режимами почвы, ее гранулометрическим составом, физико-химическими свойствами, химическим составом и характером поступления в почву растительных остатков, видовым составом и интенсивностью жизнедеятельности микроорганизмов.

В зависимости от воздушного режима почвы образование гумуса может протекать в аэробных и анаэробных условиях. В аэробных условиях при достаточном количестве влаги (70 % от полной влагоемкости) и при благоприятной температуре (20–30 °C) процесс разложе-

ния растительных остатков протекает интенсивно. В этих условиях происходит быстрая минерализация как промежуточных продуктов разложения, так и гумусовых веществ. Все это ведет к тому, что в почве накапливается мало гумуса и много элементов зольного питания растений.

Если в почве постоянно наблюдается недостаток влаги, то в ней накапливается очень мало растительных остатков. При этом процессы разложения и гумификации замедляются, что в конечном итоге также приводит к небольшому накоплению гумуса.

В анаэробных условиях, которые наступают в почве при постоянном избытке влаги, а также при низкой температуре, процессы гумусообразования замедляются. Разложение растительных остатков начинает осуществляться анаэробными микроорганизмами. При этом образуются промежуточные продукты разложения, которые содержат много низкомолекулярных органических кислот и восстановленных газообразных соединений, таких как сероводород и метан, которые по мере накопления начинают угнетать жизнедеятельность микроорганизмов. Это приводит к тому, что процесс разложения растительных остатков начинает постепенно затухать, в результате чего на поверхности почвы начинает накапливаться слой полуразложившихся растительных остатков, в виде торфа.

Наиболее благоприятные условия для накопления в почве гумуса наступают тогда, когда в ней сочетаются оптимальные условия увлажнения с периодической засухой. Такие условия характерны для черноземов.

Очень большое влияние на образование гумуса оказывают химический состав и характер поступления в почву растительных остатков. Остатки травянистых растений разлагаются непосредственно в толще почвы в присутствии значительного количества оснований и прежде всего – кальция. В этих условиях образуется мягкий, или так называемый муллевый гумус, который очень равномерно пропитывает минеральную часть почвы.

Остатки древесной растительности содержат мало зольных элементов, обогащены лигнином, восками, смолами и попадают главным образом на поверхность почвы в виде наземного опада. В этом случае разложение опада происходит не в почве, а на ее поверхности в условиях сквозного промывания атмосферными осадками при участии грибов с образованием большого количества органических кислот,

нейтрализация которых затруднена из-за выщелачивания оснований. Возникает кислая реакция, которая подавляет процессы гумификации, и на поверхности почвы формируется грубый гумус (модер-гумус), содержащий много полуразложившихся остатков.

Большое влияние на процессы гумификации оказывает видовой состав микроорганизмов. Северные почвы, например, подзолистые, характеризуются меньшим содержанием микроорганизмов и меньшей их жизнедеятельностью. По мере продвижения на юг число микроорганизмов в почве возрастает, становятся более разнообразными их видовой состав и деятельность. И если сравнить запасы гумуса с содержанием в почве микроорганизмов, то можно заметить, что как слабая, так и очень сильная биогенность почвы не способствуют накоплению гумуса. Наибольшее количество гумуса накапливается в почве при среднем содержании микроорганизмов. Примером таких почв являются черноземы.

Различные почвы образуются в различных условиях и поэтому содержат различное количество органического вещества, а соответственно и гумуса (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Содержание гумуса в пахотном горизонте различных почв

Почвы	Содержание гумуса в пахотном горизонте, %
Дерново-подзолистая	2–4
Серая лесная оподзоленная	4–6
Чернозем выщелоченный	4–6
Чернозем мощный	7–8
Чернозем обыкновенный	10–12
Чернозем южный	6–8
Чернозем южный	1–5
Темно-каштановые почвы	3–4
Каштановая и светло-каштановая	1,5–3
Серозем	1–2
Краснозем	5–7

Большое влияние на гумусообразование оказывают также гранулометрический состав почвы и ее физико-химические свойства. Песчаные и супесчаные почвы характеризуются хорошей аэрацией и быстро прогреваются. В этих условиях органические остатки быстро разлагаются, значительная их часть полностью минерализуется, а образующиеся гумусовые вещества плохо закрепляются на поверхности песчаных частиц, быстро вымываются и быстро минерализуются.

При сходных условиях, но в глинистых и суглинистых почвах разложение растительных остатков происходит значительно медленнее. Гумусовых веществ образуется гораздо больше, они хорошо закрепляются на поверхности мельчайших минеральных частиц и постепенно накапливаются в почве.

Химический и минералогический составы почвы определяют количество элементов питания, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов и растений, реакцию среды, в которой происходит образование гумуса, и условия закрепления его в почве. Особенно большую роль в закреплении гумусовых веществ в почве выполняет кальций. Если почва насыщена кальцием, то для нее характерна нейтральная реакция, которая очень благоприятна для развития бактерий. Гуминовые кислоты взаимодействуют с кальцием и образуют соли – гуматы кальция, закрепляющиеся в почве. Закреплению гумуса способствуют также минералы типа монтмориллонита и вермикулита.

4.3. Роль гумуса в почвообразовании, плодородии и питании растений

Значение гумуса в почвообразовании и развитии плодородия почв определяется его участием во всех звеньях этих процессов.

Гумусовые вещества и промежуточные продукты разложения органических остатков активно участвуют уже на первом этапе почвообразовательного процесса, а именно: в биологическом выветривании минералов и в разрушении горных пород, которые выходят на дневную поверхность. Наиболее энергично минералы разлагаются под действием фульвокислот, так как их водные растворы обладают сильноокислой реакцией.

Большая роль отводится гумусу в формировании почвенного профиля. В тех почвах, где образуется много гуминовых кислот, которые накапливаются на месте своего образования, формируется хорошо выраженный гумусовый горизонт с высокой поглощательной способностью по отношению к катионам. Если почва богата кальцием, то гуминовые кислоты переходят в форму нерастворимых в воде гуматов кальция и участвуют в создании ценной водопрочной комковатострунчатой структуры почвы.

Почвенные горизонты, где накапливается много гуминовых кислот, богаты азотом, фосфором, серой и другими веществами. Они имеют благоприятную пористость и хороший водно-воздушный режим. При-

мером таких почв могут служить черноземы и серые лесные почвы.

Если в составе гумусовых веществ много фульвокислот, то почва легко обедняется кальцием, магнием, калием и другими основаниями, так как фульвокислоты образуют с ними воднорастворимые соли, которые мигрируют из почвы с просачивающейся влагой. Благодаря фульвокислотам реакция почвы становится кислой. Примером таких почв могут служить подзолистые почвы.

Кроме того, в гумусе накапливаются основные элементы питания растений. В нем сконцентрировано до 98 % азота почвы, около 60 % фосфора и 80 % серы. При постепенной минерализации гумуса эти элементы переходят в доступные для растений формы и используются ими. При разложении гумуса и растительных остатков выделяется большое количество углекислого газа, который поступает в припочвенные слои атмосферы и является источником углеродного питания для растений.

В гумусе в потенциальной форме надолго сохраняется энергия солнечных лучей. От его запасов зависит способность почвы противостоять изменению реакции среды. С увеличением содержания в почве гумуса возрастают темпы микробиологического разрушения пестицидов, увеличивается закрепление почвенным поглощающим комплексом загрязняющих веществ, снижается поступление токсинов в растения.

Существенная роль в формировании почв и развитии их плодородия принадлежит также неразложившимся растительным остаткам и промежуточным продуктам их разложения. Органические остатки содержат значительное количество элементов питания, таких как азот, фосфор, сера, калий, кальций, магний, микроэлементы. При минерализации растительных остатков эти вещества высвобождаются и тоже используются растениями и микроорганизмами. Кроме этого, органические остатки являются источником углекислого газа для растений, который высвобождается при их разложении.

Низкомолекулярные продукты разложения растительных остатков, такие как органические кислоты, фенолы, аминокислоты, интенсивно разрушают минералы, при этом извлекают из них множество элементов, например, Al, Fe, Mn, Ca, K и др., и образуют с ними различные очень подвижные соединения (типа хелатов), из которых в дальнейшем растения используют необходимые макро- и микроэлементы. Эти же соединения, т. е. хелаты, участвуют в передвижении элементов по профилю почвы.

Органическому веществу принадлежит и очень большая биогеохимическая роль в земной коре. Например, большая часть алюминия, железа и микроэлементов концентрируется и мигрирует в земной коре в форме сложных органоминеральных комплексов. Аккумуляция погребенных форм гумуса, торфа, углей приводит к концентрации таких элементов, как уран, германий, ванадий, молибден, медь, марганец, кобальт, никель.

При использовании почв в сельскохозяйственном производстве очень важно уметь регулировать количество гумуса в почве и улучшать его состав. К основным мероприятиям по регулированию количества и состава гумуса относятся: внесение органических удобрений в виде навоза или торфяно-навозных компостов, применение зеленых удобрений (люпин, сераделла и др.), травосеяние, известкование кислых почв и гипсование солонцов – наиболее рациональная для данных почв система обработки, мелиоративные мероприятия. При этом определение доз органических удобрений, необходимых для поддержания или улучшения гумусового состояния почвы, должно быть основано на расчетах баланса гумуса.

4.4. Подготовка почвенных образцов для определения содержания гумуса

Навеску почвы в 40 г с предварительно размятыми почвенными комочками переносят в термостойкий стакан емкостью 150–200 мл и приливают 50–125 мл 0,5 М раствора Na_2SO_4 . Всплывшие растительные остатки снимают небольшим ситечком. Затем стеклянной палочкой взмучивают раствор и почву. После просветления верхнего слоя жидкости снимают с ее поверхности всплывшие растительные остатки. Эту операцию повторяют несколько раз до полного удаления растительных остатков. После последнего взмучивания суспензии дают отстояться и прозрачный раствор с оставшимися растительными остатками осторожно сливают.

Почву в стакане высушивают в кипящей водяной бане. Высушенный образец переносят в фарфоровую ступку. При этом прилипшие ко дну и стенкам стакана почвенные частицы тщательно соскабливают скальпелем и соединяют со всем образцом почвы.

Почву размалывают в ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий в 1 мм. Часть почвы используется для определения группового состава гумуса, а часть просеивают через сито в 0,25 мм и анализируют на содержание гумуса.

При подготовке почвы к анализу на содержание гумуса корешки и различные растительные остатки можно отделять и с помощью наэлектризованной эбонитовой или стеклянной палочки. Для этого среднюю пробу нерастертой почвы разравнивают тонким слоем на листе белой бумаги и пинцетом отбирают корешки и видимые органические остатки. Затем комки почвы растирают в ступке и вновь отбирают органические примеси, просматривая почву под лупой. После этого ее растирают в фарфоровой ступке и пропускают через сито с отверстиями в 1 мм.

Из просеянной почвы берут среднюю пробу 10–15 г, разравнивают тонким слоем на листе пергаментной бумаги и снова отбирают корешки наэлектризованной эбонитовой палочкой (для этого ее надо натереть шерстяной тканью и быстро провести палочкой над почвой). Корешки и мелкие кусочки органических остатков, прилипшие к палочке, удаляют.

Не следует подносить палочку слишком близко к почве, так как в этом случае к ней прилипают тонкие минеральные частицы.

После отбора корешков почву вновь растирают в фарфоровой ступке и просеивают через сито с отверстиями в 0,25 мм. Подготовленную почву хранят в бумажном пакете или пробирке, закрытой пробкой.

4.5. Определение общего содержания органического вещества в почве по методу И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова

На аналитических весах берут навеску подготовленной для анализа почвы. Масса навески в зависимости от содержания в почве органического вещества должна быть примерно такой:

Содержание органического вещества, %	Масса навески, г
Более 10	0,1
10–5	0,2
5–1	0,3
1–0,5	0,4
Менее 0,5	0,5

Навеску осторожно переносят в коническую колбу емкостью 100 мл и по каплям прибавляют из бюретки 10 мл 0,4 н. раствора $K_2Cr_2O_7$, приготовленного на серной кислоте, разведенной в воде в объемном отношении 1:1. В горлышко колбы помещают маленькую воронку, которая служит холодильником, и ставят ее на песочную баню. Со-

держимое колбы кипятят 5 мин, не допуская интенсивного кипения и перегрева.

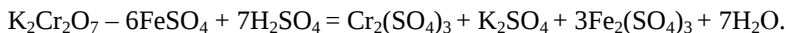
При нагревании происходит окисление углерода органического вещества по схеме:



Нельзя допускать сильного и продолжительного кипячения, так как увеличивается концентрация серной кислоты, что может привести к разложению хромовой кислоты, а отсюда и к неверным результатам анализа.

После кипячения содержимое колбы охлаждают, обмывают дистиллированной водой воронку и стенки колбы, приливают 5–8 капель 0,2%-ной фенилантраниловой кислоты, которая служит индикатором, и титруют 0,2 н. раствором соли Мора до перехода цвета раствора из бурого через фиолетовый и синий в зеленый. Когда раствор окрасится в синий цвет, титровать необходимо очень осторожно, прибавляя раствор соли Мора по 1 капле и тщательно размешивая титруемую жидкость.

Реакция между двуххромовокислым калием, оставшимся после окисления органического вещества и солью Мора, заключается в восстановлении шестивалентного хрома в трехвалентный и идет по уравнению:



Одновременно проводят холостое титрование, т. е. устанавливают соотношение между $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и солью Мора, для чего в коническую колбу емкостью 100 мл из бюретки добавляют 10 мл 0,4 н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, содержимое колбы титруют так же, как описано выше.

Экспериментально установлено, что 1 мл 0,2 н. раствора соли Мора соответствует такому количеству хромовой кислоты, которое окисляет 0,0006 г углерода. Поэтому содержание органического углерода в почве вычисляют по формуле:

$$C = \frac{100 \cdot (a + b) \cdot K_m \cdot 0,0006 \cdot K_{H_2O}}{P},$$

где C – содержание органического углерода, % к массе сухой почвы;

a – количество соли Мора, пошедшее на холостое титрование;

b – количество соли Мора, пошедшее на титрование остатка хромовокислого калия;

Км – поправка к титру соли Мора;

0,0006 – количество органического углерода, соответствующее
1 мл 0,2 н. раствора соли Мора;

КН₂О – коэффициент гигроскопичности для пересчета результатов
анализа на абсолютно сухую навеску почвы;

Р – навеска воздушно-сухой почвы, г.

Реактивы:

1) 0,4 н. К₂Cr₂O₇: 40 г измельченного в ступке двухромовокислого калия растворяют в дистиллированной воде, отфильтровывают через бумажный фильтр в мерную колбу на 1 л, доводят до метки, раствор переносят в фарфоровый стакан на 2 л или в колбу из тугоплавкого стекла, где смешивают с 1 л концентрированной серной кислоты. Во избежание сильного нагревания жидкости при смешивании серную кислоту приливают к водному раствору H₂SO₄ частями с интервалами 15–20 мин при осторожном перемешивании. Смеси дают остыть, вновь тщательно перемешивают и переливают для хранения в стеклянный сосуд с притертой пробкой;

2) соль Мора: 0,2 н. (NH₄)₂SO₄ × FeSO₄ × 6H₂O. 80 г соли Мора заливают 1 н. раствором H₂SO₄ на 2/3 объема колбы (20 мл концентрированной H₂SO₄ на 1 л воды). Раствор перемешивают до полного растворения соли, отфильтровывают через складчатый фильтр, добавляют до метки дистиллированную воду, перемешивают. Хранят в темноте в бутылки, снабженной сифоном со стеклянным краном для подачи в бюретку и склянкой Тищенко со щелочным раствором пирогаллола для предохранения раствора соли Мора от окисления кислородом воздуха.

Титр соли Мора проверяют каждый раз перед началом работы, так как в состав соли Мора входит закисное железо и ее титр сравнительно неустойчив, несмотря на пирогаллоловый предохранитель.

Определение нормальности соли Мора. В коническую колбу на 250 мл пипеткой вносят 1 мл концентрированной серной кислоты, прибавляют из бюретки 10 мл рабочего раствора соли Мора, приливают цилиндром 50 мл дистиллированной воды и титруют 0,1 н. раствором КМпО₄ до слабо-розовой окраски.

Титр соли Мора равен

$$a = \frac{a + b}{b},$$

где а – количество КМпО₄, пошедшее на титрование 10 мл соли Мора, мл;
б – титр КМпО₄;

в – количество соли Мора, взятое для титрования раствором перманганата, мл.

Нормальность $K_2Cr_2O_7$ вычисляют по формуле:

$$N_1 = (V_1 \cdot N_2) / V_2,$$

где V_1 и N_1 – объем и нормальность устанавливаемого раствора бихромата;

V_2 и N_2 – объем и нормальность титрованного раствора соли Мора;

3) раствор пирогаллола: 12 г пирогаллола растворяют в 50 мл воды, 180 г КОН растворяют в 300 мл воды, оба раствора смешивают, переносят в склянку Тищенко и присоединяют с помощью резиновой и стеклянной трубок к бутылки с раствором соли Мора;

4) фенолантраниловая кислота (индикатор): 0,2 г кислоты растворяют в 100 мл 0,2%-ного раствора Na_5CO_3 . Для лучшего смачивания порошка фенолантраниловой кислоты навеску предварительно растирают стеклянной палочкой в фарфоровой ступке с небольшим количеством 0,2%-ного раствора соды до сметанообразного состояния, затем добавляют остальное количество раствора соды при тщательном перемешивании;

5) 0,1 н. раствор $KMnO_4$ (для установки титра соли Мора): раствор готовится обычным методом, а его титр устанавливают по 0,1 н. раствору перекристаллизованного щавелевокислого натрия ($Na_2C_2O_4$).

4.6. Определение общего содержания органического вещества в почве по методу И. В. Тюрина с фотоколориметрическим окончанием

На аналитических весах берут навеску 0,1–0,5 г почвы, подготовленную для определения содержания органического вещества. Навеску переносят в пикнометр емкостью 50 мл, по каплям приливают к ней из бюретки 10 мл хромовой смеси и осторожно взбалтывают. Одновременно в 10 пустых пикнометров наливают по 10 мл хромовой смеси для приготовления шкалы образцовых растворов. Пикнометры погружают на 1 ч в кипящую водяную баню. Глубина их погружения должна быть такой, чтобы уровень хромовой смеси в пикнометре был примерно на 3 см ниже уровня воды в бане. Во время нагревания пикнометров в бане содержимое два раза взбалтывают. Через 1 ч пикнометры вынимают из бани и погружают в ванну с холодной водой. После охлаждения пикнометр с навеской почвы дозируют до 40 мл дистиллированной воды. Пикнометр закрывают пробкой, взбалтывают и в вертикальном положении оставляют до следующего дня для оседания

почвенных частиц и просветления раствора. Если через сутки раствор дает опалесценцию, его фотоколориметрируют после двухсуточного отстаивания.

На следующий день в пикнометры шкалы приливают из бюретки следующие количества соли Мора: 0,1; 3,5; 7,9; 11; 13; 15 мл. Затем в пикнометры прибавляют дистиллированную воду до объема 50 мл и тщательно взбалтывают.

Испытываемый раствор и раствор шкалы колориметрируют с оранжевым или красным светофильтром, пользуясь переливным устройством для заполнения проточной кюветы, стараясь не взмутить осадка почвы на дне пикнометров.

Калибровочный график строят, откладывая по оси абсцисс объемы соли Мора (в мл), взятые для приготовления образцовых растворов, а по оси ординат – их оптическую плотность.

Содержание углерода органического вещества в анализируемой почве находят по калибровочному графику, используя для пересчета приведенную ниже формулу:

$$C = \frac{a \cdot n \cdot 0,003 \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P},$$

где С – содержание органического углерода, % к массе сухой почвы;

а – количество соли Мора соответственно калибровочному графику, мл;

н – нормальность соли Мора, мэкв/мл;

100 – коэффициент для пересчета в проценты;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности для пересчета результатов анализа на сухую навеску почвы;

Р – навеска воздушно-сухой почвы, г.

Реактивы:

1) бихромат калия: 0,4 н. $K_2Cr_2O_7$;

2) соль Мора: 0,2 н. $(NH_4)_2SO_4 \times FeSO_4 \times 6H_2O$;

3) 0,1 н. $KMnO_4$ (для определения титра соли Мора).

4.7. Определение содержания и запасов гумуса в почве

Содержание углерода гумуса в почве, как и содержание углерода органического вещества, определяют по одной из модификаций метода И. В. Тюрина, подробно изложенных в предыдущих разделах.

Процентное содержание гумуса вычисляют из расчета, что в его составе содержится 58 % органического углерода (1 г углерода соответ-

ствует 1,724 г гумуса), т. е. содержание гумуса (%) = содержание углерода (%) · 1,724.

Запасы гумуса в почве выражаются в тоннах и рассчитываются на 1 га площади. Для этого необходимо:

1) Определить массу почвы на площади 1 га.

Масса почвы (т/га) = $h \cdot S \cdot d$,

где h – высота слоя почвы, в котором определяют запасы гумуса, м;

S – площадь 1 га, выраженная в м²;

d – плотность почвы, г/см³.

2. Рассчитать запасы гумуса.

Запасы гумуса (т/га) = (масса почвы (т/га) × содержание гумуса (%)) / 100.

4.8. Ускоренное определение состава гумуса минеральных почв методом М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой

Из подготовленного образца берут 5 г почвы, переносят в коническую колбу на 250 мл и заливают в конце рабочего дня 100 мл свежеприготовленной смеси пирогосфата натрия с NaOH, содержащей в 2 л раствора 44,6 г Na₂P₂O₇ · 10H₂O и 4 г NaOH. Концентрация пирогосфата натрия в таком растворе 0,1 М, а NaOH – 0,1 н., рН смеси около 13. Колбу плотно закрывают резиновой пробкой для изоляции от углекислого газа воздуха, содержимое ее тщательно перемешивают, избегая размазывания почвы по стенкам, и оставляют на 16 ч. Затем раствор вместе с почвой опять тщательно перемешивают в колбе и переносят на воронку с простым бумажным фильтром диаметром 15–17 см, вставленным в конус из плотного фильтра (синяя лента) диаметром 7–9 см. Фильтры при этом должны быть сухими. Если раствор при фильтровании получается мутным, его снова переносят на фильтр. Когда начинает фильтроваться прозрачный раствор, его собирают в сухую приемную колбу.

Вместо фильтрования можно применять центрифугирование. В том и другом случае необходимо строго следить, чтобы вытяжка была прозрачной. Остаток почвы на фильтре отбрасывают.

Для определения содержания углерода в вытяжке берут пипеткой от 2 до 15 мл раствора (чем больше содержится в почве гумуса, тем меньше необходимо вытяжки), помещают его в коническую колбу на 100 мл и нейтрализуют, прибавляя 1 н. H₂SO₄ по каплям до появления в растворе легкой мути. Колбу ставят на кипящую водяную баню и

досуха выпаривают содержимое. Затем определяют содержание органического углерода по одной из модификаций метода И. В. Тюрина, добавляя в колбу для равномерного кипения и устранения перегрева жидкости немного прокаленной почвы или пемзы.

Углерод в вытяжке определяют в двукратной повторности, вычисляя его в процентах от массы почвы и в процентах от общего количества углерода в исходной почве.

Для определения в вытяжке содержания углерода гуминовых кислот берут пипеткой 25–50 мл вытяжки и переносят в химический стакан соответствующей емкости. Туда же при перемешивании стеклянной палочкой по каплям прибавляют для коагуляции геля гуминовых кислот H_2SO_4 (плотность 1,84) до появления мути в растворе, что наблюдается при pH около 1,5–2. Для этого необходимо прилить около 0,2–0,5 мл серной кислоты, избытка ее следует избегать.

После тщательного перемешивания стеклянной палочкой раствор в стакане закрывают стеклом и помещают на горячую эбберитовую плитку или на электроплитку с обнаженной спиралью, но обязательно прикрытую слоем асбеста. Умеренное прогревание при температуре не выше 80 °C ведут в течение 30 мин, после чего стакан снимают с плитки и оставляют на ночь до полного осаждения геля гуминовых кислот.

Утром приступают к фильтрованию, которое выполняют на маленьких воронках через плотный фильтр диаметром 7 см, предварительно смоченный 0,05 н. раствором H_2SO_4 . Сначала из стакана на фильтр переносят кислый раствор, а затем осадок (гель) гуминовой кислоты. Фильтр с осадком несколько раз промывают холодным 0,05 н. раствором H_2SO_4 до получения бесцветного фильтрата (в начале промывания фильтрат обычно окрашен в желтый цвет от примеси фульвокислот).

Кислый раствор вместе с промывными водами отбрасывают, а воронку с фильтром вместе с осадком гуминовых кислот вставляют в горлышко мерной колбы емкостью 25–100 мл (в зависимости от объема осадка) и приступают к растворению осадка горячим 0,5 н. раствором NaOH.

Как для промывания осадка гуминовых кислот 0,5 н. H_2SO_4 , так и для его растворения 0,5 н. NaOH удобно пользоваться небольшими промывалками, струей из которых осадок может быть взмучен. Раствор NaOH сначала наливают небольшими порциями в стаканчик, в котором проводили осаждение для растворения приставшего к его стенкам осадка, а затем переносят его на фильтр. Промывают фильтр

тем же раствором до полного растворения геля гуминовой кислоты, о чем свидетельствует отсутствие окраски фильтрата. Раствор гумата натрия в мерной колбе охлаждают при комнатной температуре, после чего дистиллированной водой доводят объем до черты.

Для определения содержания углерода гуминовых кислот берут пипеткой 5–10–20 мл раствора (в зависимости от интенсивности его окраски). Дальше анализ ведут, как и при установлении общего содержания углерода в вытяжке.

Содержание углерода гуминовых кислот вычисляют в процентах от массы почвы и в процентах к общему количеству углерода в исходной почве.

Количество углерода фульвокислот (органических веществ, остающихся в кислом растворе при осаждении из вытяжки гуминовых кислот) определяют по разности между общим содержанием углерода в вытяжке и его содержанием в гуминовых кислотах. Количество углерода фульвокислот вычисляют в процентах от массы почвы и в процентах к общему содержанию углерода в исходной почве.

Количество углерода в остатке почвы (С гуминов) после выделения гумусовых веществ находят по разности между содержанием органического углерода в исходной почве и в вытяжке.

Реактивы:

1) пиррофосфат натрия с NaOH: 44,6 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$ и 4 г NaOH растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды и доводят объем до 1 л;

2) 1 н. H_2SO_4 : 28 мл концентрированной H_2SO_4 ($d = 1,84$) на 1 л водного раствора;

3) 0,05 н. NaOH: 2 г NaOH растворяют в 1 л дистиллированной воды;

4) бихромат калия: 0,4 н. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$;

5) соль Мора: 0,2 н. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \times \text{FeSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$;

6) 0,1 н. KMnO_4 (для определения титра соли Мора).

4.9. Определение содержания в почве подвижных (лабильных) гумусовых веществ

Соотношение между гуминовыми и фульвокислотами, содержащимися в гумусе, позволяет судить о типе гумусообразования, который сложился в результате обработок почвы, возделывания полевых культур, внесения навоза, систематического применения минеральных удобрений.

Для характеристики трансформации и новообразования гумуса наиболее информативны подвижные, или так называемые лабильные формы гумусовых веществ. Это наиболее молодые формы гумуса, отличающиеся повышенным содержанием азота. Они быстро минерализуются и делают азот доступным для питания растений. Существует несколько методов их определения.

4.10. Определение содержания в почве подвижного органического вещества по М. А. Егорову

Навеску 10 г воздушно-сухой очищенной от корешков почвы, просеянную через сито в 1 мм, помещают в коническую колбу вместимостью 100 мл. Добавляют 50 мл 0,2 н. раствора NaOH, взбалтывают 3 мин и всю суспензию за один прием переносят на складчатый фильтр диаметром 12,5 см. Содержание органического углерода определяют в 10 мл фильтрата по методу И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова или с фотоколориметрическим окончанием.

Реактивы:

- 1) 0,2 н. NaOH: 8 г NaOH растворяют в 1 л дистиллированной воды;
- 2) бихромат калия: 0,4 н. $K_2Cr_2O_7$;
- 3) соль Мора: 0,2 н. $(NH_4)_2SO_4 \times FeSO_4 \times 6H_2O$;
- 4) 0,1 н. $KMnO_4$ (для определения титра соли Мора).

4.11. Определение содержания в почве подвижных гумусовых веществ по методике Почвенного института им. В. В. Докучаева

Свежеотобранные образцы почвы освобождают от корешков и включений. Из усредненной пробы берут на технических весах навеску влажной почвы 20–25 г и помещают в колбы вместимостью 350 мл. В конце рабочего дня почву заливают рассчитанным количеством 0,1 М раствора $Na_4P_2O_7$ с pH 7 (доводят H_2SO_4 по потенциометру) при соотношении почвы к экстрагенту 1:2 с учетом влажности почвы. Колбы плотно закрывают и содержимое перемешивают до полного и равномерного смачивания почвы пирофосфатом, а затем оставляют до утра. Через 18–20 ч содержимое колб встряхивают в течение 60 мин на ротаторе. Полученную почвенную суспензию переносят в центрифужные пробирки и предварительным центрифугированием при 66,7 Гц в течение 15 мин отделяют раствор от осадка почвы. Вытяжку для более полного отделения органоминеральных коллоидов центрифугируют

еще раз 15 мин при 133,3 Гц и более, а затем фильтруют через мембранный ультрафильтр «Синпор-8» (средний размер пор 0,23 мкм).

В вытяжке определяют общее содержание углерода, содержание углерода гуминовых и фульвокислот. При этом гуминовые кислоты осаждают путем подкисления вытяжки серной кислотой до pH 2.

Реактивы:

1) 0,1 М нейтральный раствор пирогосфата натрия: 44,6 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$ растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды и доводят объем до 1 л. С помощью H_2SO_4 устанавливают pH 7;

2) бихромат калия: 0,4 н. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

3) соль Мора: 0,2 н. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \times \text{FeSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$;

4) 0,1 н. KMnO_4 (для определения титра соли Мора).

4.12. Определение группового состава гумуса по методу

**И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой
и Т. А. Плотниковой**

Непосредственная вытяжка – 0,1 н. NaOH. В эту вытяжку переходят гумусовые вещества свободные и связанные преимущественно с подвижными полуторными оксидами.

Из подготовленного образца почвы (пропущенного через сито с диаметром отверстий 1 мм) берут в коническую колбу на 300–400 мл навеску 15 г. К навеске почвы приливают 200 мл 0,1 н. раствора NaOH, почву хорошо перемешивают, колбы закрывают пробками и оставляют на 20–24 часа. В течение дня содержимое колб периодически перемешивают.

На следующий день в колбы приливают пипеткой 50 мл насыщенного раствора Na_2SO_4 (1/4 объема жидкости) для коагуляции илистых частиц и ускорения фильтрации, хорошо перемешивают раствор, оставляют колбу в покое на 10–15 мин, снова перемешивают непосредственно перед фильтрацией и фильтруют через простой бумажный фильтр диаметром 15–17 см. При фильтрации, особенно в самом начале, необходимо перенести на фильтр раствор вместе с почвой, чтобы заполнить поры фильтра почвенными частицами. Если первые порции фильтрата получаются мутными, их снова выливают на фильтр, добиваясь абсолютной прозрачности фильтрата. Фильтрацию можно замедлить центрифугированием вытяжки при 6000 и более оборотов в минуту в течение 30 мин. Остаток почвы выбрасывают. В отдельных порциях полученной щелочной вытяжки определяют содержание углерода вытяжки, гуминовые кислоты и фульвокислоты.

Общее содержание органического углерода вытяжки ($C_{\text{общ}}$).

В коническую колбу на 100 мл берут 10 мл вытяжки и выпаривают на водяной бане досуха. Органический углерод в сухих остатках определяют по методу И. В. Тюрина в двух повторностях, в случае расхождения определение следует повторить.

Следует учесть, что точность определения органического углерода в вытяжках, также как и в почвах, зависит в общем от содержания С во взятой пробе. Нужно стремиться к тому, чтобы на окисление испытуемой пробы расходовалось около половины взятого количества хромовой смеси. Если на окисление затрачивается больше половины взятого окислителя, что сопровождается позеленением раствора, результаты определения С будут заниженными, так как при концентрации Cr_2O_7 ниже 0,2 н. уменьшается полнота окисления гумуса. Как считают В. В. Пономарева и Т. А. Плотникова (1980) определение углерода по методу И. В. Тюрина можно считать надежным, если разница между холостым и испытуемым титрованием составляет не менее 2 и не более 8–10 мл 0,2 н. раствора соли Мора при величине холостого титрования 20–22 мл. В противном случае нужно повторить определение углерода (С), взяв для этого большую или меньшую пробу раствора.

Содержание органического углерода вытяжки рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{100 \cdot (a - b) \cdot K_m \cdot 0,003 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{P},$$

где С – содержание органического углерода вытяжки, %;

а – количество соли Мора, пошедшее на холостое титрование;

в – количество соли Мора, пошедшее на титрование остатка хромовокислого калия;

K_m – поправка к титру соли Мора;

0,003 – количество органического углерода, соответствующее 1 мл 0,2 н. раствора соли Мора;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности для пересчета результатов анализа на абсолютно сухую навеску почвы;

Р – навеска воздушно-сухой почвы (0,6), г.

Содержание углерода гуминовых кислот $C_{\text{ГК}}$. В небольшой стакан на 200 мл берут пипеткой 50 мл щелочной вытяжки и прибавляют к ней 100 мл 1 н. H_2SO_4 . Содержимое стаканчика нагревают на водяной бане до 70–80 °С и после некоторого отстаивания отфильтровывают выпавший осадок ГК через небольшой беззольный фильтр – белая или синяя лента. Осадок ГК в стаканчике и на фильтре промывают 2–

3 раза 0,1 н. раствором H_2SO_4 для удаления механически задержанных фульвокислот. После этого приступают к растворению гуминовых кислот. Воронку с осадком ГК вставляют в мерную колбу на 100 мл и растворяют осадок небольшими порциями горячего 0,1 н. раствора NaOH. Предварительно горячим раствором 0,1 н. NaOH тщательно ополаскивают стаканчик, так как на его стенках всегда остаются частички гуминовых кислот. Растворившиеся в стаканчике ГК переносят на фильтр, где находится основная масса осадка ГК. Щелочной раствор доводят в мерной колбе до метки и отсюда берут пипеткой 10 мл вытяжки для определения углерода. Определение проводится также, как и определение общего углерода щелочной вытяжки. В коническую колбу на 100 мл берут 10 мл вытяжки и выпаривают на водяной бане досуха.

Содержание углерода гуминовых кислот рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{100 \cdot (a - b) \cdot K_m \cdot 0,003 \cdot K_{n_{20}}}{P},$$

где C – содержание органического углерода вытяжки, %;

a – количество соли Мора, пошедшее на холостое титрование;

b – количество соли Мора, пошедшее на титрование остатка хромовокислого калия;

K_m – поправка к титру соли Мора;

0,003 – количество органического углерода, соответствующее 1 мл 0,2 н. раствора соли Мора;

$K_{n_{20}}$ – коэффициент гигроскопичности для пересчета результатов анализа на абсолютно сухую навеску почвы;

P – навеска воздушно-сухой почвы (0,3), г.

Количество углерода фульвокислот $C_{ФК}$ (органических веществ, остающихся в кислом растворе при осаждении из вытяжки гуминовых кислот) определяют по разности между общим содержанием углерода в вытяжке и его содержанием в гуминовых кислотах.

$$C_{ФК} = C_{\text{общ}} - C_{ГК}.$$

Количество углерода в остатке почвы ($C_{\text{гуминов}}$) после выделения гумусовых веществ находят по разности между содержанием органического углерода в исходной почве и в вытяжке.

$$C_{\text{гуминов}} = C_{\text{общ. почвы}} - (C_{ГК} + C_{ФК}).$$

Реактивы:

- 1) 0,1 н. NaOH: 4 г NaOH растворяют в 1 л дистиллированной воды;
- 2) 1 н. H_2SO_4 : 28 мл концентрированной H_2SO_4 ($d = 1,84$) на 1 л водного раствора;
- 3) 1 н. H_2SO_4 : 2,8 мл концентрированной H_2SO_4 ($d = 1,84$) на 1 л водного раствора;
- 4) бихромат калия: 0,4 н. $K_2Cr_2O_7$;
- 5) соль Мора: 0,2 н. $(NH_4)_2SO_4 \times FeSO_4 \times 6H_2O$;
- 6) 0,1 н. $KMnO_4$ (для определения титра соли Мора).
- 7) насыщенный раствор Na_2SO_4 : 170 г Na_2SO_4 растворяют в 1 л дистиллированной воды.

4.13. Баланс гумуса

Баланс гумуса рассчитывается как разность между его приходной и расходной статьями. Приходная статья определяется количеством гумуса, образовавшегося за счет гумификации растительных остатков и органических удобрений. Расходная – количеством гумуса, минерализовавшегося при возделывании сельскохозяйственных культур.

Если расходная часть баланса больше приходной, то считается, что баланс гумуса отрицательный, если меньше – положительный. Если расходная часть равна приходной, то баланс – бездефицитный. При определении доз органических удобрений необходимо стремиться, чтобы баланс гумуса был положительный или бездефицитный.

В практике сельскохозяйственного производства широкое распространение получили балансовые расчеты, основанные на справочных данных расхода гумуса в почвах и его поступления за счет гумификации растительных остатков и органических удобрений с учетом коэффициентов гумификации. При балансовых расчетах вначале устанавливают количество минерализовавшегося гумуса. Для дерново-подзолистых почв Республики Беларусь можно использовать данные, представленные в табл. 4.2.

Вымывание органического вещества из пахотного слоя дерново-подзолистых почв не превышает 30–40 кг/га в год. С поверхностным стоком эти почвы теряют до 80–100 кг/га гумуса.

Таблица 4.2. Нормативы потерь гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах

Культуры	Потери от запасов в пахотном горизонте				
	%	т/га при содержании гумуса, %			
		< 1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	>2,5
Суглинистые почвы					
Зерновые, лен	1,7	0,6	0,9	1,1	1,3
Картофель	3,0	1,1	1,5	2,0	2,2
Сахарная свекла, кормовые корне- плоды, овощи	3,4	1,3	1,8	2,3	2,6
Кукуруза на зеленую массу	2,6	1,0	1,3	1,7	1,9
Однолетние	1,5	0,6	0,8	1,0	1,1
Силосные без кукурузы	1,3	0,5	0,7	0,9	1,0
Многолетние травы	0,7	0,3	0,4	0,5	0,6
Чистые пары	4,5	1,7	2,3	3,0	3,4
Супесчаные почвы, подстилаемые мореной					
Зерновые, лен	1,9	0,8	1,1	1,4	1,5
Картофель	3,4	1,4	1,9	2,4	2,7
Сахарная свекла, кормовые корне- плоды, овощи	3,8	1,6	2,1	2,7	3,0
Кукуруза на зеленую массу	2,9	1,2	1,6	2,1	2,3
Однолетние	1,7	0,7	0,9	1,2	1,4
Силосные без кукурузы	1,5	0,6	0,8	1,1	1,2
Многолетние травы	0,8	0,3	0,5	0,6	0,7
Чистые пары	5,1	2,1	2,8	3,7	4,1
Супесчаные почвы, сменяемые песками и песчаные					
Зерновые, лен	2,1	0,9	1,2	1,3	
Картофель	3,8	1,6	2,1	2,4	
Сахарная свекла, кормовые корне- плоды, овощи	4,3	1,8	2,4	2,7	
Кукуруза на зеленую массу	3,3	1,4	1,9	2,1	
Однолетние	1,8	0,7	1,0	1,2	
Силосные без кукурузы	1,6	0,6	0,9	1,0	
Многолетние травы	0,9	0,4	0,5	0,6	
Чистые пары	5,7	2,4	3,2	3,7	

Примечание. Масса пахотного горизонта для суглинистых почв 3000, супесчаных – 3200, песчаных – 3300 т/га.

Приходная часть гумусового баланса складывается из поступления органического вещества с корневыми и пожнивными остатками сельскохозяйственных культур, с навозом и другими органическими удобрениями, с семенами, посадочным материалом и связывания некоторого количества углекислого газа атмосферы синезелеными водорослями.

Поступление в почву органического вещества с корневыми и пожнивными остатками можно узнать по коэффициенту выхода растительных остатков по отношению к основной продукции. Данные о коэффициентах выхода растительных остатков основных сельскохозяйственных культур представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. **Нормативы поступления в почву растительных остатков сельскохозяйственных культур в зависимости от урожайности**

Культуры	Урожайность основной продукции, ц/га	Отношение массы растительных остатков к массе основной продукции
1	2	3
Озимая рожь	До 20	1,30
	20–30	1,10
	Более 30	0,90
Озимая пшеница	До 20	1,30
	20–30	1,10
	Более 30	0,90
Яровая пшеница	До 20	1,30
	20–30	1,20
	Более 30	1,00
Ячмень	До 20	1,10
	20–30	1,00
	Более 30	0,80
Овес	До 20	1,40
	20–30	1,30
	Более 30	1,10
Гречиха	До 20	1,40
	Более 20	1,10
Вика на зерно	До 20	0,80
	Более 20	0,70
Кормовые бобы	Более 20	1,50
Люпин на зеленую массу	До 250	0,11
	Более 250	0,09
Лен (волокно)	До 3	0,50
	3–6	0,40
	Более 6	0,30
Кормовые корнеплоды, сахарная свекла	До 200	0,05
	200–350	0,04
	Более 350	0,03
Картофель	До 150	0,18
	150–250	0,15
	Более 250	0,13
Овощи	До 100	0,14
	100–200	0,11
	Более 200	0,08

Окончание табл. 4.3

1	2	3
Кукуруза на зеленую массу	До 200	0,10
	200–300	0,08
	Более 300	0,07
Люпин на зерно	До 20	1,40
	Более 20	1,10
Горох на зерно	До 10	0,90
	Более 10	0,85
Кормовые бобы	До 10	1,70
	10–20	1,60
Однолетние травы на сено	До 30	0,80
	Более 30	0,70
Озимые на зеленый корм	До 120	0,18
	Более 120	0,16
Многолетние травы на сено и зеленую массу в пересчете на сено	До 45	1,40
	Более 45	1,00
Клевер на сено 1-го года пользования	До 40	1,00
	40–70	0,80
	Более 70	0,65
Однолетние травы на зеленую массу	До 200	0,18
	200–300	0,17
	Более 300	0,16
Райграс однолетний на зеленую массу	До 200	0,26
	Более 200	0,21
Бобово-злаковая смесь 1-го года пользования	До 40	0,90
	40–70	0,70
	Более 70	0,50
Бобово-злаковая смесь 2-го года пользования	До 40	1,20
	40–70	1,00
	Более 70	0,83
Бобово-злаковая смесь 3-го года пользования	До 40	1,50
	40–70	1,30
	Более 70	1,10
Многолетние травы на пастбищах 1-го года пользования	До 80	0,90
	Более 80	0,76
Многолетние травы на пастбищах 2-го года пользования	До 80	1,00
	Более 80	0,80
Многолетние травы на пастбищах 3-го года пользования	До 80	1,20
	Более 80	1,00

В том случае, если урожайность будет выше, чем установлено в таблице, необходимо брать коэффициент выхода послеуборочных остатков для последнего, наиболее высокого предела урожайности.

Поступление органического вещества с продуктами жизнедеятель-

ности почвенных водорослей и с семенами растений незначительно и колеблется от 100 до 200 кг углерода на 1 га. Поэтому расходы гумуса при вымывании и с поверхностным стоком компенсируются его поступлением в результате ассимиляции водорослями и при балансовых расчетах не учитываются.

По табл. 4.4 приведены коэффициенты гумификации растительных остатков.

Таблица 4.4. **Нормативы поступления в почву гумусовых веществ и растительных остатков**

Культуры	Гранулометрический состав почвы	Коэффициент гумификации растительных остатков
Зерновые, лен, многолетние травы	Суглинок	0,20
	Супесь	0,17
	Песок	0,14
Кормовые корнеплоды, картофель, овощи	Суглинок	0,10
	Супесь	0,085
	Песок	0,060
Кукуруза и однолетние травы	Суглинок	0,15
	Супесь	0,30
	Песок	0,11

Примерный расчет баланс гумуса в полевом севообороте представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5. **Расчет баланса гумуса и дозы органических удобрений в полевом севообороте (пример)**

Культуры	Урожайность, т/га	Масса растительных остатков, т/га	Коэффициент гумификации	Образовалось гумуса из растительных остатков, т/га	Минерализовалось, т/га	Баланс, ± т/га	Итого, т/га	Требуется внести навоза для бездефицитного баланса, т/га
1. Ячмень + клевер	2,7	2,70	0,20	0,54	0,9	−0,36	−2,19	44 т/га
2. Клевер (сено)	5,5	4,40	0,20	0,88	0,4	+0,48		
3. Оз. пшеница	3,2	2,88	0,20	0,58	0,9	−0,32		
4. Лен (волокно)	0,5	0,20	0,20	0,04	0,9	−0,86		
5. Картофель	25,0	3,75	0,10	0,37	1,5	−1,13		
Почва легкосуглинистая Содержание гумуса – 1,7 %								

Составляем севооборот из 5–6 культур, возделывание которых наиболее эффективно на одной из изучаемых почв.

Количество поступающих в почву растительных остатков в зависимости от урожая культур определяют, руководствуясь коэффициентом выхода растительных остатков по отношению к урожаю культуры.

Используя коэффициенты гумификации растительных остатков (табл. 4.4) определяют количество образовавшегося гумуса из растительных остатков, умножив массу растительных остатков, поступающих в почву под отдельными культурами, на коэффициент гумификации.

Параллельно с накоплением идет процесс минерализации гумуса. Потери гумуса в результате минерализации зависят от вида культур, агротехники возделывания, гранулометрического состава почвы (табл. 4.2).

Баланс гумуса находят по разности между приходной и расходной статьями гумуса.

Если баланс гумуса складывается отрицательно, то далее необходимо рассчитать дозу органических удобрений (навоза), которую нужно внести в севообороте для создания бездефицитного баланса гумуса.

Расчет ведут по формуле:

$$Д = \frac{Б}{С},$$

где Д – доза навоза, которую необходимо внести в севообороте, т;

Б – баланс гумуса;

С – выход гумуса при гумификации 1 т навоза (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Образование гумусовых веществ из 1 т органических удобрений, кг

Вид удобрения	Гранулометрический состав почв		
	Суглинистые	Супесчаные	Песчаные
Соломистый навоз	50,0	42,5	35,0
Удобрения на основе торфа (навоз, компосты, смеси)	75,0	66,0	57,0
Полужидкий навоз	30,0	25,5	21,0
Жидкий навоз	10,0	8,5	7,0

Полученный результат округляют до целых чисел.

Для достижения положительного баланса необходимо увеличить дозу органических удобрений на 10 %.

Расчет баланса гумуса в почве можно также произвести по форме табл. 4.7 путем сопоставления проектируемого внесения органических

удобрений на 1 га севооборотной площади с требуемым для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве (табл. 4.8).

Таблица 4.7. Баланс гумуса в пахотном слое почвы в севообороте

Почва, процент пропашных культур в севообороте	Содержание гумуса до разработки системы удобрения, %	Требуемая насыщенность органическими удобрениями для бездефицитного баланса гумуса, т/га	Проектируется вносить органических удобрений, т/га	Баланс гумуса в почве за год, кг/га	Прогнозируемое содержание гумуса через ротацию севооборота, %
Суглинистая, 20 %	1,70	13	15	100	1,72

Таблица 4.8. Нормативы потребности в органических удобрениях для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах, т/га

Почвы	% пропашных культур											
	10				20				30			
	% многолетних трав											
	15	20	30	40	15	20	30	40	15	20	30	40
Дерново-подзолистые:												
суглинистые	10	9	7	6	14	13	11	10	16	15	13	12
супесчаные	12	11	9	8	16	15	13	12	18	17	15	14
песчаные	14	13	11	10	19	18	16	15				

Если в почвах хозяйства не достигнуто оптимальное содержание гумуса, то, воспользовавшись данными табл. 4.9, можно установить дополнительную потребность в органических удобрениях для достижения положительного баланса гумуса.

Таблица 4.9. Нормативы дополнительной потребности в органических удобрениях для достижения положительного баланса гумуса, т/га

Содержание гумуса, %	Гранулометрический состав почвы			
	Суглинистые	Супесчаные, подстилаемые мореной	Супесчаные, подстилаемые песком	Песчаные
До 1,50	3,0	3,4	3,8	4,3
1,51–2,00	2,0	2,3	2,6	3,0
2,01–2,50	1,0	1,2	1,4	1,7
Более 2,50	0,5	0,6	–	–

Например, почва в севообороте дерново-подзолистая легкосуглинистая, содержит гумуса 1,70 %. В структуре посевных площадей 20 % пропашных культур и 20 % многолетних трав. По нормативам для бездефицитного баланса гумуса необходима насыщенность органическими удобрениями 13 т/га (табл. 4.8). Проектируется вносить их 15 т/га, т. е. сверх норматива будет вноситься 2 т/га, из которых образуется 100 кг/га гумуса в год ($50 \cdot 2 = 100$) (табл. 4.9).

С 1 т органических удобрений в год образуется гумуса: на суглинистых почвах 50 кг, супесчаных, подстилаемой мореной – 45, супесчаных, подстилаемых песком – 40 и песчаных 35 кг. В 5-польном севообороте за ротацию прирост гумуса будет равен 500 кг/га (или 0,02 % к массе почвы):

$$\frac{\text{Масса гумуса } 500 \text{ кг} \cdot 100}{\text{Масса почвы } 3000000 \text{ кг}} = 0,02 \text{ \%}.$$

Исходное содержание гумуса в почве – 1,70 %. За ротацию севооборота оно возрастет до 1,72 %.

5. ПОЧВЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ И МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Кислотность почвы – это способность почвы проявлять свойства кислот. Она проявляется благодаря имеющимся в почве кислотам, обменно-поглощенным катионам водорода, а также катионам алюминия, способным при вытеснении из почвенного поглощающего комплекса (ППК) образовывать в почвенном растворе гидролитически кислые соли. Почвенный поглощающий комплекс – это совокупность высокодисперсных минеральных, органических и органоминеральных частиц твердой фазы, способных поглощать, удерживать и обменивать молекулы, ионы, различные вещества и соединения. Основная доля поглонительной способности приходится на коллоиды (частицы размером менее 0,0001 мм).

В зависимости от места нахождения катионов водорода и алюминия кислотность почвы делится на актуальную (активную) кислотность почвенного раствора и потенциальную (скрытую) кислотность твердой фазы почвы, которая, в свою очередь, подразделяется на обменную и гидролитическую.

Кислотность выражается в миллиэквивалентах на 100 г почвы, а актуальная и обменная, кроме того, – в единицах pH – отрицательного логарифма активности ионов водорода ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} соответственно).

Миллиэквивалент (мэкв) — тысячная доля грамм-эквивалента. При объемных определениях вычисление кислотности производят умножением числа миллилитров раствора, израсходованного на титрование, на молярность этого раствора.

Для пересчета ионов в миллиэквиваленты массу иона в миллиграммах делят на эквивалентный вес. Например: масса Са = 40 мг, эквивалентный вес = 20, что отвечает $40/20 = 2$ мэкв.

Актуальная кислотность обусловлена наличием в почвенном растворе водорастворимых органических кислот (щавелевой, лимонной, яблочной, фульвокислот), гидролитически кислых солей и др., прежде всего угольной кислоты, которая образуется в результате биологической деятельности в почве и диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- , и раствор становится кислым за счет повышения концентрации ионов H^+ и накопления свободной угольной кислоты.

Кроме того, источником ионов H^+ могут быть гидролитически кислые соли алюминия: $\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{Cl}^-$.

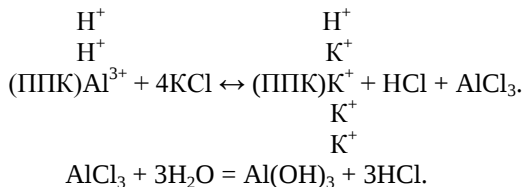
Связь между концентрацией ионов водорода и реакцией среды показана в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Значения pH и реакция среды

Концентрация ионов H^+ , г/л	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
pH	3	4	5	6	7	8	9	10
Реакция среды	Кислая		Слабо-кислая		Нейтральная	Слабо-щелочная		Щелочная

Потенциальная кислотность обусловлена наличием ионов H^+ и Al^{3+} в обменном состоянии в ППК. Она подразделяется на обменную и гидролитическую.

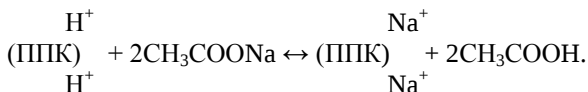
Обменной кислотностью почвы называют ту часть потенциальной кислотности, которая проявляется при взаимодействии почвы с раствором нейтральной соли (KCl). Реакция ее протекает по схеме:



Кислота, образующаяся при вытеснении из почвы алюминия и обменного водорода, которые переходят в солевую вытяжку, составляет обменную кислотность.

Гидролитическая кислотность почвы. При обработке почвы раствором нейтральной соли выявляется не вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из ППК можно вытеснить раствором гидролитически щелочной соли, например уксуснокислого натрия (CH_3COONa). Щелочная реакция раствора этой соли является главной причиной более полного вытеснения обменного водорода из почвы.

Реакция протекает по схеме:



Количество образовавшейся уксусной кислоты характеризует величину гидролитической кислотности и может рассматриваться как суммарная кислотность почвы, состоящая из актуальной и потенциальной.

В зависимости от pH водной или солевой вытяжки различают следующие уровни кислотности или щелочности почвы (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Уровни кислотности и щелочности почв (И. С. Кауричев)

pH _{KCl}	Уровень кислотности и щелочности почвы	Почвы
<4,5	Сильнокислая	Болотные, болотно-подзолистые, подзолистые, красноземы тропические
4,5–5,0	Кислая	Подзолистые, дерново-подзолистые, красноземы тропические
5,1–5,5	Слабокислая	То же
5,6–6,0	Близкая к нейтральной	Окультуренные дерново-подзолистые и красноземы, серые лесные
6,1–7,1	Нейтральная	Серые лесные, черноземы
7,2–7,5	Слабощелочная	Черноземы южные, каштановые, сероземы с признаками солонцеватости
7,7–8,5	Щелочная	Солонцы, солончаки
>8,5	Сильнощелочная	Содовые солонцы, солончаки

Примечание. Для кислых почв вытяжка 1 М раствора KCl (pH_{KCl}), для щелочных – водная вытяжка (pH_{вод}).

Градации почв по степени кислотности для почв Республики Беларусь приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Градация почв Республики Беларусь по степени кислотности

Группа	Степень кислотности	рН _{KCl}	
		Минеральные почвы	Торфяные почвы
I	Сильнокислые	<4,50	<4,00
II	Среднекислые	4,51–5,00	4,01–4,50
III	Кислые	5,01–5,50	4,50–5,00
IV	Слабокислые	5,51–6,00	5,01–5,50
V	Близкие к нейтральным	6,01–6,50	5,51–6,00
VI	Нейтральные	6,51–7,00	6,01–6,50
VII	Слабощелочные	>7,00	>6,50

5.1. Определение актуальной кислотности

Ход анализа. На теххимических весах отвешивают навеску почвы массой 10 г и переносят в стаканчик. К навеске прибавляют 25 мл воды (соотношение почвы и раствора равно 1:2,5). Содержимое стаканчика перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 5–10 мин. После отстаивания величину рН определяют на потенциометре и записывают ее значение.

Потенциометрическое измерение проводят после проверки рН-метра по буферному раствору.

Ополаскивают электроды дистиллированной водой, снимают лишние капли воды фильтровальной бумагой и опускают электроды в испытуемый раствор. Показания снимают с точностью до сотых.

По окончании работы электроды промывают и погружают в дистиллированную воду, закрыв пробкой вспомогательный электрод. Прибор выключают из сети.

5.2. Определение обменной кислотности

Ход анализа. На теххимических весах берут 10 г воздушно-сухой почвы, помещают ее в стаканчик вместимостью 50 мл и приливают 25 мл 1 М раствора KCl (для торфяных почв соотношение почвы и раствора равно 1:25). Содержимое стаканчика перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 5–10 мин. После отстаивания величину рН определяют на потенциометре и записывают ее значение.

Потенциометрическое измерение проводят после проверки рН-метра по буферному раствору.

Ополаскивают электроды дистиллированной водой, снимают лишние капли воды фильтровальной бумагой и опускают электроды в испытуемый раствор. Показания снимают с точностью до сотых.

По окончании работы электроды промывают и погружают в дистиллированную воду, закрыв пробкой вспомогательный электрод. Прибор выключают из сети.

5.3. Определение гидролитической кислотности почвы по Каппену методом титрования

Ход анализа. На теххимических весах отвешивают 20 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками диаметром 1 мм, и высыпают в колбу вместимостью 250 мл, приливают к почве 50 мл 1 М раствора CH_3COONa с pH 8,3–8,4 и взбалтывают в течение 1 ч. Суспензию отфильтровывают через складчатый фильтр, предварительно хорошо взболтав. Если фильтрат окажется мутным, то его перефильтровывают. Из прозрачного фильтрата берут пипеткой 25 мл и переносят в коническую колбу вместимостью 100 мл. Прибавляют 1–2 капли фенолфталеина и оттитровывают 0,1 М раствором NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин.

Гидролитическую кислотность вычисляют по приведенной в данном подразделе формуле, а результаты определения записывают в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Результаты определения гидролитической кислотности

Горизонт и глубина взятия образца, см	Навеска почвы, г	Количество NaOH, пошедшее на титрование, мл	Поправка к титру NaOH	Коэффициент гигроскопичности	Гидролитическая кислотность, мэкв/100 г
	<i>C</i>	<i>a</i>	K_{NaOH}	$K_{\text{H}_2\text{O}}$	$H_{\text{г}}$

$$H_{\text{г}} = \frac{a \cdot K_{\text{NaOH}} \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot 1,75 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где $H_{\text{г}}$ – гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы;

a – количество 0,1 М раствора NaOH, пошедшее на титрование, мл;

K_{NaOH} – поправка к титру;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

0,1 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

1,75 – поправка на полноту вытеснения ионов H^+ ;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата (10 г).

Реактивы:

1) 1 М раствор KCl (74 г соли растворяют в 1 л дистиллированной воды, pH 5,6–6,0);

2) 1 М раствор CH_3COONa (136 г соли растворяют в 1 л дистиллированной воды, pH 8,3–8,4);

3) 0,1 М раствор NaOH (готовят из фиксаля или 4 г NaOH х. ч. растворяют в 1 л дистиллированной воды и устанавливают поправку к титру по фиксалю H_2SO_4);

4) фенолфталеин, 1%-ный спиртовой раствор (1 г фенолфталеина растворяют в 100 мл 90–95%-ного спирта).

5.4. Определение гидролитической кислотности по методу Капена в модификации ЦИНАО рН-метрическим методом

Ход анализа. На теххимических весах отвешивают 30 г просеянной воздушно-сухой почвы, к которой приливают 75 мл 1 М раствора CH_3COONa . Почву с раствором перемешивают в течение 1 мин и оставляют на 18–20 ч, после чего снова перемешивают в течение 1 мин и измеряют рН суспензии стеклянным электродом. При определении рН анализируемых суспензий электроды при переносе из одной суспензии в другую не обмывают. Значение рН с точностью до 0,01 считывают со шкалы прибора не ранее чем через 1 мин после погружения электрода.

Во время работы настройку прибора периодически контролируют по буферному раствору с рН 6,86.

Полученные результаты используют для определения кислотности минеральной почвы (табл. 5.5) и торфяной (табл. 5.6).

Таблица 5.5. Перевод рН ацетатной вытяжки в единицы гидролитической кислотности для минеральных почв

рН	Гидролитическая кислотность, мг на 100 г почвы, при рН (сотые доли)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,0	17,30	16,90	16,60	16,20	15,80	15,50	15,20	14,90	15,50	14,20
6,1	13,90	13,60	13,30	13,10	12,80	12,60	12,20	12,00	11,70	11,50
6,2	11,20	11,00	10,80	10,50	10,30	10,10	9,84	9,64	9,44	9,23
6,3	9,04	8,83	8,65	8,45	8,28	8,11	7,92	7,76	7,59	7,41
6,4	7,28	7,11	6,97	6,81	6,69	6,53	6,38	6,25	6,11	5,98
6,5	5,85	5,73	5,61	5,48	5,37	5,25	5,14	5,03	4,92	4,82
6,6	4,71	4,61	4,52	4,42	4,32	4,23	4,14	4,03	3,96	3,82
6,7	3,79	3,71	3,63	3,56	3,48	3,40	3,33	3,26	3,19	3,13
6,8	3,05	2,99	2,92	2,86	2,80	2,74	2,68	2,62	2,57	2,52
6,9	2,46	2,41	2,35	2,31	2,25	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
7,0	1,98	1,94	1,90	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,67	1,63
7,1	1,60	1,56	1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31
7,2	1,28	1,26	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,08	1,06
7,3	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85
7,4	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68
7,5	0,67	0,66	0,64	0,64	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55
7,6	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
7,7	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36
7,8	0,28	0,28	0,27	0,29	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
7,8	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	—	—
7,8	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	0,29
7,9	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
7,9	0,28	0,28	0,27	0,20	—	—	—	—	—	—
8,0	<0,28	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 5.6. Перевод рН ацетатной вытяжки в единицы гидролитической кислотности для торфяных почв

рН	Гидролитическая кислотность, мг на 100 г почвы при рН (сотые доли)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,7	145,0	142,0	138,0	135,0	132,0	129,0	127,0	124,0	121,0	118,0
6,8	116,0	113,0	110,0	108,0	106,0	103,0	101,0	98,7	96,5	94,4
6,9	92,3	90,2	88,2	86,3	84,4	82,5	80,6	78,8	77,1	75,4
7,0	73,7	72,1	70,5	68,9	67,4	65,9	64,4	63,3	61,6	60,2
7,1	58,8	57,5	56,3	55,0	53,8	52,6	51,4	50,3	49,2	48,1
7,2	47,0	45,9	44,9	43,9	42,9	42,0	41,1	40,2	39,3	38,4
7,3	37,5	36,7	35,9	35,1	34,3	33,5	32,8	32,1	31,3	30,6
7,4	29,9	29,3	28,7	28,0	27,4	26,8	26,2	25,6	25,0	24,5
7,5	23,9	23,4	22,9	22,4	21,9	21,4	20,9	20,4	20,0	19,5
7,6	19,1	18,7	18,3	17,9	17,5	17,1	—	—	—	—

Примечание. Расчет H_t при рН ацетатной вытяжки 8,0 и выше не проводится, так как в этих условиях величина рН и титруемой ацетатной вытяжки может быть не связана с собственно гидролитической кислотностью, а зависит от поглощения CO_2 из воздуха и замещения натрия в растворе кальцием и магнием почв.

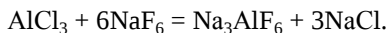
Пробы почвы массой 1 г, взвешенные с погрешностью не более 0,1 г, пересыпают в емкости, установленные в десятипозиционные каскеты, или в конические колбы. К пробам приливают дозатором или цилиндром по 150 см³ экстрагирующего раствора. Почву с раствором взбалтывают в течение 5 мин и оставляют на 18–20 ч, после чего встряхивают вручную 2–3 раза. Полученные суспензии используют для определения кислотности.

Реактивы:

1) 1 М раствор CH_3COONa (136 г соли растворяют в 1 л дистиллированной воды, рН 8,3–8,4).

5.5. Определение обменной кислотности и подвижного алюминия по А. В. Соколову

Принцип метода. Обычный метод определения обменной кислотности почвы с применением KCl дает возможность установить лишь суммарное количество ионов H^+ и Al^{3+} , перешедших в солевую вытяжку в форме HCl и $AlCl_3$. По А. В. Соколову можно определить общую обменную кислотность и кислотность, обусловленную алюминием, если к полученному раствору добавить достаточное количество фтористого натрия или калия. При этом содержащиеся в растворе ионы Al^{3+} выпадают в осадок в виде нейтральной комплексной соли – криолита (Na_3AlF_6) – по реакции:



Следовательно, разделив вытяжку, приготовленную для определения обменной кислотности, на две части, в одной определяют суммарное содержание ионов H^+ и Al^{3+} , в другой после осаждения алюминия устанавливают кислотность, вызываемую только обменным водородом. По разности определяют содержание обменного Al^{3+} в вытяжке, следовательно, и в почве.

5.5.1. Определение общей обменной кислотности

Ход анализа. Взвешивают на теххимических весах 40 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, и помещают в колбу, приливают 100 мл 1 М раствора KCl и взбалтывают в течение 1 ч. Отфильтровывают солевую вытяжку через беззольный фильтр. Берут две конические колбы и приливают в каждую по 25 мл отфильтрованной вытяжки. Кипятят содержимое обеих колбочек 5 мин для удаления CO_2 . В одной колбочке горячую вытяжку оттитровывают 0,01 М раствором NaOH в присутствии 2–3 капель фенолфталеина до слабо-розового окрашивания. Количество щелочи, пошедшее на титрование, будет соответствовать суммарному содержанию во взятом объеме вытяжки H^+ и Al^{3+} .

Величину общей обменной кислотности вычисляют по формуле:

$$A = \frac{a \cdot K_{\text{NaOH}} \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где A – обменная кислотность, мэкв/100 г почвы, г;

a – количество 0,01 М раствора NaOH , израсходованное при горячем титровании, мл;

0,01 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая взятому для титрования объему раствора, г.

5.5.2. Определение подвижного алюминия

Ход анализа. В другую колбу после кипячения прибавляют 1 мл 3,5%-ного раствора NaF , охлаждают до комнатной температуры и оттитровывают 0,01 М раствором NaOH в присутствии 2–3 капель фенолфталеина до слабо-розовой окраски. Количество израсходованной

щелочи будет соответствовать содержанию водородных ионов. Содержание обменного алюминия вычисляют по формуле:

$$Al = \frac{(a - b)K_{NaOH} \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot K_{H_2O}}{C},$$

где Al – содержание алюминия, мэкв/100 г почвы;

a – количество 0,01 М раствора NaOH, израсходованное при горячем титровании, мл;

b – количество 0,01 М раствора NaOH, израсходованное при холодном титровании и с добавлением 3,5%-ного раствора NaF, мл.

Для выражения содержания алюминия в миллиграммах на 100 г почвы количество миллиэквивалентов умножают на 9 (химический эквивалент алюминия). Результаты определений записывают в табл. 5.7.

Таблица 5.7. Результаты определения обменной кислотности и обменного алюминия

Навеска почвы, соответствующая объему филь-трата, г	Количество 0,01 М NaOH, пошедшее на титрование, мл		Поправка к титру 0,01 М NaOH	Коэффициент гигроскопичности	Обменная кислотность, мэкв/100 г почвы	Обменный Al^{3+}	
	горячее	холодное				мэкв/100 г почвы	мг/100 г почвы
С	a	b	K_{NaOH}	K_{H_2O}	A	Al	—

На основании полученных данных можно определить долю обменной кислотности, обусловленной ионами H^+ , как разность между величиной общей обменной кислотности и кислотности, обусловленной ионами Al^{3+} .

$$H = A - Al,$$

где H – содержание ионов H^+ , мэкв/100 г почвы.

В почвах с высоким содержанием гумуса обменная кислотность обусловлена главным образом ионами водорода, а с низким – преимущественно обменным алюминием. Установлено, что чем выше обменная кислотность, тем больше в ней обменного алюминия, вред от которого больше, чем от обменного водорода, и что токсичность обменного алюминия проявляется при его содержании $\geq 2,0$ мг/100 г почвы.

Реактивы:

- 1) 1 М раствор KCl (74 г соли растворяют в 1 л дистиллированной воды, pH 5,6–6,0);
- 2) титрованный раствор 0,01 М NaOH;
- 3) фенолфталеин, 1%-ный спиртовой раствор (1 г фенолфталеина растворяют в 100 мл 90–95%-ного спирта);
- 4) 3,5%-ный раствор NaF, приготовленный на воде, не содержащей CO₂.

6. СУММА ОБМЕННЫХ ОСНОВАНИЙ

Почвенные коллоиды, благодаря наличию большой суммарной поверхности и электрического заряда, способны поглощать (сорбировать) из жидкой фазы (почвенного раствора) ионы. Преобладающая часть минеральных частиц и все органические коллоиды приобретают отрицательный заряд, поэтому поглощаются преимущественно катионы. Поглощенные катионы можно разделить на две группы:

- 1) обменные катионы оснований Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.;
- 2) обменные катионы H^+ и Al^{3+} .

Поглощенные коллоидами катионы способны вступать в реакции обмена. Поэтому их называют обменными. Общее количество поглощенных катионов оснований, способных к обмену на катионы почвенного раствора, называется **суммой обменных оснований** и выражается в миллиэквивалентах на 100 г почвы.

Почвы, содержащие в поглощенном состоянии преимущественно катионы оснований (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.), называются насыщенными основаниями.

Почвы, в которых наряду с основаниями в поглощенном состоянии находятся в значительных количествах ионы водорода и алюминия, называются ненасыщенными основаниями.

К первой группе почв относятся черноземы, каштановые, бурые почвы, сероземы, ко второй – дерново-подзолистые, серые лесные, красноземы, болотные почвы.

Состав обменных катионов оказывает большое влияние на агрономические свойства почвы. Почвы, насыщенные основаниями, имеют прочную структуру, благоприятную реакцию среды.

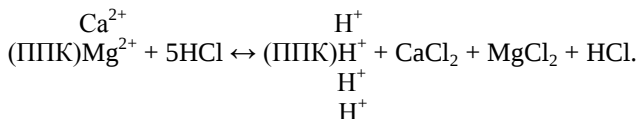
Определение состава и количества обменных катионов имеет важное значение в познании агрономических свойств почвы. В частности, оно дает возможность более тщательно подойти к решению вопроса о необходимости известкования кислых почв.

6.1. Определение суммы обменных оснований по методу Каппена-Гильковица

Принцип метода. Сумма обменных оснований определяется исходя из способности их вытесняться каким-либо другим катионом, находящимся в растворе или же введенным в раствор.

В кислых почвах сумма обменных оснований определяется по методу Каппена-Гильковица. В основу метода положено взаимодействие почвы с 0,1 М раствором HCl. Образующиеся при диссоциации HCl водородные ионы вытесняют из поглощенного состояния основания (Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.). Зная количество соляной кислоты до взаимодействия с почвой и после взаимодействия, вычисляют сумму обменных оснований.

Реакция взаимодействия HCl с поглощающим комплексом протекает по схеме:



Ход анализа. Из воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками диаметром 1 мм, берут навеску массой 20 г и переносят в колбу вместимостью 250 мл. К почве приливают 100 мл 0,1 М раствора HCl, содержимое взбалтывают в течение 1 ч на ротаторе и оставляют на сутки. Через сутки содержимое колбы отфильтровывают через складчатый фильтр. Берут пипеткой 50 мл фильтрата в коническую колбу вместимостью 200 мл и кипятят в течение 1–2 мин для удаления CO_2 . В горячий фильтрат прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и оттитровывают 0,1 М раствором NaOH до слабо-розовой окраски.

Сумму обменных оснований вычисляют по формуле

$$S = \frac{(a \cdot K_1 - b \cdot K_2) \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г;

a – количество фильтрата, взятое для титрования, мл;

K_1 – поправка к титру 0,1 М раствора HCl;

b – количество 0,1 М раствора NaOH, пошедшее на титрование, мл;

K_2 – поправка к титру 0,1 М раствора NaOH;

0,1 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата, г.

Результаты определения записывают в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Результаты определения суммы обменных оснований

Количество фильтра, взятого для анализа, мл	Навеска почвы, соответствующая объему фильтра, г	Количество 0,1 М NaOH, пошедшее на титрование, мл	Поправка к титру		Коэффициент гигроскопичности	Сумма обменных оснований, мэкв/100 г
			0,1 М HCl	0,1 М NaOH		
<i>a</i>	<i>C</i>	<i>b</i>	K ₁	K ₂	K _{n20}	<i>S</i>

Реактивы:

- 1) 0,1 М раствор HCl (8,24 мл HCl ($d_v = 1,19$) растворяют в 1 л дистиллированной воды);
- 2) титрованный раствор 0,1 М NaOH;
- 3) фенолфталеин, 1%-ный раствор.

7. ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Обменными катионами кальция и магния называют катионы этих металлов, находящиеся во внешнем слое (слое компенсирующих ионов) мицелл почвенных коллоидов и способные к обменным реакциям с катионами почвенного раствора.

При преобладании в составе ППК обменных катионов кальция и магния создаются наиболее благоприятные условия питания растений. Рекомендуемое значение степени насыщения сорбционного комплекса кальцием составляет 60–80 % от емкости катионного обмена (ЕКО). Такое доминирующее положение кальция по сравнению с другими катионами связано с коагулирующей ролью этого катиона, от чего зависит структура почвы. Кальций является преобладающим катионом в почве, где pH_{KCl} более 5,5. Плодородные почвы содержат порядка 50–100 мг/л кальция в почвенном растворе.

Рекомендуемая степень насыщения сорбционного комплекса магнием равна 10–20 % от ЕКО. По сравнению с другими катионами магний сорбируется почвой слабее, особенно при повышенной концентрации одновалентных катионов.

7.1. Определение обменных катионов кальция и магния комплексометрическим (трилонометрическим) методом

7.1.1. Определение обменного кальция

Ход анализа. Помещают 5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками диаметром 1 мм, в колбы вместимостью 250 мл, приливают по 100 мл 1 М раствора NaCl и взбалтывают в течение 1 ч. Суспензию фильтруют через плотный беззольный фильтр. В коническую колбу вместимостью 250 мл помещают 50 мл фильтрата и разбавляют водой до 100 мл. Для устранения мешающего титрованию эффекта марганца, железа, меди, алюминия приливают 0,5 мл 5%-ного раствора солянокислого гидроксиламина и 0,5 мл 2%-ного раствора Na₂S. Раствор подщелачивают 20%-ным KOH, предварительно добавив 1–2 капли малахитового зеленого до исчезновения зеленой окраски. Затем приливают еще 20%-ный KOH в количестве 10 мл (pH раствора должен быть не менее 13).

Титрование 0,02 М раствором трилона Б проводят в присутствии индикатора флуорексона до перехода желтой с флуоресценцией окраски в розовую. Содержание кальция (в мэкв) вычисляют по формуле:

$$Ca = \frac{a \cdot 0,02 \cdot K \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{C},$$

где a – количество раствора трилона Б, пошедшее на титрование, мл;

0,02 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты;

K – поправка к титру трилона Б;

C – навеска воздушно-сухой почвы, соответствующая объему раствора, взятого для титрования, г.

7.1.2. Определение суммы кальция и магния

Ход анализа. Помещают 25 мл фильтрата в коническую колбу вместимостью 250 мл, наливают 100 мл дистиллированной воды. При постоянном перемешивании раствора приливают по 0,5 мл 2%-ного Na₂S и раствора гидроксиламина для устранения влияния ионов марганца, меди, железа, алюминия. Затем прибавляют 1 каплю фенолфталеина и подщелачивают раствор 10%-ным KOH до появления слабо-розовой окраски. Приливают 5 мл свежеприготовленного хлоридно-аммиачного буфера (pH раствора в колбе должен быть 9,8–10,3), вносят 10–15 мг хромогена черного и титруют раствором трилона Б до перехода окраски из вишнево-красной в сине-голубую.

Содержание суммы кальция и магния вычисляют по формуле:

$$\text{Ca} + \text{Mg} = \frac{b \cdot 0,02 \cdot K \cdot 100 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{C},$$

где b – количество раствора трилона Б, пошедшее на титрование суммы $\text{Ca} + \text{Mg}$, мл.

Из суммы кальция и магния вычитают количество кальция и получают содержание магния (в мэкв/100 г почвы).

Реактивы:

- 1) 1 М раствор NaCl (58,5 г растворяют в 1 л дистиллированной воды);
- 2) титрованный раствор 0,02 М трилона Б;
- 3) буферный раствор (20 г NH_4Cl растворяют в 500 мл дистиллированной воды, добавляют 100 мл 20%-ного раствора аммиака и доводят объем до 1 л дистиллированной водой);
- 4) флуорексон и хромоген черный (5 г индикатора смешивают с 95 г NaCl);
- 5) гидроксилламин, 5%-ный раствор;
- 6) натрий сернистый, 2%-ный раствор;
- 7) калий едкий, 10%-ный раствор и 20%-ный раствор.

Задачи:

1. Определить оптимальное содержание обменных катионов кальция и магния в дерново-подзолистой супесчаной почве в миллиграммах на килограмм, если оптимальный уровень насыщения ЕКО для Ca составляет 40 %, для Mg – 10 %. Емкость катионного обмена почвы равна 8 мэкв/100 г.

2. Емкость катионного обмена дерново-подзолистой суглинистой почвы составляет 15 мэкв/100 г. Оптимальный уровень насыщения этой почвы кальцием равен 60 %, магнием – 10 %. Рассчитать оптимальное содержание данных катионов в почве.

3. Рассчитать недостаток или избыток обменных катионов в $A_{\text{п}}$ дерново-подзолистой супесчаной почвы на 1 га, если мощность $A_{\text{п}} = 18$ см, $d_v = 1,3$ г/см³, установленное содержание обменного кальция составляет 1700 мг/кг, обменного магния – 25 мг/кг. Наметить мероприятия для достижения оптимального содержания данных катионов в почве.

4. Рассчитать недостаток или избыток обменных катионов в $A_{\text{п}}$, если мощность $A_{\text{п}} = 25$ см, $d_v = 1,3$ г/см³, установленное содержание катионов кальция составляет 1600 мг/кг, магния – 75 мг/кг. Наметить мероприятия для достижения оптимального содержания данных катионов в почве.

8. ЕМКОСТЬ КАТИОННОГО ОБМЕНА

Максимальное количество катионов, удерживаемое почвой в обменном состоянии, называется емкостью катионного обмена. Эта относительно стабильная величина для каждой почвы является одной из важнейших ее характеристик (табл. 8.1).

Таблица 8.1. Емкость катионного обмена различных почв

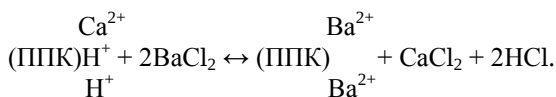
Почва	ЕКО, мэкв/100 г
Дерново-подзолистая песчаная	3–6
Дерново-подзолистая среднесуглинистая	10–20
Дерново-подзолистая глинистая	15–25
Серая лесная среднесуглинистая	15–30
Чернозем типичный тяжелосуглинистый	30–70
Чернозем южный суглинистый	30–50
Светло-каштановая суглинистая	20–40
Серозем типичный суглинистый	8–20
Краснозем суглинистый	13–25

Стандартный лабораторный метод определения ЕКО основан на вытеснении ионами Ba^{2+} из буферного раствора при pH 6,5 всех обменных катионов.

8.1. Определение емкости катионного обмена по методу Е. В. Бобко и Д. К. Аскинази в модификации ЦИНАО

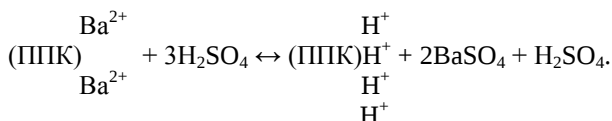
Ход анализа. Пробу анализируемой почвы массой 2,5 г взвешивают с погрешностью не более 0,05 г. Пробы почв помещают в химические стаканы вместимостью 50 мл, заливают 25–30 мл забуференного раствора хлористого бария (pH 6,5) и тщательно перемешивают. Затем полученные суспензии переносят на бумажные фильтры, тщательно смывая остатки почвы из стаканчика на фильтры забуференным раствором хлористого бария. Насыщение почвы барием продолжают, приливая к навескам почвы на фильтрах забуференный раствор хлористого бария порциями по 10–15 мл.

Реакция взаимодействия происходит по схеме:



Каждую последующую порцию раствора приливают после того, как полностью отфильтруется предыдущая. Насыщение продолжают до тех пор, пока pH фильтрата не будет равен исходному значению (pH 6,5). Значение pH измеряют pH-метром со стеклянным электродом. Для полного вытеснения катионов из взятой навески почвы и насыщения ее барием расходуется следующее примерное количество раствора: для легких почв – 150–200 мл, средне- и тяжелосуглинистых – 200–225 мл.

По окончании насыщения барием пробы почв на фильтрах промывают 1 раз дистиллированной водой и оставляют на воздухе на ночь. Подсушенные фильтры с почвой переносят в бытовые банки или другие технологические емкости, дозируют в банки по 100 мл 0,025 М раствора серной кислоты, взбалтывают содержимое в течение 5 мин и отфильтровывают. При этом протекает реакция:



Отбирают дозатором по 20 мл фильтрата в химические стаканы вместимостью 100 мл и титруют остаток непрореагировавшей кислоты 0,1 М раствором NaOH до слабо-розовой окраски в присутствии двух капель фенолфталеина. Для расчетов необходимо провести контрольное титрование 20 мл исходного 0,025 М раствора H_2SO_4 .

Емкость катионного обмена вычисляют по формуле:

$$\text{ЕКО} = \frac{(a - b) \cdot 0,1 \cdot 100 \cdot 100 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{20 \text{ С}},$$

где ЕКО – емкость катионного обмена, мэкв/100 г;

a – объем раствора NaOH, израсходованный на контрольное титрование 20 мл 0,05 М раствора H_2SO_4 , мл;

b – объем раствора NaOH, израсходованный на титрование 20 мл фильтрата (после взаимодействия 0,025 М H_2SO_4 с почвой, насыщенной барием), мл;

0,1 – коэффициент пересчета в миллиэквиваленты на 100 г;

100 – объем 0,025 М раствора H_2SO_4 , взятый для вытеснения поглощенного почвой бария, мл;

100 – коэффициент пересчета результатов анализа на 100 г почвы;

С – навеска воздушно-сухой почвы, г;

20 – объем фильтрата, взятого для титрования, мл.

Результаты определения записывают в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Результаты определения емкости катионного обмена

Генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Навеска почвы, г	0,1 М раствор NaOH, пошедший на титрование, мл		Нормальность NaOH	Коэффициент гигроскопичности	Емкость катионного обмена, мэкв/100 г
–	<i>C</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	0,1	K_{H_2O}	<i>EKO</i>

Реактивы:

1) буферный раствор $BaCl_2$, pH 6,5 (78,37 г $Ba(OH)_2 \cdot 2H_2O$ нейтрализуют 70 мл 50%-ного раствора CH_3COOH и приливают к 10 л раствора, содержащего 61,1 г $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, перемешивают и проверяют pH, доводя до заданной величины добавлением $Ba(OH)_2$ или CH_3COOH).

8.2. Определение емкости катионного обмена расчетным путем

Емкость катионного обмена наряду с лабораторным определением может быть рассчитана по формуле

$$EKO = S + H_g,$$

где EKO – емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы;

S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы;

H_g – гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы.

9. ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВ ОСНОВАНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВ В ИЗВЕШКОВАНИИ И РАСЧЕТ НОРМ ИЗВЕСТИ

Насыщение почвы обменными катионами имеет тесную связь с ее плодородием и физическими свойствами. Присутствие двухвалентных катионов обуславливает структуру почвы, наличие водорода и алюминия связано с ее кислотностью.

Доля участия в ППК обменных оснований определяется степенью насыщенности почв основаниями и рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{S}{EKO} 100,$$

где V – степень насыщенности почвы основаниями, %;

S – сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы;

ЕКО – емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы.

Степенью насыщенности почвы основаниями называется доля обменных катионов оснований, выраженная в процентах от общего числа всех поглощенных катионов почвы. Она показывает, какую часть емкости поглощения занимают обменные основания (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ и др.) и какую – H^+ и Al^{3+} . Величина степени насыщенности основаниями – важный показатель для характеристики поглотительной способности и степени кислотности почвы. Ее вычисление необходимо для определения потребности почв в известковании (табл. 9.1).

Таблица 9.1. Определение степени нуждаемости почв в известковании

рН солевой вытяжки	Степень насыщенности почв основаниями, %		Степень кислотности почвы	Очередность известкования	Примечание
	Песчаные и супесчаные почвы	Суглинистые и глинистые почвы			
<4,5	–	–	Сильная	1	Почвы известкуются при всех условиях
4,6–5,0	–	–	Средняя	2	
5,5–5,0	<65	<75	Средняя	2	
5,1–5,5	>65	>75	Слабая	3	Почвы известкуются при наличии дешевой извести
>5,5	–	–	Близка к нейтральной	4	Почвы обычно не известкуются

При насыщенности основаниями легких почв менее 65 % и тяжелых менее 75 % и при рН солевой вытяжки 5,1–5,5 кислотность почв считается средней и они известкуются наравне с почвами, имеющими рН солевой вытяжки 4,6–5,0; при этом же рН, если насыщенность основаниями легких почв более 65 % и тяжелых более 75 %, почвы считаются слабокислыми и известкуются при наличии извести и под культуры, особо чувствительные к кислотности (сахарную и столовую свеклу, клевер и др.).

Проведенные физико-химические анализы необходимы для решения одной из важнейших практических задач в зонах распространения кислых почв, а именно при определении доз извести в соответствии с особенностями почвы и возделываемых растений.

В табл. 9.2 представлены оптимальные параметры кислотности почв, а в табл. 9.3 и 9.4 – средние дозы известковых удобрений (CaCO_3 , т/га).

Таблица 9.2. Оптимальные параметры кислотности дерново-подзолистых почв и нормативы изменения pH от 1 т CaCO_3

Почвы	Кислотность pH_{KCl}	Зона оптимума Среднее значение pH_{KCl}	Нормативы сдвига pH от 1 т CaCO_3
Суглинистые и глинистые	<4,5		0,10
	4,6–5,0	6,0–6,7	0,08
	5,1–5,5	6,4	0,07
	5,6–6,0		0,05
Супесчаные	<4,5		0,13
	4,6–5,0	5,8–6,2	0,10
	5,1–5,5	6,0	0,08
	5,6–6,0		0,06
Песчаные	<4,5		0,14
	4,6–5,0	5,6–5,8	0,11
	5,1–5,5	5,7	0,08
Торфяно-болотные	<4,5	5,0–5,3	0,06
	4,6–5,0	5,1	0,04

Таблица 9.3. Средние дозы известковых удобрений (CaCO_3 , т/га) для известкования пахотных почв, при залужении и перезалужении сенокосов и пастбищ

Гранулометрический состав пахотного горизонта	Содержание гумуса, %	pH_{KCl}							
		4,25 и менее	4,26–4,50	4,51–4,75	4,76–5,00	5,01–5,25	5,26–5,50	5,51–5,75	5,76–6,00
Пески	<1,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–	–
	1,5–3,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–	–
	>3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–	–
Рыхлые супеси	<1,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	–
	1,5–3,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	–
	>3,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	–
Связные супеси	<2,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	2,5
	>2,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	4,0	3,0
Легкие и средние суглинки	<2,0	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,0	4,5	3,5
	>2,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,0	5,0	4,0
Тяжелые суглинки и глины	Независимо от содержа- ния гумуса	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,0	6,0	5,0
Минеральные почвы сенокосов и пастбищ в целом	<3,0	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	3,5	3,0
	>3,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,0	3,5

Реакция взаимодействия извести с ППК, насыщенным ионами H^+ , протекает по уравнению:

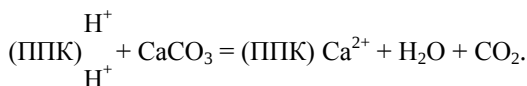


Таблица 9.4. Средние нормы известковых удобрений ($CaCO_3$, т/га) для известкования торфяно-болотных почв

pH_{KCl} торфяного горизонта	$CaCO_3$
3,00–3,35	14
3,36–3,75	12
3,76–4,15	10
4,16–4,45	8
4,46–4,65	6
4,66–4,85	5
4,86–5,00	3

Более точно полную дозу извести ($CaCO_3$, т/га) можно определить по гидролитической кислотности с помощью формулы:

$$CaCO_3 = H_r \cdot 1,5.$$

Указанная формула получается в результате следующих расчетов. Для нейтрализации 1 мэкв кислотности (вышеприведенных ионов H^+) на 100 г почвы, согласно реакции, требуется 1 мэкв, или 50 мг, $CaCO_3$, а на 1 кг почвы – 500 мг $CaCO_3$. Умножив эту величину на массу пахотного слоя 1 га, которую в среднем принимаем за 3 000 000 кг ($d_v = 1,5 \text{ г/см}^3$, мощность пахотного слоя $h = 20 \text{ см}$) и разделив на 1 000 000 000 для перевода миллиграммов в тонны, получаем:

$$CaCO_3 = \frac{H_r \cdot 500 \cdot 3\,000\,000}{1\,000\,000\,000} = H_r \cdot 1,5.$$

Полученные результаты, т. е. величина H_r , умноженная на плотность сложения d_v данного слоя, заносят в табл. 9.5.

Таблица 9.5. Результаты определения степени насыщенности почвы основаниями и расчета доз извести

Сумма обменных оснований, мэкв/100 г почвы	Гидролитическая кислотность, мэкв/100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %	Емкость катионного обмена, мэкв/100 г почвы	Плотность почвы, $г/см^3$	Мощность A_{0n} , см	Масса пахотного слоя 1 га	Обменная кислотность	Доза $CaCO_3$, т/га	
								по pH_{KCl}	по H_r
Σ	H_r	V	ЕКО	d_v	h	M	pH_{KCl}		

Различия в дозах извести для известкования почв, имеющих одинаковую величину pH_{KCl} , но различающихся по содержанию гумуса и гранулометрическому составу (табл. 9.3), объясняются тем, что песчаные и супесчаные почвы бедные гумусом, отличаются от суглинистых низкой емкостью поглощения и низкой буферной способностью, т. е. способностью противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону.

Задачи:

1. Рассчитать ЕКО и V , если $H_T = 2,08$ мэкв, $S = 10,5$ мэкв/100 г почвы. Какую долю от ЕКО в данном случае занимают ионы H^+ и Al^{3+} ?
2. Определить очередность известкования почв, если в одной из них $H_T = 4$ мэкв, ЕКО = 8 мэкв/100 г почвы, в другой $H_T = 4$ мэкв, ЕКО = 20 мэкв/100 г почвы.
3. Установить потребность почв в известковании, если:
 $pH_{KCl} = 4,2$, $V = 50$ %; $pH_{KCl} = 5,2$, $V = 70$ %;
 $pH_{KCl} = 5,8$, $V = 90$ %; $pH_{KCl} = 5,2$, $V = 85$ %.
4. Найти дозу извести ($CaCO_3$, т/га) для нейтрализации гидролитической кислотности $H_T = 3,5$ мэкв в пахотном слое почвы, если мощность $A_n = 25$ см, $d_v = 1,3$ г/см³.

10. ПОДВИЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ФОСФОРА И КАЛИЯ

Общее содержание фосфора в почве колеблется от сотых долей до 0,3 %. Большая часть его представлена в виде органических и минеральных соединений, нерастворимых в воде и недоступных для растений. Подвижные соединения фосфора представлены легкорастворимыми фосфатами, которые составляют от 2 до 10 % от общего содержания фосфора.

Под названием «подвижные соединения фосфора» понимают не только те почвенные фосфаты, которые непосредственно являются усвояемыми для растений (воднорастворимые), но и те, которые сравнительно быстро могут переходить в почвенный раствор.

Валовое содержание калия в почве колеблется от 1 до 2,5–3,0 % в пересчете на K_2O . На долю легкорастворимых соединений, состоящих из поглощенного (обменного) и водорастворимого калия, приходится 0,5–1,2 % от валового количества. Наиболее доступной формой калия являются водорастворимые соединения, содержание которых в почве не превышает 1–20 мг/кг почвы и потребность растений за счет них удовлетворяется лишь на 10–15 %. Обменный же калий является основным источником калийного питания растений.

В агрохимической практике обменным калием принято называть сумму водорастворимого и обменного калия, которая и используется как показатель степени обеспеченности почвы для растений калием.

Суммарное содержание водорастворимого и обменного калия в почве служит показателем степени обеспеченности почвы подвижным калием.

В табл. 10.1 представлена группировка почв по содержанию подвижных соединений фосфора и калия, а в табл. 10.2 – нормативы оптимальных параметров подвижных соединений фосфора и калия в пахотных почвах Беларуси.

Таблица 10.1. Группировка минеральных почв по содержанию (мг/кг почвы) подвижных соединений фосфора и калия

Группы почв	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Очень низкое	<60	<80
2. Низкое	61–100	81–140
3. Среднее	101–150	141–200
4. Повышенное	151–250	201–300
5. Высокое	251–400	301–400
6. Очень высокое	>400	>400

Таблица 10.2. Нормативы оптимальных параметров почв и затрат фосфорных и калийных удобрений для увеличения содержания подвижных соединений фосфора и калия в пахотных почвах Беларуси

Гранулометрический состав почв	Зона оптимума Среднее значение, мг/кг почвы		Затраты удобрений сверх выноса урожаем для уве- личения содержания на 1 мг/100 г почвы, кг/га	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Суглинистые	<u>300–350</u> 325	<u>200–300</u> 250	57	62
Супесчаные	<u>250–300</u> 275	<u>190–250</u> 220	52	78
Песчаные	<u>150–230</u> 190	<u>120–200</u> 160	47	90
Торфяно-болотные	<u>600–1000</u> 800	<u>400–800</u> 600	18	13

По результатам последнего (шестого) тура агрохимического обследования средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах Республики Беларусь составляет 173 мг/кг, подвижного калия – 171 мг/кг почвы.

10.1. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу А. Т. Кирсанова

Для определения степени обеспеченности почвы подвижными соединениями фосфора и калия предложено несколько методов. Выбор метода обусловлен степенью карбонатности и насыщенности почв основаниями. Для подзолистых, дерново-подзолистых и серых лесных почв стандартным является метод А. Т. Кирсанова. Сущность его заключается в вытеснении из почвы 0,2 М раствором HCl фосфатов кальция, железа и алюминия, а также обменного калия и его водорастворимых форм с последующим определением фосфора в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на фотоэлектроколориметре и калия – на пламенном фотометре.

Ход анализа. На техникохимических весах отвешивают 10 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм (почву для анализа можно брать непросушенную, с поля), помещают в колбу вместимостью 250 мл и приливают 50 мл 0,2 М раствора HCl (соотношение почвы и раствора 1:5). Колбу встряхивают в течение 1 мин. После 15-минутного отстаивания содержимое фильтруют через беззольный фильтр. В полученной вытяжке определяют P_2O_5 и K_2O .

10.2. Определение подвижного фосфора

В мерную колбу вместимостью 100 мл пипеткой вносят от 5 до 25 мл фильтрата в зависимости от предполагаемого содержания фосфора, доливают до 80–85 мл дистиллированной воды, 2,5 мл 10%-ного раствора молибденовокислого аммония в H_2SO_4 и 0,25 мл раствора хлористого олова. В раствор доливают до метки дистиллированную воду, перемешивают и через 15 мин приступают к колориметрированию в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 5–10 мм, используя красный светофильтр с максимумом пропускания в области 600–750 нм.

Приготовление образцового раствора.

Растворяют 1,918 г KH_2PO_4 , взвешенного с погрешностью не более 0,001 г, в 0,2 М растворе HCl , доводят объем в мерной колбе до 1 л. Полученный раствор тщательно перемешивают. В 1 мл такого раствора содержится 1 мг P_2O_5 (табл. 10.3).

Таблица 10.3. Приготовление стандартных растворов

Показатель	Номер раствора сравнения							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем образцового раствора, мл	0	2,5	5,0	7,5	10	15	20	25
Концентрация P_2O_5 в растворах сравнения, мг/л	0	5	10	15	20	30	40	50
Концентрация P_2O_5 в пересчете на почву, мг/кг	0	25	50	75	10	150	200	250

Приготовление растворов сравнения. В мерные колбы вместимостью 500 мл помещают указанные в табл. 10.3 объемы образцового раствора.

Доливают колбы до метки 0,2 М раствором HCl. Растворы сравнения можно использовать в течение 1 мес.

Растворы сравнения используют для градуировки фотоэлектроколориметра в день проведения анализа. Окрашивание растворов сравнения производят аналогично окрашиванию анализируемых вытяжек и одновременно с ними. По результатам колориметрирования растворов сравнения строят градуировочный график. По оси абсцисс откладывают концентрацию P_2O_5 в растворах сравнения в пересчете в миллиграммы на 1 кг почвы, а по оси ординат – соответствующие им показатели оптической плотности. Содержание P_2O_5 в почве определяют непосредственно по градуировочному графику. Если результат измерений выходит за пределы графика, фильтрат разбавляют 0,2 М раствором HCl, что учитывают при расчете. Для пересчета результатов анализа на сухую почву полученное значение подвижного P_2O_5 умножают на коэффициент гигроскопичности K_{H_2O} .

10.3. Определение подвижного калия

Подвижный калий определяют одновременно с фосфором в той же вытяжке. Калий определяют на пламенном фотометре, используя светофильтр с максимумом пропускания в области 766–770 нм. Прежде чем приступить к определению подвижного калия, проводят градуировку пламенного фотометра.

Приготовление образцового раствора.

Растворяют 2,113 г KCl, взвешенного с погрешностью не более 0,001 г, в 1 л 0,2 М раствора HCl, доводят объем в мерной колбе до 1 л. Полученный раствор содержит в 1 мл 2 мг K_2O (табл. 10.4).

Таблица 10.4. Приготовление стандартных растворов

Показатель	Номер раствора сравнения							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем образцового раствора, мл	0	2,5	5,0	7,5	10	15	20	25
Концентрация K_2O в растворах сравнения, мг/л	0	10	20	30	40	60	80	100
Концентрация K_2O в пересчете на почву, мг/кг	0	50	100	150	200	300	400	500

Приготовление растворов сравнения. В мерные колбы вместимостью 500 мл помещают указанные в табл. 10.4 объемы образцового раствора. Доливают колбы до метки 0,2 М раствором HCl . Растворы сравнения можно использовать в течение 1 мес.

Содержание K_2O определяют по градуировочному графику, на котором по оси абсцисс отложена концентрация K_2O в растворах сравнения в пересчете в миллиграммы на 1 кг почвы, а по оси ординат – соответствующие им показания пламенного фотометра. Для пересчета на абсолютно сухую почву полученное значение подвижного K_2O умножают на коэффициент гигроскопичности K_{H_2O} .

Реактивы:

1) 0,2 М раствор HCl (16,4 мл концентрированной кислоты, имеющей плотность 1,19, разбавляют в 1 л дистиллированной воды);

2) сульфатмолибденовая жидкость (смешивают равные объемы 10%-ного молибденовокислого аммония и концентрированной H_2SO_4 , имеющей плотность 1,84, серную кислоту вливают в молибденовокислый аммоний при постоянном помешивании и охлаждении);

3) хлористое олово (0,25 г мелконаструганного х. ч. металлического олова помещают в мерную колбочку вместимостью 25 мл, приливают 5 мл HCl , имеющей плотность 1,19, и две капли 10%-ного $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, колбу закрывают пробкой с клапаном Бунзена и растворяют олово в HCl на водяной бане, после чего прибавляют по каплям 2,5 мл 10%-ного $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, доводят дистиллированной водой до метки и взбалтывают).

Задачи:

1. Определить запасы подвижных соединений фосфора и калия в пахотном горизонте почвы в тоннах на гектар при содержании подвижного фосфора 150 мг/кг, подвижного калия 108 мг/кг почвы (мощность $A_n = 25$ см, $d_v = 1,5$ г/см³).

2. Рассчитать оптимальное содержание обменного калия в пахотном горизонте дерново-подзолистой супесчаной почвы в миллиграммах на килограмм, если оптимальный уровень насыщения ЕКО калием составляет 3 %. Емкость катионного обмена почвы равна 8 мэкв/100 г.

3. Найти оптимальное содержание обменного калия в пахотном горизонте дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в миллиграммах на килограмм, если оптимальный уровень насыщения ЕКО почвы равен 15 мэкв/100 г.

4. Рассчитать недостаток или избыток обменного калия в A_n дерново-подзолистой суглинистой почвы на 1 га, если мощность $A_n = 25$ см, $d_v = 1,3$ г/см³, установленное содержание обменного калия составляет 140 мг/кг. Наметить мероприятия для достижения оптимального содержания обменного калия в почве.

11. СТРУКТУРА ПОЧВЫ

11.1. Понятие об агрегатном состоянии и структурности почвы

Механические элементы в почве находятся в двух состояниях:

- раздельно-частичном (элементы обособлены друг от друга);
- агрегатном (элементы склеены в комочки (агрегаты) разной формы и размера, которые называют *структурными отдельностями*).

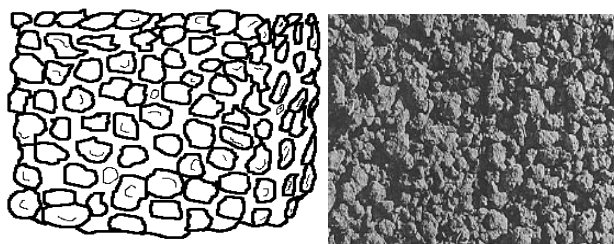
Структурность – способность почвы распадаться на агрегаты.

Структура почвы – совокупность агрегатов различной величины и формы, на которые распадается почва.

В морфолого-генетическом плане понятие почвенной структуры включает размеры, форму и организацию твердых компонентов почвы и пор между ними.

В современном почвоведении используется классификация С. А. Захарова, как наиболее детально разработанная. Согласно данной классификации, все разнообразие почвенных структур разделяется на 3 основных типа:

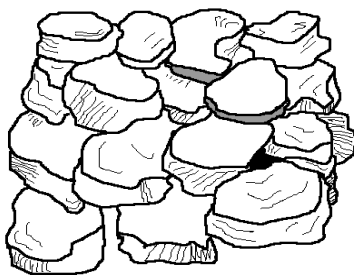
- кубовидная – структурные отдельности равномерно развиты по трем взаимно перпендикулярным осям (рис. 11.1, а);
- призмовидная – отдельности развиты в основном по вертикальной оси (рис. 11.1, б);
- плитовидная – отдельности развиты в основном по двум горизонтальным осям и укорочены в вертикальном направлении (рис. 11.1, в).



a



б



в

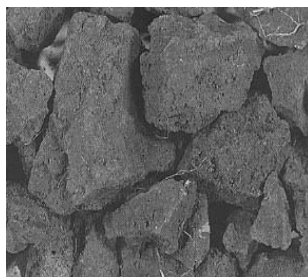


Рис. 11.1. Типы структуры почвы

Каждый из перечисленных типов, в зависимости от характера ребер, граней и размера, подразделяется на более мелкие единицы (табл. 11.1, рис. 11.2–11.5).

Таблица 11.1. Классификация структуры почвы

Структура (тип, вид)	Размер, мм	Примечание
I тип. Кубовидная		
<i>Глибистая</i> – грани и ребра выражены не резко	> 20	Неводопрочная
<i>Комковатая</i> – грани и ребра выражены плохо: - крупнокомковатая - среднекомковатая - мелкокомковатая	20–10 10–1 1–0,25	Относительно водопрочная
<i>Ореховатая</i> – грани и ребра выражены резко: - крупноореховатая - среднеореховатая - мелкоореховатая	20–10 10–7 7–5	Очень водопрочная
<i>Ореховатая</i> – грани и ребра выражены резко: - крупноореховатая - среднеореховатая - мелкоореховатая	20–10 10–7 7–5	Очень водопрочная
<i>Зернистая</i> – грани и ребра выражены резко: - крупнозернистая - среднезернистая - мелкозернистая	5–3 3–1 1–0,5	Очень водопрочная
II тип. Призмовидная		
<i>Столбчатая</i> – с округлой головкой и плохо выраженными гранями	50–30	Неводопрочная
<i>Призматическая</i> – с плоской вершиной и хорошо выраженными гранями	50–30	Неводопрочная
III тип. Плитовидная		
<i>Сланцеватая</i>	> 5	Неводопрочная
<i>Плитчатая</i>	5–3	
<i>Пластиначатая</i>	3–1	
<i>Листоватая</i>	< 1	
<i>Чешуйчатая</i>	Очень мелкие пластиначатые и листоватые агрегаты	



Рис. 11.2. Ореховатая структура почвы



Рис. 11.3. Зернистая структура почвы



Рис. 11.4. Столбчатая структура почвы



Рис. 11.5. Плитчатая и листовато-пластинчатая структура почвы

В различных почвенных горизонтах структурные отдельности не бывают одного размера и формы.

В морфологическом отношении хорошей структурой является та, которая четко выражена. Так, комковатая и зернистая структура присуща гумусовым горизонтам, пластинчато-листоватая – элювиальным, ореховатая – иллювиальным. Призматическая структура типична для иллювиальных горизонтов подзолистых и лесостепных почв, сформировавшихся на тяжелых покровных суглинках, или для черноземов и каштановых почв, образовавшихся на суглинистых и глинистых породах, имеющих в поглощенном состоянии натрий. Глыбистая структура наблюдается на некультуренных почвах и всегда играет отрицательную роль. Глыбы мешают прорастанию семян, быстро высыхают.

Если структура неоднородна, то для ее характеристики пользуются двойными названиями (комковато-зернистая, ореховато-призматическая, листовато-пластинчатая и т. д.), где последнее слово указывает на преобладающий вид структуры.

Почва может быть структурной и бесструктурной. При структурном состоянии почва разделена на отдельности той или иной формы и размера. Бесструктурным состояние считается тогда, когда механические элементы, слагающие почву, существуют раздельно и не соединены в крупные агрегаты. Типичный пример бесструктурного состояния почвы – рыхлый сухой песок. Также бесструктурными считаются почвы, которые представляют собой сплошную сцементированную массу. Такие почвы не обладают удовлетворительными физическими свойствами, практически непроницаемы ни для воды, ни для воздуха.

Между структурными и бесструктурными почвами встречаются переходные, у которых структура выражена слабо.

Определить вид структуры можно при копке почвенного разреза, когда почва распадается на агрегаты при выбросе ее лопатой на поверхность, или же из горизонта берут ножом немного почвы, встряхивают ее на ладони и по форме агрегатов устанавливают наличие того или иного вида структуры.

Агрономическая оценка структуры определяется:

- размерами и формой агрегатов,
- механической прочностью (связностью),
- водопрочностью,
- пористостью агрегатов.

По размерам выделяют:

- *микроагрегаты* ($< 0,25$ мм),

– *мезоагрегаты (0,25–10 мм),*

– *макроагрегаты (>10 мм).*

Микроагрегаты образуют *пылеватую* структуру, макроагрегаты – *глыбистую*. Ни микроагрегаты, ни макроагрегаты не являются агрономически ценными.

Наиболее ценными являются мезоагрегаты.

Коэффициент структурности почвы – это отношение процентного содержания в почве *мезоагрегатов* (т. е. агрегатов размером от 0,25 до 10 мм) к суммарному процентному содержанию *микроагрегатов* (структурных отдельностей менее 0,25 мм) и *макроагрегатов* (структурных отдельностей более 10 мм).

Чем больше коэффициент структурности, тем лучше структура почвы.

Агрономически ценной является комковатая и зернистая структура верхних горизонтов почвы с размерами агрегатов от 0,25 до 10 мм, обладающая водопрочностью и связностью (рис. 11.6).

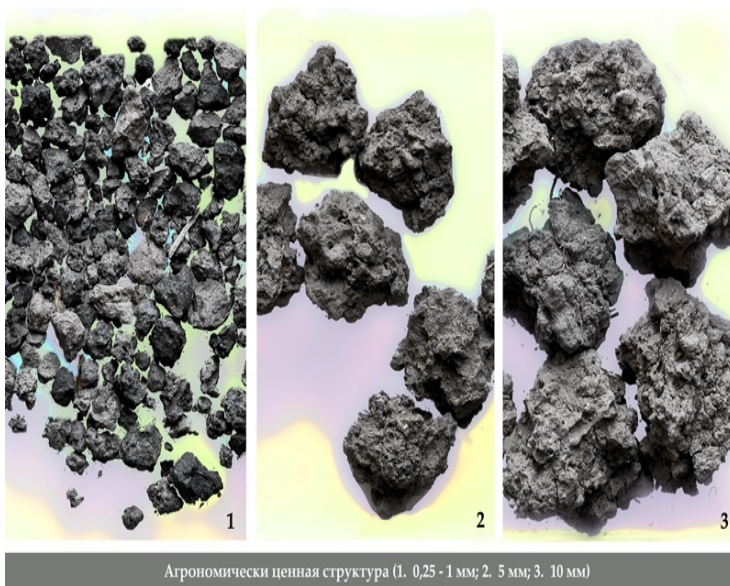


Рис. 11.6. Агрономически ценная структура почвы

Водопрочность – способность почвенных агрегатов противостоять размывающему действию воды.

Связность (механическая прочность) – способность почвенных агрегатов противостоять разрушающему действию рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, ходовых систем тракторов и другой техники.

Таким образом, хорошо оструктуренная почва характеризуется:

- содержанием мезоагрегатов более 55 %;
- зернистой или мелкокомковатой формой агрегатов;
- пористостью агрегатов более 45 %;
- связностью и водопрочностью агрегатов.

Недостаточно водопрочные агрегаты быстро разрушаются под действием осадков и весенних талых вод; почва заплывает, и появляется корка. У почв, на которых образовалась почвенная корка, снижается водопроницаемость, газообмен между почвенным и атмосферным воздухом. В таких почвах замедляется развитие аэробных микроорганизмов, уменьшается содержание питательных веществ в усвояемой для растений форме.

Агрономически ценная структура, придавая почве рыхлое сложение, облегчает прорастание семян и распространение корней растений, а также уменьшает энергетические затраты на механическую обработку почвы (рис. 11.7).

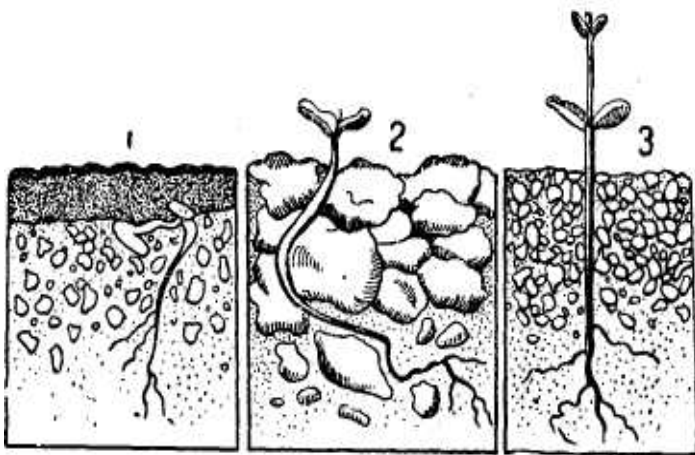


Рис. 11.7. Влияние структуры почвы на всходы растений:
1 – распыленная почва с коркой; 2 – крупнокомковатая; 3 – мелкокомковатая

Оптимальные размеры агрегатов, при которых обеспечивается наиболее благоприятное соотношение водного и воздушного режимов, не могут быть едиными для всех почвенно-климатических зон.

В условиях достаточного, тем более избыточного, увлажнения рыхлое сложение и, следовательно, лучшую аэрацию обеспечивают более крупные структурные отдельности, и наоборот, по мере возрастания засушливости благоприятный водно-воздушный режим достигается при некотором уменьшении размеров почвенных агрегатов, так как избыточная рыхлость в этих условиях может привести к иссушению почвы и усилению минерализации гумуса.

Установлено, что там, где существует опасность проявления ветровой эрозии, почвенные агрегаты размером крупнее 1 мм в диаметре являются *ветроустойчивыми*, а мельче 1 мм – *эрозионно опасными*. Считается, что при наличии 60 % и более агрегатов крупнее 1 мм поверхностный слой почвы достаточно устойчив к ветровой эрозии.

Следовательно, в этих условиях агрономически ценная структура должна обладать еще одним свойством – *ветроустойчивостью*. Если размеры почвенных агрегатов здесь менее 1 мм, это может привести к возникновению ветровой эрозии, так как ветроустойчивость поверхности почвы прямо пропорциональна комковатости.

11.2. Образование структуры почвы

Процессы структурообразования осуществляются под влиянием следующих факторов:

- физико-механических;
- физико-химических;
- химических;
- биологических.

С физико-механическими факторами связано разделение почвенной массы на структурные отдельности в результате изменения объема, давления и механического воздействия.

Формирование агрегатов происходит вследствие чередующихся процессов увлажнения и иссушения, замерзания и оттаивания почвы, деятельности роющих животных, под воздействием давления, оказываемого растущими корнями растений, а также почвообрабатывающих орудий.

Наиболее *существенное структурообразование* наблюдается при некоторой средней степени увлажнения почвы, *когда вода заполняет*

только **капиллярные поры**. Например, в черноземах интервал влажности, оптимальный для структурообразования, в среднем составляет 30...40 % от массы сухой почвы, в подзолистых почвах – 15...20 %.

Промерзание и оттаивание приводят к образованию структурных отдельностей в почве. При замерзании объем воды увеличивается. Это приводит к образованию вертикальных и горизонтальных трещин в почве. При этом вода замерзает неравномерно. В крупных порах лед начинает образовываться при температуре 0...–2 °С, в мелких порах – при температуре – 4...–5 °С. В результате образуются трещины разных размеров и по разным направлениям, что приводит к процессу оттаивания почвы.

Агрономически ценная структура образуется при обработке почвы в состоянии ее *физической спелости*, т. е. когда она хорошо крошится на комки, не распыляется и не образует глыб.

Физико-химические факторы проявляются в коагуляции почвенных коллоидов и их цементирующем воздействии.

Коллоиды (частицы менее 0,0001 мм) могут находиться в почве в состоянии *геля* (коллоидный осадок) и в состоянии *золя* (коллоидный раствор).

В состоянии золя коллоиды находятся до тех пор, пока они имеют заряд. Но как только этот заряд тем или иным путем будет уничтожен или же будет понижен настолько, что сила притяжения станет больше силы отталкивания, отдельные коллоидальные частички начнут слипаться в крупные агрегаты и выпадут в осадок. Этот процесс носит название *свертывания коллоидов или коагуляции*. Обратный же процесс, т. е. переход геля во взвешенное состояние, или в золь, называется *пептизацией*.

Одновалентные катионы коагулируют слабее двухвалентных; двухвалентные – слабее, чем трехвалентные. Таким образом, чем выше валентность, тем выше коагулирующая способность, исключение составляет H^+ , коагулирующая способность которого выше даже двухвалентных катионов.

Коагуляция коллоидов может быть *обратимой и необратимой*, т. е. в одном случае золь, перешедший в гель, снова может перейти в раствор; в другом – переход геля в золь будет затруднен или совсем невозможен. При этом *обратимой* является коагуляция, вызванная воздействием *одновалентных катионов* (Na^+ , K^+ , H^+), *необратимой* – *двухвалентных* (Ca^{2+} , Mg^{2+}), а также *трехвалентных катионов*, таких как, например, Al^{3+} и Fe^{3+} . Поэтому если осаждение или свертывание коллоидов вызвано одновалентными катионами, то такая коагуляция

будет непрочной. Наоборот, коагуляция, произведенная двухвалентными, а тем более трехвалентными катионами, отличается большой прочностью и устойчивостью против растворяющего действия воды.

Особенно прочно в структурные отдельные скрепляются почвенные частицы с помощью гумуса (органических коллоидов). Хорошими структурообразователями считаются гели железоорганических комплексов. Агрегаты, образующиеся при участии только минеральных коллоидов, водопрочно не обладают.

Наиболее водопрочная структура образуется при взаимодействии гуматов кальция с минералами группы монтмориллонита и гидрослюдами, менее водопрочная – с каолинитом, кварцем, аморфной кремниевой кислотой.

Роль **химических факторов** в оструктурировании почв заключается в образовании труднорастворимых соединений, цементирующих почвенные агрегаты. Эти соединения могут склеивать микроагрегаты в механические элементы, находящиеся в раздельно-частичном состоянии. К ним относят аморфные гидроксиды железа и алюминия, карбонат кальция, силикат магнезия и др.

Биологические факторы играют *основную роль* в структурообразовании и обусловлены влиянием растительности и жизнедеятельности почвенных животных.

Наиболее сильное оструктурирующее действие оказывают многолетние травы. Они имеют хорошо развитую корневую систему, при гумификации которой образуется много гуминовых кислот, связанных с кальцием и обладающих большой склеивающей способностью. Кроме того, многолетние травы образуют дернину, которая защищает почву от колебаний влажности и температуры [1].

Значительная роль в создании структуры почвы принадлежит дождевым червям, которые пропускают через пищеварительный тракт почвенную массу и обогащают ее органическим веществом и кальцием с образованием *капролитов* – небольших округлых водопрочных комочков.

Способствуют образованию почвенной структуры и продукты жизнедеятельности микроорганизмов.

11.3. Разрушение и восстановление структуры почвы

Структура почвы динамична. Она разрушается и восстанавливается под влиянием различных факторов. Управление ими позволяет поддерживать почву в необходимом структурном состоянии.

Разрушение почвенной структуры может происходить под воздействием следующих факторов:

- механических;
- физико-химических;
- биологических.

Механическое разрушение структуры почвы происходит в результате передвижения по ее поверхности машин и орудий, людей, животных, размыва дождевыми потоками (водная эрозия). Важнейшими путями уменьшения механического разрушения почвенной структуры является обработка почвы в состоянии ее физической спелости, а также минимализация обработки.

Физико-механические факторы разрушения почвенной структуры связаны с реакциями обмена двухвалентных катионов (кальция и магния) на одновалентные (натрия и аммония). При этом коллоиды (главным образом гумусовые вещества), прочно цементирующие механические элементы в агрегаты, пептизируются при увлажнении и структурные отдельности разрушаются. Поэтому приемы химической мелиорации (известкование, гипсование и др.), приводящие к обогащению почвенно-поглощающего комплекса обменным кальцием, способствуют и улучшению структуры.

Биологические факторы разрушения структуры связаны с процессами минерализации гумуса – главного клеящего вещества при образовании структуры.

Прочная структура восстанавливается под воздействием многолетних трав, имеющих мощную, хорошо разветвленную корневую систему. Большое влияние на оструктурирование почвы оказывают органические удобрения – навоз, торфонавозные компосты, сидераты. Минеральные удобрения также улучшают структуру почвы, так как при их применении растения развивают более мощную корневую систему и оставляют в пахотном слое почвы много корневых и пожнивных остатков.

11.4. Агрегатный анализ почв методом Н. И. Саввинова

В задачу агрегатного анализа входит:

- определение содержания агрегатов того или иного размера в пределах 0,25–10 мм;
- качественная оценка структуры почвы по содержанию водопрочных агрегатов.

По Н. И. Саввинову число агрегатов определенного размера находят методом «сухого», а водопрочных – методом «мокрого» агрегатного анализа.

Метод «сухого» агрегатного анализа.

Из образца воздушно-сухой почвы берут среднюю пробу массой 500 г и осторожно выбирают корни, а также другие включения. Подготовленную почву просеивают через колонку сит диаметром 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм с поддоном. Почву просеивают небольшими порциями (100–200 г), избегая сильных встряхиваний. Когда сита разъединяют, по ребру каждого из них слегка постукивают ладонью, чтобы освободить застрявшие агрегаты.

Сухим просеиванием почва разделяется на фракции: >10; 10–7; 7–5; 5–3; 3–2; 2–1; 1–0,5; 0,5–0,25 и <0,25 мм. Агрегаты с сит переносят в предварительно взвешенные алюминиевые или фарфоровые чашки и снова взвешивают на технохимических весах. По разности масс находят массу каждой почвенной фракции, а также ее содержание в процентах от массы воздушно-сухой почвы. За 100 % принимается вся взятая для анализа навеска почвы.

Полученные результаты заносят в табл. 11.1.

По результатам анализа рассчитывают коэффициент структурности почв (К), который показывает отношение процентного количества агрегатов от 0,25 мм до 10 мм (мезоагрегатов) к суммарному количеству агрегатов менее 0,25 мм (микроагрегатов) и более 10 мм (макроагрегатов). Чем больше коэффициент структурности, тем лучше оструктурена почва (табл. 11.2).

Таблица 11.1. Результаты «сухого» агрегатного анализа почвы

Размер фракций, мм	Номер чашки	Масса пустой чашки, г	Масса чашки с почвенными агрегатами, г	Масса почвенных агрегатов, г	Содержание агрегатов, %
>10					
10–7					
7–5					
5–3					
3–2					
2–1					
1–0,5					
0,5–0,25					
<0,25					
Всего				500	100

Таблица 11.2. **Определение коэффициента структурности**

Макроагрегаты, %	Мезоагрегаты, %	Микроагрегаты, %	К

Метод «мокрого» агрегатного анализа.

Из каждой фракции берут навеску почвы для составления средней пробы, равной 25 г. Количество каждой фракции, равной четверти процентного содержания ее фракции в данной почве, выражают не в процентах, а в граммах.

Таким образом, навеску почвы в 25 г помещают в прибор Бакшеева и заполняют его водой до полного удаления воздуха.

Затем прибор включают в электросеть и дают работать ему в течение 12 мин. После работы из прибора сливают всю воду в раковину, вынимают сита и производят смывание почвы водой из промывалки с каждого сита в чашки, заранее взвешенные и пронумерованные.

После переноса почвы в чашки, лишнюю воду сливают. Затем чашки с почвой ставят на водяную баню для подсушивания почвы до воздушно-сухого состояния.

После высушивания почвы чашки взвешивают для определения массы почвы каждой фракции. Масса почвы умножается на 4, это и будет процентное содержание водопрочных агрегатов данной фракции.

Полученные результаты заносят в табл. 11.3.

Таблица 11.3. **Результаты «мокрого» агрегатного анализа почвы**

Размер фракций, мм	Номер чашки	Масса пустой чашки, г	Масса чашки с почвой, г	Масса почвы, г	Содержание водопрочных агрегатов, %
>3					
2–1					
1–0,5					
0,5–0,25					
<0,25					

Оценку структурного состояния почвы можно произвести по шкале С. И. Долгова и П. У. Бахтина (табл. 11.4).

Таблица 11.4. Оценка структурного состояния почвы

Содержание мезоагрегатов, %		Оценка структурного состояния почвы
Сухое просеивание	Мокрое просеивание	
>80	> 70	отличное
80–60	70–55	хорошее
60–40	55–40	удовлетворительное
40–20	40–20	неудовлетворительное
<20	<20	плохое

12. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Почва, как физическое тело, обладает различными свойствами, которые во многом определяются составом, соотношением, взаимодействием и динамикой твердой фазы почвы (минеральные и органические вещества), жидкой (почвенный раствор) и газообразной (почвенный воздух). В этом плане особую роль играют физические свойства почвы.

К физическим свойствам почвы относятся: плотность сложения почвы, плотность твердой фазы и пористость.

Плотностью сложения почвы (d_v) называется масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в ненарушенном (природном) сложении, которая выражается в граммах на кубический сантиметр. При определении плотности сложения учитывают массу почвы в единице объема со всеми порами, поэтому плотность почвы будет всегда меньше плотности твердой фазы ее. Плотность (плотность сложения) почв изменяется в широких пределах: у минеральных почв – от 1,0 до 1,8 г/см³, у торфяно-болотных – от 0,15 до 0,4 г/см³.

На величину плотности сложения влияют: гранулометрический состав (легкие почвы имеют меньшую плотность сложения по сравнению с тяжелыми); содержание органического вещества (с увеличением содержания органического вещества плотность сложения снижается); структурность (чем лучше структурное состояние почвы, тем ниже ее плотность); глубина почвы (с возрастанием глубины плотность сложения почвы увеличивается).

Наиболее рыхлой почва бывает короткий период после обработки, а затем начинается ее уплотнение. После какого-то срока, под действием природных факторов, она достигает определенной плотности, которая затем мало изменяется. Такая плотность называется **равновесной**.

Верхние горизонты малогумусных дерново-подзолистых почв имеют плотность 1,2–1,4 г/см³, нижние уплотненные – 1,6–1,8 г/см³.

В целом для оценки плотности сложения почвы можно использовать данные, представленные в табл. 12.1.

Таблица 12.1. Оценка плотности почвы (по Н.А. Качинскому)

Плотность почвы d_v , г/см ³	Оценка почвы суглинистого и глинистого гранулометрического состава
Менее 1	Почва высушена или богата органическим веществом
1,0–1,1	Типичные величины для культурной свежеспаханной пашни
1,2	Пашня уплотнена
1,3–1,4	Пашня сильно уплотнена
1,4–1,6	Типичные величины для подпахотных горизонтов почв (кроме черноземов)
1,6–1,8	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты

Если равновесная плотность выше оптимальной для культуры, посев которой планируется, то почву необходимо рыхлить, если ниже – уплотнять. Наилучшие условия для возделывания культур достигаются, когда значения оптимальной и равновесной плотности почвы совпадают.

Сильно уплотненная в сухом состоянии почва оказывает большое сопротивление развитию корневой системы растений, при обработке такой почвы требуются дополнительные затраты. В переувлажненной плотной почве создаются неблагоприятные условия для роста растений вследствие занятости почти всего объема пор водой и недостатка аэрации. Плотная почва плохо или совсем не фильтрует воду. Поступающая на поверхность вода не проникает внутрь, а стекает, вызывая процессы эрозии.

В силу своих биологических особенностей каждая сельскохозяйственная культура требует оптимальной для своего развития плотности корнеобитаемого слоя: для зерновых и пропашных культур – 1,20–1,35 г/см³; для овощных – 1,00–1,20; для культур защищенного грунта (торфа) – 0,40–0,60 г/см³.

Существует несколько методов определения плотности, которые подразделяются на лабораторные и полевые. Из лабораторных методов наиболее распространенным является метод определения плотности почвы из рассыпного образца, а из полевых – метод колец.

В настоящее время разработаны и серийно выпускаются приборы-плотномеры, основанные на радиоактивном излучении и взаимодействии гамма-лучей с почвой.

Плотностью твердой фазы почвы (d) называется отношение массы твердой фазы в сухом состоянии к массе равного объема воды при температуре 4 °С, т. е. при температуре 4 °С 1 г воды занимает объем, равный 1 см³.

Плотность твердой фазы почвы зависит от природы входящих в состав почвы минералов, количества органического вещества. Чем больше в почве тяжелых минералов, тем выше плотность ее твердой фазы. Что касается органического вещества, то его удельная масса в 1,5 раза меньше, чем у минеральной части почвы. Поэтому почвы с большим содержанием органического вещества всегда отличаются меньшей плотностью твердой фазы.

Плотность твердой фазы почвы определяют из образца почвы с нарушенной структурой (растертой в порошок и просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм) пикнометрическим способом, сущность которого заключается в определении объема воды, вытесненной строго определенной массой почвы.

В среднем плотность твердой фазы у большинства минеральных почв равна 2,50–2,65 г/см³. У торфов она зависит от степени разложения и зольности и колеблется от 1,40 до 1,70 г/см³, а у некоторых скелетных почв этот показатель равен 3,00 г/см³ (табл. 12.2).

Таблица 12.2. Плотность твердой фазы основных типов почв, г/см³

Глубина, см	Легкие почвы всех типов	Суглинистые и глинистые почвы						
		подзолистые и серые	дерново-подзолистые	черноземы обыкновенные и тучные	черноземы южные	каштановые	бурые и сероземы	красноземы первичные
0–20	2,60	2,60	2,65	2,40	2,55	2,60	2,65	2,60
20–40	2,65	2,65	2,65	2,50	2,60	2,65	2,70	2,65
40–100	2,65	2,70	2,70	2,65	2,65	2,70	2,70	2,75
100	2,65	2,70	2,70	2,60	2,70	2,75	2,75	2,80

Пористость (скважность) почвы – суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы, который выражается в процентах от общего объема почвы.

Размер и форма пор зависят от гранулометрического состава (величины и формы гранулометрических элементов), структуры почвы (количества, величины и формы структурных отдельностей), а также от расположения их относительно друг друга. Поэтому пористость неодинакова как у различных почв, так и по генетическим горизонтам внутри почвы.

Различают общую, капиллярную и некапиллярную пористость.

Общая пористость обычно составляет в верхних горизонтах почвы 55–70 %, в нижних – 35–50 %. Она складывается из пористости внутри структурных агрегатов и пористости между ними.

Капиллярная пористость – объем пор, заполненных водой, при влажности почвы, равной полевой влажности.

Некапиллярная пористость – объем крупных пор, заполненных воздухом при этой же влажности (пористость аэрации). Лишь при сильном увлажнении эти крупные поры служат каналами для транзита токов воды.

Самые благоприятные условия увлажнения и воздухообеспеченности складываются в почвах при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости 1:1.

Сумма видов пористости составляет общую пористость почвы.

Различают также понятия активных и неактивных пор. *Активные поры* – поры, внутри которых возможно передвижение свободной воды под действием менисковых и гравитационных сил. *Неактивные поры* – тонкие, при увлажнении сплошь заполняются связной водой, удерживаемой молекулярными силами и недоступной растениям. В таких порах свободная вода передвигаться не может.

Крупные поры в почве большую часть времени заняты воздухом и лишь при сильном увлажнении служат каналами для транзитного тока воды. Это поры аэрации.

Наибольшую агрономическую значимость имеют поры активные, занятые капиллярной водой, и поры аэрации. Причем последние должны составлять не менее 15 % общей пористости в минеральных почвах и 35–40 % в торфяных. При пористости аэрации ниже 10–12 % корни растений погибают от недостатка воздуха (нижний допустимый предел аэрации).

Оценка пористости почв представлена в табл. 12.3.

Таблица 12.3. Оценка пористости почв (по Н. А. Качинскому)

Общая пористость в вегетационный период для суглинистых и глинистых почв, %	Качественная оценка пористости
70	Избыточная – почва вспушена
65–55	Отличная – культурный пахотный слой
55–50	Удовлетворительная – характерна для пахотного слоя
50–40	Неудовлетворительная для пахотного слоя
40–25	Чрезмерно низкая – характерна для уплотненных иллювиальных горизонтов

Экспериментально пористость определяют с помощью приборов, принцип работы которых основан на установлении усилия, которое требуется для удаления воды из почвы.

В почвенном профиле более высокую пористость, как правило, имеет верхний горизонт, который постоянно подвергается разрыхляющему действию корней и обитающих в почве животных. Вспашка, культивация и другие виды обработки увеличивают пористость почвы. Однако со временем пахотный слой под влиянием силы тяжести уплотняется и объем пор уменьшается.

12.1. Определение плотности почвы из рассыпного образца

Ход работы. Берут цилиндр высотой около 100 мм, взвешивают с точностью до 0,01 г. Насыпают в цилиндр почву из не растертого образца, уплотняя ее по мере наполнения постукиванием о ладонь. Измеряют диаметр цилиндра, высоту насыпного слоя почвы. Объем почвы в цилиндре устанавливают по формуле:

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

где π – 3,14;

r – радиус цилиндра, см;

h – высота слоя почвы в цилиндре, см.

Цилиндр с почвой взвешивают и определяют массу воздушно-сухой почвы (A) по разности между массой цилиндра с почвой (A_2) и массой пустого цилиндра (A_1):

$$A = A_2 - A_1.$$

Массу абсолютно сухой почвы рассчитывают по формуле:

$$m = \frac{A}{K_{H_2O}},$$

где K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности.

Плотность почвы определяют по формуле:

$$d_v = \frac{m}{V}.$$

Зная плотность почвы, можно рассчитать массу ее пахотного слоя (т/га), например на площади 1 га:

$$M = V \cdot d_v,$$

где V – объем пахотного слоя, м^3 ;

d_v – плотность почвы, г/см^3 .

Объем пахотного слоя почвы (м^3) рассчитывается по формуле:

$$V = S \cdot h,$$

где S – площадь, равная 1 га, м^2 ;

h – мощность пахотного слоя, м.

Результаты расчетов заносят в табл. 12.4.

Таблица 12.4. Определение плотности почвы из рассыпного образца и массы пахотного слоя почвы на площади, равной 1 га

№ цилиндра	Масса пустого цилиндра, г	Масса цилиндра с почвой, г	Масса воздушно-сухой почвы, г	Коэффициент гигроскопичности	Масса абсолютно сухой почвы, г	Радиус цилиндра, см	Высота почвы в цилиндре, см	Объем почвы в цилиндре см^3	Плотность почвы, г/см^3	Масса пахотного слоя почвы, т/га
	A_1	A_2	A	$K_{\text{H}_2\text{O}}$	m	r	h	V	d_v	M

12.2. Определение плотности твердой фазы почвы

Ход работы. В пикнометр или мерную колбу вместимостью 100 мл наливают до метки прокипяченную и охлажденную до комнатной температуры дистиллированную воду, измеряют температуру и взвешивают. Из взвешенного пикнометра выливают $\frac{1}{2}$ всего объема воды. Затем из просеянного через миллиметровое сито образца берут навеску воздушно-сухой почвы массой 10 г и высыплют в пикнометр. Содержимое пикнометра кипятят в течение 30 мин для удаления воздуха, доливая, по мере выкипания, дистиллированную воду до половины объема. После кипячения пикнометр с содержимым охлаждают, доливают прокипяченную и охлажденную воду до метки и, измерив температуру, взвешивают. Плотность твердой фазы почвы рассчитывают по формуле:

$$d = \frac{a}{b + a - c},$$

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

a – масса абсолютно сухой почвы, г;

b – масса пикнометра с водой, г;

c – масса пикнометра с водой и почвой, г.

Массу абсолютно сухой почвы определяют по формуле:

$$a = \frac{A}{K_{H_2O}},$$

где A – навеска воздушно-сухой почвы, г;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности.

Результаты определения заносят в табл. 12.5.

Таблица 12.5. Определение плотности твердой фазы почвы

№ пикнометра	Масса пикнометра с водой, г	Масса воздушно-сухой почвы, г	Коэффициент гигроскопичности	Масса абсолютно сухой почвы, г	Масса пикнометра с водой и почвой, г	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³
	b	A	K_{H_2O}	a	c	d

12.3. Определение пористости (скважности) почвы и воздухообеспеченности (пористости аэрации)

Ход работы. Пористость определяют по соотношению плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы по формуле:

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{d_v}{d}\right)100,$$

где $P_{\text{общ}}$ – общая пористость почвы, %;

d_v – плотность почвы, г/см³;

d – плотность твердой фазы почвы, г/см³.

За условную единицу здесь принимается объем всей массы почвы (твердая фаза + поры). Для определения объема пор надо из единицы вычесть ту часть объема, которая занята твердой фазой. Эта величина получается делением плотности сложения почвы на плотность твердой

фазы. Общую пористость принято подразделять на пористость аэрации и поры, заполненные водой.

Пористость аэрации вычисляют по формуле:

$$P_{\text{аэр}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{в}},$$

где $P_{\text{в}}$ – объем пор, занятых водой, %.

В свою очередь, объем пор, занятых водой, можно рассчитать по формуле:

$$P_{\text{в}} = d_v W,$$

где d_v – плотность сложения почвы, г/см³;

W – полевая влажность почвы, %.

В качестве полевой влажности можно использовать оптимальную влажность почвы (ОВ), которая примерно равна 60 % от полной влагоемкости (ПВ), т. е. $ОВ = 0,6ПВ$.

Результаты расчетов заносят в табл. 12.6.

Таблица 12.6. Определение общей пористости и пористости аэрации

Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Плотность почвы, г/см ³	Общая пористость (воздухоёмкость), %	Оптимальная влажность почвы, %	Объем пор, занятых водой	Пористость аэрации (воздухообеспеченность), %
d	d_v	$P_{\text{общ}}$	ОВ	$P_{\text{в}}$	$P_{\text{аэр}}$

13. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

К физико-механическим свойствам почвы относятся: пластичность, липкость, набухание, усадка, твердость, связность, удельное сопротивление почвы при обработке.

Пластичностью называют способность почвы и грунта деформироваться и принимать придаваемую им во влажном состоянии форму без образования трещин и сохранять ее после прекращения внешнего воздействия.

Переувлажненные и сухие почвы не обладают пластичностью, которая проявляется в определенном пределе увлажнения. В этом интервале почва деформируется с сохранением придаваемой ей формы, максимально набухает, обладает слабым сопротивлением при внешнем

механическом воздействии, при перекачивании по ней машин образуется колея по ходу колес.

Верхним пределом пластичности является влажность нижней границы текучести, т. е. когда конус Васильева погружается в почву на глубину 10 мм под действием собственного веса, а *нижним пределом пластичности* – влажность границы раскатывания почвы в шнур диаметром 3 мм. При этом происходит распадение шнура на отдельные.

Величину пластичности измеряют числом пластичности (W), представляющим разность между числовым выражением верхнего (W_1) и нижнего (W_2) пределов пластичности:

$$W = W_1 - W_2, \text{ \%}.$$

По числу пластичности судят о гранулометрическом составе почвы (0 – песок, 0–7 – супесь, 7–17 – суглинок, более 17 – глина). Таким образом, чем больше в почве илистых и коллоидных частиц, тем яснее выражена ее пластичность.

Пластичность также зависит от состава поглощенных оснований, так как они во многом определяют степень гидратации почвы.

По степени влияния на величину пластичности почв поглощенные катионы располагаются в такой последовательности: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{H}^+$.

При высоком содержании гумуса пластичность почвы уменьшается. Соответственно почва с более высоким содержанием гумуса в весенний период пригодна для обработки гораздо раньше, чем аналогичная малогумусированная почва.

Липкость – это свойство влажной почвы прилипать к соприкасающимся с ней предметам. Проявляется она, когда сцепление между почвенными частицами меньше, чем между почвой и соприкасающимися с ней предметами.

Липкость измеряется усилием (в г/см^2), требующимся для отрыва от почвы прилипшего к ней диска или пластины. Она зависит от гранулометрического, химического и минералогического состава, от структуры и влажности. Глинистые и бесструктурные почвы сильнее прилипают, чем легкие по гранулометрическому составу или структурные глинистые. Увеличение степени насыщенности почвы кальцием способствует снижению величины прилипания, тогда как с возрастанием насыщенности натрием липкость почвы резко увеличивается.

С повышением влажности до определенного предела липкость увеличивается, а далее уменьшается, так как нарушается сцепление между

частицами почвы. В структурных почвах (черноземы, дерново-карбонатные) липкость начинает проявляться в пределах 60–80 % общей влагоемкости. Бесструктурные начинают прилипать при более низкой влажности.

Н. А. Качинский классифицирует почвы по величине липкости на предельно вязкие ($>15 \text{ г/см}^2$), сильновязкие ($5\text{--}15 \text{ г/см}^2$), средневязкие ($2\text{--}5 \text{ г/см}^2$) и слабвязкие ($<2 \text{ г/см}^2$).

С липкостью связано важное агрономическое свойство – *физическая спелость* – состояние влажности, при которой почва хорошо крошится на комки, не прилипая при этом к орудиям обработки.

Весной раньше других поспевают к обработке песчаные и супесчаные почвы, высокогумусированные по сравнению с малогумусированными.

Набухание – увеличение объема почвы при увлажнении. Набухание присуще почвам, содержащим большое количество коллоидов, и объясняется связыванием тонкими частицами почвы молекул воды (увеличением гидратных оболочек). Они уменьшают сцепление между частицами почвы, раздвигают их, и в результате происходит увеличение объема почвы. Набухание выражают в объемных процентах.

Величина набухания зависит от количества и качества коллоидов. Наиболее набухаемы глинистые почвы. При этом чем больше в почве минералов с расширяющейся решеткой, таких как монтмориллонит и вермикулит, тем больше ее набухание.

Большое влияние на способность почвы набухать оказывает состав обменных катионов. При насыщении почвы одновалентными катионами (особенно натрием) набухание достигает 120–150 %, тогда как при насыщении двух- и трехвалентными катионами значительного увеличения в объеме при набухании не наблюдается.

Набухание почвы могут вызвать неблагоприятные в агрономическом отношении изменения в поверхностном слое почвы. Вследствие набухания частички почвы могут быть настолько разделены пленками воды, что это приведет к разрушению агрегатов.

Усадка – сокращение объема почвы при высыхании. Она измеряется в процентах от исходного объема и зависит от тех же факторов, что и набухание. Большая усадка почвы – отрицательное явление, так как приводит к образованию трещин и разрыву корневой системы растений.

Связность – способность почвы сопротивляться внешнему усилию, стремящемуся разъединить почвенные частицы. Вызывается

связность силами сцепления между частицами почвы и характеризует прочность структуры. Выражается в килограммах на квадратный сантиметр и зависит от гранулометрического и минералогического состава, влажности почвы, состава обменных катионов, содержания органического вещества, структуры почвы. Наибольшей связностью характеризуются глинистые почвы с высоким содержанием монтмориллонита. Максимальная связность достигается при влажности, близкой к влажности завядания. Связность возрастает при насыщении почвы ионами Na^+ . С увеличением содержания органического вещества она у песчаных почв возрастает, у глинистых и суглинистых – снижается. Последнее объясняется в первую очередь образованием большого числа структурных агрегатов, что снижает площадь соприкосновения между почвенными частицами. Поэтому структурные почвы характеризуются меньшей связностью по сравнению с бесструктурными.

Обычно высокосвязные почвы могут хорошо противостоять проявлению водной и ветровой эрозии.

Твердость – это сопротивление, которое оказывает почва проникновению в нее под давлением различных тел. Измеряется с помощью специального прибора – твердомера и выражается в килограммах на квадратный сантиметр. Твердость обусловлена теми же характеристиками, что и связность.

Н. А. Качинский классифицирует почвы по величине твердости на рыхлые ($<10 \text{ кг/см}^2$), рыхловатые ($10\text{--}20 \text{ кг/см}^2$), плотноватые ($20\text{--}30 \text{ кг/см}^2$), плотные ($30\text{--}50 \text{ кг/см}^2$), весьма плотные ($50\text{--}100 \text{ кг/см}^2$) и слитные ($>100 \text{ кг/см}^2$).

Высокая твердость – признак плохих физико-химических и агрофизических свойств почв.

Удельное сопротивление почвы при обработке – это усилие, затраченное на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. Характеризуется сопротивлением почвы (кг), приходящимся на 1 см^2 поперечного сечения пласта почвы, поднимаемого плугом. Удельное сопротивление изменяется в пределах от 0,2 до $1,2 \text{ г/см}^2$ в зависимости от гранулометрического состава, влажности, плотности сложения, твердости, состава обменных катионов, содержания органического вещества, структуры почвы. Наименьшим удельным сопротивлением характеризуются ненасыщенные основаниями почвы легкого гранулометрического состава (супесчаные и песчаные), самым большим – тяжелосуглинистые и глинистые почвы, насыщенные ионами натрия (солонцового типа). Максимальное удельное сопротив-

ление наблюдается при влажности, близкой к влажности устойчивого завядания, минимальное — при средней увлажненности почвы. При обработке целинных и старозалежных земель оно возрастает по сравнению со старопашотными почвами на 45–50 %.

На почвах под пропашными культурами удельное сопротивление значительно меньше, чем под зерновыми культурами и многолетними травами.

Почвы с хорошей структурой и высокогумусированные оказывают меньшее сопротивление, чем бесструктурные и малогумусированные. Возрастает сопротивление почвы и при насыщении почвенного поглощающего комплекса катионами натрия.

13.1. Определение пластичности почв

Ход работы. *Определение верхнего предела пластичности (W_L) по методу А. В. Васильева.*

Воздушно-сухую почву, просеянную через сито с диаметром отверстий 0,5 мм, смоченную водой до густого состояния и хорошо размешанную, помещают в закрытый сосуд с водяными парами на 24 ч. После этого почвенную массу переносят в небольшую фарфоровую чашку, наполняя ее до краев слоем 3–4 см.

Затем берут смазанный вазелином конус Васильева, который представляет собой полированный конус из нержавеющей стали с углом в вершине, равным 30° , и высотой 25 мм. На высоте 10 мм от вершины конуса нанесена круговая метка. При основании его смонтировано балансировочное устройство, состоящее из двух металлических шаров, укрепленных на концах стальной проволокой, согнутой в полукруг. Общая масса конуса 76 г. Центр основания имеет ручку, с помощью которой его опускают на почву в чашке. Если влажность соответствует верхней границе пластичности, то конус под влиянием собственного веса должен погрузиться на глубину 10 мм, что видно по отметке на конусе. Если конус не достиг глубины 10 мм, почву увлажняют и снова повторяют погружение. Погружение конуса повторяют минимум три раза, после чего почву помещают в предварительно взвешенный алюминиевый стаканчик, взвешивают и ставят в сушильный шкаф с температурой 100–105 °С для высушивания. Через 5 ч достают стаканчик из сушильного шкафа, закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе с CaCl_2 и взвешивают. Высушивание производят до постоянной массы.

Влажность нижней границы текучести (верхний предел пластичности W_1) рассчитывают по формуле:

$$W_1 = \frac{b_1 - c_1}{c_1 - a_1} 100,$$

где a_1 – масса пустого стаканчика, г;

b_1 – масса стаканчика с почвой до высушивания, г;

c_1 – масса стаканчика с почвой после высушивания, г.

Определение нижнего предела пластичности (W_2) по методу Аттеберга.

Нижнюю границу пластичности определяют следующим образом. Почвенную массу после определения верхнего предела пластичности подсушивают. Из нее скатывают шарик диаметром 1 см и раскатывают его на бумаге в шнур толщиной 3 мм. Если при раскатывании шнур не распадается, то почву вновь собирают в шарик и раскатывают. Эту операцию повторяют до тех пор, пока вследствие потери избытка влаги шнур не начнет распадаться на мелкие кусочки (8–10 мм), которые быстро собирают в сушильный стаканчик, взвешивают и ставят в сушильный шкаф с температурой 100–105 °С для высушивания. Через 5 часов достают стаканчик из сушильного шкафа, закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе с CaCl_2 и взвешивают. Высушивание производят до постоянной массы.

Влажность границы раскатывания почвы в шнур (нижний предел пластичности W_2) рассчитывают по формуле:

$$W_2 = \frac{b_2 - c_2}{c_2 - a_2} 100,$$

где a_2 – масса пустого стаканчика, г;

b_2 – масса стаканчика с почвой до высушивания, г;

c_2 – масса стаканчика с почвой после высушивания, г.

Далее находим число пластичности (W), которое представляет собой разность между числовым выражением верхнего и нижнего пределов пластичности:

$$W = W_1 - W_2.$$

По числу пластичности определяют гранулометрический состав исходной почвы.

По показателям пластичности и естественной влажности рассчитывают показатель консистенции, или число консистенции:

$$K = \frac{W_{\text{ест}} - W_2}{W},$$

где $W_{\text{ест}}$ – естественная влажность, %;

W_2 – нижний предел пластичности;

W – число пластичности.

В качестве естественной влажности можно использовать оптимальную влажность почвы (ОВ).

Классификация связных почвогрунтов по показателям консистенции представлена в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Классификация связных почвогрунтов по показателям консистенции

Супеси:	
твердые	–
пластичные	0–1
текучие	Более 1
Суглинки и глины:	
твердые	Менее 0
полутвердые	0–0,25
тугопластичные	0,25–0,50
мягкопластичные	0,50–0,75
текучепластичные	0,75–1,00
текучие	Более 1

Результаты расчетов заносят в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Определение пластичности почв

№ стаканчика		Масса пустого стаканчика, г		Масса стаканчика с почвой, г				Предел пластичности, %		Число пластичности	Число консистенции
				до высушивания		после высушивания		верхний	нижний		
1	2	a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2	W_1	W_2	W	K

13.2. Определение липкости почв

Ход работы. Образец почвы, подлежащий исследованию, помещают в формочку, на сетчатое дно которой положен кружок фильтровальной бумаги. Почва должна быть просеяна через сито с отверстия-

ми 1–3 мм. Формочку с образцом устанавливают в ванночку с водой для насыщения до полной влагоемкости, после чего переносят на плиту прибора со стороны диска. На коромысло подвешивают диск и уравнивают его чашкой. Удлиняя или укорачивая подвесной стержень, приводят в полное соприкосновение диск с почвой. Сверху на диск кладут гирию (выбор нагрузки определяется задачей исследования). Опускают арретир и выдерживают груз 30 с. Диск прилипает к почве. Придерживая рукой стержень, снимают груз.

В стаканчик на левой чашке весов сыплют тонкой струйкой чистый кварцевый песок до отрыва диска от почвы. Песок взвешивают. На одном образце производят пять определений, среднее из которых служит окончательным результатом. По отношению массы песка к площади диска рассчитывают липкость почвы в граммах на квадратный сантиметр. После определения липкости с поверхности образца почвы берут пробу на влажность. Через определенный промежуток времени на этом же образце повторяют определения до прекращения прилипания почвы к диску.

На основании полученных материалов строят график динамики липкости почвы в зависимости от ее влажности. По оси ординат откладывают липкость в граммах на кубический сантиметр (кПа), по оси абсцисс – относительную влажность.

14. КАТЕГОРИИ, ФОРМЫ И ВИДЫ ВОДЫ В ПОЧВЕ

Поглощение и передвижение воды в почве происходит под действием следующих природных сил: сорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных. Эти силы могут существенно изменять свойства воды, уменьшать или увеличивать ее подвижность, а соответственно, и доступность растениям.

Сорбционные силы – это силы, обеспечивающие передвижение молекул парообразной воды к твердым частицам. Благодаря этому вокруг ионов и коллоидных частиц может образоваться водная (гидратная) оболочка.

Капиллярные (менисковые) силы – силы, обуславливающие поверхностное натяжение воды или смачивание.

Поверхностное натяжение объясняется тем, что молекулы воды, которые находятся в поверхностном слое, постоянно испытывают действие сил, стремящихся втянуть их внутрь жидкости. Явление смачивания вызывает образование вогнутого мениска, т. е. искривление поверхности жидкости у стенок сосуда, в который она заключена.

Чем меньше диаметр пор, тем больше кривизна мениска. Образование вогнутого мениска ведет к уменьшению поверхностного давления и соответственно к поднятию воды по капиллярам.

Осмотические силы проявляются тогда, когда обменные катионы притягивают воду из почвенного раствора и создают вокруг себя водную оболочку, отталкивающую их от почвенных частиц. Между частицей и катионом образуется в этом случае прослойка воды.

Гравитационные силы влияют на влагу, сосредоточенную в крупных порах почвы, которая может передвигаться из верхних горизонтов в нижние и уходить за пределы почвенного профиля.

В зависимости от прочности связи с почвой и степени подвижности выделяют следующие категории, формы и виды воды в почве.

I. Связанная.

1. Химически связанная:

- 1) конституционная (прочносвязанная);
- 2) кристаллизационная (прочносвязанная).

2. Физически связанная:

- 1) гигроскопическая (прочносвязанная);
- 2) пленочная (рыхлосвязанная);
- 3) внутрипочвенный лед (прочносвязанная).

II. Свободная.

1. Капиллярная:

- 1) стыковая (пендулярная, или уголковая);
- 2) фуникулярная;
- 3) капиллярно-подвешенная;
- 4) капиллярно-подпертая;
- 5) подвижная.

2. Гравитационная:

- 1) просачивающаяся;
- 2) подпертая;
- 3) стекающая;
- 4) застойная;
- 5) грунтовая.

3. Парообразная.

Иногда к свободной воде относят *внутриклеточную воду*, которая становится доступной растениям после полного распада клеточной оболочки.

Связанная вода образуется путем сорбции (поглощения) парообразной и жидкой воды на поверхности твердых частиц. Связанная вода подразделяется на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Прочносвязанная вода – это вода, поглощенная почвой из парообразного состояния. Она непосредственно соприкасается с почвенными частицами и образует вокруг них тонкую пленку.

Рыхлосвязанная вода образуется при соприкосновении почвенных частиц с водой, находящейся в жидком состоянии. Она представляет собой дополнительную водную пленку, расположенную вокруг прочно-связанной.

Химически связанная вода входит в состав гидратных веществ, слагающих почву. Количество этой воды обычно невелико, но иногда достигает 5–12 %, реже – более. Чем больше в почве силикатов и алюмосиликатов, тем выше содержание в ней химически связанной воды. Эта вода в почве не принимает непосредственного участия в физических процессах, не передвигается, не испаряется и совершенно недоступна растениям. Почву, содержащую химически связанную воду, называют **сухой** или **абсолютно сухой**.

Конституционная вода входит в состав молекул почвенных минералов в виде гидроксильных групп (OH^-), прочно связана с почвой и поэтому удаляется из нее при нагревании (прокаливании) почвы на 400–800 °C. При этом происходит разрушение минералов. Наибольшее количество этой воды содержится в глинистых минералах.

Кристаллизационная вода входит в состав кристаллической решетки минералов в виде самостоятельных молекул. Например, у гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) она прочно связана с почвой и удаляется из нее при температуре 100–200 °C. Она может переходить в раствор при растворении солей, поэтому наибольшее ее количество содержится в солончаках.

Физически связанная (сорбированная) вода в почве может находиться во всех трех агрегатных состояниях – газообразном, жидком и твердом. Значительная часть этой воды удерживается (сорбируется) на поверхности почвенных частиц с разной силой в результате проявления молекулярного взаимопритяжения между молекулами воды и почвы. При этом наиболее прочно молекулы сорбированной воды фиксируются вблизи почвенных частиц, а по мере удаления от них прочность фиксации снижается. В зависимости от прочности удержания воды сорбционными силами физически связанную воду подразделяют на три формы.

Гигроскопическая (прочносвязанная) вода – это парообразная вода, поглощенная почвой из воздуха и прочно удерживаемая на поверхности твердых частиц высоким давлением (17–36 тыс. атмосфер) в виде тончайшей пленки из двух-трех молекул воды.

Поглощение твердыми частицами почвы молекул парообразной и жидкой воды называется **сорбцией воды**. Способность почвы сорбировать пары воды из воздуха называется **гигроскопичностью**, а адсорбированная таким образом вода – **гигроскопической**. Почва, содержащая гигроскопическую воду, называется **воздушно-сухой**.

Молекулы гигроскопической воды удерживаются на поверхности почвенных частиц с большой силой, поэтому удалить их можно лишь продолжительным нагреванием почвы при температуре, равной 105 °С.

Гигроскопическая вода не передвигается внутри почвенной толщи, совершенно недоступна растениям, обладает более высокой плотностью (от 1,2–1,6 до 2,4 г/см³), не растворяет соли, замерзает при температуре ниже нуля. Имеются данные, что гигроскопическая вода не замерзает даже при температуре –70 °С.

Чем более влажный воздух, тем больше воды адсорбируется почвой. Схема строения гигроскопической воды представлена на рис. 14.1.

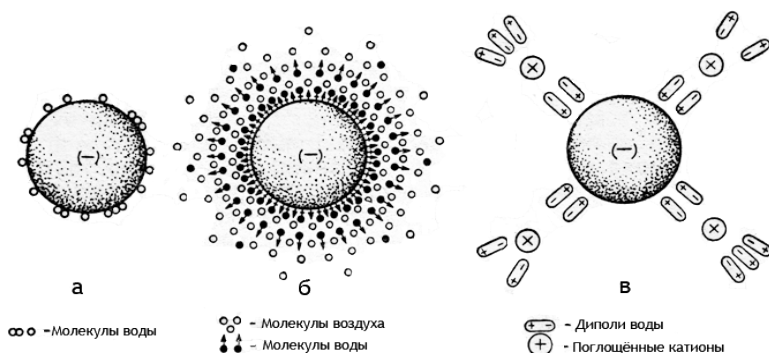


Рис. 14.1. Схема строения гигроскопической воды

Чем богаче почва органическим веществом, тем больше в ней гигроскопической воды.

Количество гигроскопической воды зависит также от гранулометрического состава почвы. Чем меньше размер механических элементов, т. е. больше удельная поверхность почвы, тем больше в ней гигроскопической воды (табл. 14.1).

Таблица 14.1. Содержание гигроскопической воды (по Черкасову)

Гранулометрический состав	Гигроскопическая вода, % от массы абсолютно сухой почвы	Максимальная гигроскопическая влажность, %
Песок	0,5–1,5	1,5 и более
Легкий суглинок	1,5–3,0	3,0–5,0 (10)
Средний суглинок	2,5–4,0	5,0–6,0 (12)
Глина пылеватая	6,0–8,0	8,0–10,0 (20)
Торф	18,0–22,0	–

Количество гигроскопической воды в почве зависит от относительной плотности водяного пара в воздухе и температуры воздуха.

Максимальное количество гигроскопической воды, которое может поглотить почва из воздуха при условии полного его насыщения водяными парами (влажность 96 % и выше), называется **максимальной гигроскопической влажностью (МГВ)**.

Количество максимальной гигроскопической воды в почве зависит от тех же показателей, что и содержание гигроскопической воды, кроме влажности воздуха.

Схема строения максимальной гигроскопической воды представлена на рис. 14. 2.

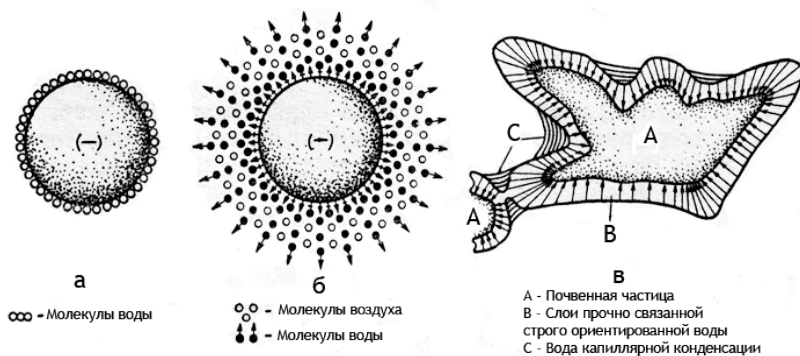


Рис. 14.2. Схема строения максимальной гигроскопической воды

Знание величины максимальной гигроскопической влажности позволяет вычислить влажность завядания растений. В зависимости от свойств почвы, вида растений отношение влажности завядания растений (ВЗ) к максимальной гигроскопической влажности составляет

1–3 (коэффициент завядания). При вычислении влажности завядания коэффициент принимается равным 1,5. Отсюда $VЗ (\%) = 1,5 \text{ МГВ}$.

Таким образом, степень увлажнения почвы, при которой начинается устойчивое завядание растений, называется **влажностью завядания**. При устойчивом завядании растений тургор не восстанавливается даже после того, как их помещают в атмосферу, насыщенную водяными парами. У растений прекращается фотосинтез, а следовательно, создание урожая, т. е. влажность завядания является нижним пределом доступности влаги для растений.

Пленочная (рыхлосвязанная) вода. При увеличении влажности почвы сверх максимальной гигроскопичности количество адсорбированной влаги возрастает и вокруг почвенных частиц образуются пленки воды толщиной до нескольких десятков диаметров молекул воды. Такая вода называется **пленочной**.

Содержание пленочной воды зависит от гранулометрического состава почвы, содержания органического вещества, концентрации растворенных веществ, почвенного раствора.

Количество пленочной воды достигает в песчаных почвах 1,5 % от веса почвы, суглинистых – до 15–17 % и в глинистых почвах – до 30 %.

Внутрипочвенный лед (вода в твердой форме). Это потенциальный источник жидкой и парообразной воды. При понижении температуры почвы вначале замерзает свободная вода, а затем адсорбированная. Эту воду растения непосредственно не используют.

Наблюдается некоторое положительное влияние промерзания почвы на ее структуру при незначительном исходном увлажнении и отрицательное – при избыточном. В последнем случае внутрипочвенный лед разрушает микроагрегаты. Глубина промерзания почвы зависит от многих факторов: климатических условий, гранулометрического состава почв, степени исходного увлажнения, близости грунтовых вод.

Появление в почве воды в форме льда носит чаще всего сезонный, реже – многолетний характер.

Свободная вода – это вода, не связанная силами притяжения с почвенными частицами, она передвигается в почве под действием капиллярных и гравитационных сил и является доступной для растений и микроорганизмов.

Свободная вода подразделяется на капиллярную и гравитационную.

Капиллярная вода – это вода, которая находится в почве в порах малого диаметра – капиллярах – и передвигается в них под действием капиллярных (менисковых) сил. Она является главным источником водоснабжения растений. Распределение капиллярной воды в почве зависит от строения почвы, размера пор, глубины залегания грунтовых вод и других факторов.

Гравитационная вода – это свободная вода, которая образуется в почве сверх капиллярной и под влиянием силы тяжести стекает вниз.

При увеличении влажности почвы до предела, когда капиллярные силы уже не в состоянии удерживать возрастающее количество воды, последняя заполняет все крупные поры и стекает в нижние горизонты или по уклону под влиянием гравитационных сил (собственной массы).

Гравитационная вода образуется после поливов, дождей и таяния снега. Эта вода доступна для растений, но вследствие большой скорости движения и кратковременного нахождения в почве сама непосредственно в питании растений участвует мало. Наибольшее количество гравитационной воды соответствует полной влагоемкости. Присутствие в почве в значительных количествах свободной гравитационной воды – явление неблагоприятное, которое свидетельствует об избыточном увлажнении и способствует заболачиванию.

Парообразная вода находится в составе почвенного воздуха в форме водяного пара. Источником парообразной воды в почве является свободная и сорбированная вода, а также водяные пары атмосферы. Содержание водяного пара в почвенном воздухе невелико (не более 0,001 % от веса почвы). Эта форма воды имеет значение как источник увлажнения верхних горизонтов почвы, особенно в засушливое время, а в районах недостаточного увлажнения – и зимой.

Парообразная вода характеризуется большой подвижностью.

14.1. Определение гигроскопической влажности почвы

Ход работы. Взвешивают алюминиевый или стеклянный стаканчик (бюкс), просушенный ранее до постоянной массы. В этот стаканчик кладут навеску воздушно-сухой почвы (5–10 г). Слой не должен превышать 5 мм.

Ставят стаканчик с воздушно-сухой почвой на 5 ч в сушильный шкаф с температурой 100–105 °С для высушивания.

Через 5 ч достают стаканчик из сушильного шкафа, закрывают его

крышкой, охлаждают в эксикаторе с CaCl_2 и взвешивают. Высушивание производят несколько раз до постоянной массы.

Рассчитывают количество гигроскопической воды, выразив его в процентах на абсолютно сухую почву, по формуле:

$$\text{ГВ} = \frac{b - c}{c - a} 100,$$

где ГВ – гигроскопическая влажность, %;

b – масса стаканчика с почвой до высушивания, г;

c – масса стаканчика с почвой после высушивания, г;

a – масса пустого стаканчика, г.

Коэффициент пересчета результатов анализа воздушно-сухой почвы на абсолютно сухую называется **коэффициентом гигроскопичности** ($K_{\text{H}_2\text{O}}$) и вычисляется по формуле:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{100 + \text{ГВ}}{100}.$$

Тогда масса абсолютно сухой почвы рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{A}{K_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где m – масса абсолютно сухой почвы, г;

A – масса воздушно-сухой почвы, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности.

Результаты определения заносят в табл. 14.2.

Таблица 14.2. **Определение гигроскопической влажности почвы**

№ стаканчика	Масса пустого стаканчика, г	Масса стаканчика с почвой, г		Масса испарившейся воды, г	Масса абсолютно сухой почвы, г	Гигроскопическая влажность	Коэффициент гигроскопичности
		до высушивания	после высушивания				
	a	b	c	$b - c$	$c - a$	ГВ	$K_{\text{H}_2\text{O}}$

14.2. Определение максимальной гигроскопической влажности почвы (по А. В. Николаеву)

Ход работы. Во взвешенный и просушенный до постоянной массы алюминиевый или стеклянный стаканчик (бюкс) отвешивают около 10 г воздушно-сухой почвы и ставят открытым в эксикатор с насыщенным раствором K_2SO_4 , где создается относительная влажность, близкая к 100 % (96 % и выше). Эксикатор плотно закрывают и ставят в темное место на неделю. Затем достают стаканчик из эксикатора, закрывают крышкой, взвешивают и снова ставят в эксикатор. Последующие взвешивания проводят через каждые два дня до тех пор, пока последнее взвешивание будет отличаться не более чем на тысячные доли грамма.

Максимально насыщенную влагой почву сушат в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы.

Максимальную гигроскопическую влажность вычисляют по формуле:

$$МГВ = \frac{d - c}{c - a} 100,$$

где МГВ – максимальная гигроскопическая влажность, %;

d – масса стаканчика с почвой после насыщения, г;

c – масса стаканчика с почвой после высушивания, г;

a – масса пустого стаканчика, г.

Результаты определения максимальной гигроскопической влажности почвы и влажности завядания заносят в табл. 14.3.

Таблица 14.3. Определение максимальной гигроскопической влажности почвы

№ стаканчика	Масса пустого стаканчика	Масса стаканчика с почвой, г		Количество испарившейся воды, г	Масса абсолютно сухой почвы, г	Максимальная гигроскопическая влажность, %	Влажность завядания, %
		после насыщения	после высушивания				
	a	d	c	$d - c$	$c - a$	МГВ	ВЗ

15. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Совокупность свойств почвы, которые определяют поведение почвенной воды в ее толще, называют **водными свойствами**.

К основным водным свойствам почвы относят водопроницаемость, водоудерживающую, водоподъемную и испаряющую способность.

Водоудерживающая способность – это способность почвы удерживать содержащуюся в ней воду. Ее количественной характеристикой является влагоемкость.

Влагоемкость почвы – способность почвы поглощать и удерживать определенное количество воды. Влагоемкость выражается в процентах к массе или объему почвы.

В зависимости от количества воды и ее подвижности выделяют следующие виды влагоемкости:

1. **Максимальная адсорбционная влагоемкость (МAB)** – наибольшее количество прочносвязанной (гигроскопической) влаги, которая удерживается на поверхности почвенных частиц с помощью сорбционных сил. Она составляет 60–70 % от максимальной гигроскопической влажности.

2. **Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ)** – наибольшее количество рыхлосвязанной (пленочной или молекулярной) воды, которое почва может удерживать с помощью сил молекулярного притяжения. Она зависит от гранулометрического состава почвы. Количество ММВ в песчаных почвах не превышает 5–7 %, а в глинистых – 25–30 %.

3. **Капиллярная влагоемкость (KB)** – максимальное количество воды, которое удерживает почва в капиллярных порах при близком залегании зеркала грунтовых вод. Капиллярная вода передвигается в почве не только снизу вверх, но и в любом другом направлении в зависимости от градиента влажности: от влажных участков почвы к более сухим.

В зависимости от характера увлажнения капиллярная вода подразделяется на следующие виды:

– **стыковая (угловая, или пендулярная)** – образуется в виде отдельных скоплений в местах соприкосновения (стыка) твердых частиц почвы и удерживается с помощью капиллярных сил. Она характерна для песчаных почв. Количество ее в этих почвах соответствует наименьшей влагоемкости, или предельно-полевой влагоемкости. Эта вода не сомкнута и неподвижна, подток ее на расстоянии затруднен,

и поэтому она доступна для корней растений, непосредственно прилегающих к ней;

– *фуникулярная* – при увеличении воды в уголках пор мениски расширяются и, наконец, соприкасаясь один с другим, сливаются, образуя так называемую фуникулярную воду с остающимися просветами или пузырьками защемленного воздуха. Такая вода более доступна растениям, но эта доступность несколько снижается в связи с тем, что для перемещения ее требуется преодолевать значительное давление, оказываемое защемленным воздухом;

– *капиллярно-подвешенная* – содержится в верхних слоях почвы и нижней каймой не касается грунтовых вод. Как правило, она образуется при увлажнении почвы сверху (после дождя или полива).

Между капиллярной водой верхних слоев почвы и зеркалом грунтовых вод остается слой почвы с небольшой влажностью. Капиллярная вода находится в висющем состоянии и удерживается в пределах верхних слоев почвы капиллярными (менисковыми) силами.

– *капиллярно-подвешенная вода* мигрирует в почве во всех направлениях. Она участвует во внутрпочвенном стоке, особенно в песчаных почвах;

– *капиллярно-подпертая* – находится над поверхностью грунтовых вод, связана с ними и подпирается водами этого горизонта. Слой почвы, содержащий капиллярно-подпертую воду, называют **капиллярной каймой**. В тяжелых почвах ее мощность может достигать 2–6 м, а в легких – всего 0,4–0,6 м;

– *капиллярно-подвижная* – заполняет капиллярные поры и передвигается под действием менисковых (капиллярных сил).

Капиллярная влагоемкость соответствует содержанию в почве капиллярно-подпертой воды. Она может достигать 25–50 % массы абсолютно сухой почвы.

4. Полная влагоемкость (ПВ) – это наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех пор (капиллярных и некапиллярных) водой. В естественных почвах состояние полной влагоемкости возможно при избытке поступления поверхностной воды (например, весной в период снеготаяния или длительных дождей), а также при высоком стоянии грунтовых вод. Полная влагоемкость соответствует максимальному содержанию гравитационной воды. Полная влагоемкость колеблется в пределах 40–50 %, а в отдельных случаях может возрасти до 80 % или опуститься до 30 % от массы абсолютно сухой почвы.

При полной влагоемкости максимальное содержание воды в почве будет равно общей пористости. Однако в зависимости от гранулометрического состава почв и содержания органического вещества это соответствие нередко нарушается, особенно в глинистых и органогенных почвах. Если полная влагоемкость песчаных почв при размере частиц более 0,25 мм строго соответствует их пористости, то у глинистых почв такого соответствия нет. Дело в том, что при увлажнении глинистых почв происходит набухание частиц и увеличение их в объеме, что неизбежно приведет к увеличению промежутков между ними. То же самое наблюдается в торфяных почвах. В связи с этим полная влагоемкость таких почв становится выше их общей пористости в сухом состоянии.

Указанные явления в глинистых или торфяных почвах следует учитывать в тех случаях, когда полная влагоемкость принимается за исходную влажность при расчете оптимальных условий для растений. Оптимальными условиями для жизни растений и микроорганизмов считают влажность, соответствующую 60 % от полной влагоемкости.

5. Предельно-полевая влагоемкость (ППВ), или наименьшая влагоемкость (НВ), – это наибольшее количество влаги, которое может удерживать почва после стекания гравитационной воды при отсутствии слоистости почвы и глубоком залегании грунтовых вод. Она зависит от гранулометрического состава почвы, ее сложения и структуры.

В почве при влажности, соответствующей предельно-полевой влагоемкости, создаются условия, при которых растения наиболее хорошо обеспечены водой и воздухом.

Величина ППВ соответствует максимальной поливной норме, но действительная поливная норма меньше предельно-полевой влагоемкости, так как в почве имеется всегда тот или иной запас воды. Поэтому поливная норма – это разность между предельно-полевой влагоемкостью и запасом воды перед поливом, и называется **дефицитом влаги (D)**.

$$D = P - m,$$

где D – дефицит влаги, м^3 ;

P – ППВ (предельно-полевая влагоемкость), м^3 ;

m – количество влаги в почве в данное время до полива, м^3 .

Тогда поливная норма рассчитывается по формуле:

$$M = P - m,$$

где M – поливная норма, м³.

По мере подсыхания почвы вода, находящаяся в капиллярах, перестает быть сплошной, уменьшается ее подвижность и доступность растениям.

Влажность почвы, при которой происходит разрыв сплошной воды в капиллярах, называется **влажностью разрыва капилляров (ВРК)**.

Влажность разрыва капилляров характеризует нижний предел оптимальной влажности почвы, ее иногда называют критической. У суглинистых и глинистых почв ВРК составляет 65–70 % от полной влагоемкости. При влажности меньшей, чем влажность разрыва капилляров, вода находится в почве в форме манжет вокруг точек стыка почвенных частиц или заполняет отдельные, изолированные системы пор, или находится в форме пленок на поверхности частиц.

Наименьшая, или предельно-полевая влагоемкость в суглинистых и глинистых хорошо оструктуренных почвах составляет 30–35 % от массы сухой почвы, в песчаных не превышает 10–15 %.

Водопроницаемость – способность почв и грунтов впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности.

Водопроницаемость почвы зависит от:

1) *пористости*, и главным образом от размера пор. Чем выше пористость и чем крупнее поры, тем больше водопроницаемость;

2) *гранулометрического состава, структурного состояния и плотности почвы*: песчаные почвы более водопроницаемы, чем суглинистые и глинистые, хотя суммарная пористость у песчаных почв значительно меньшая, чем у глинистых, однако поры у них крупнее (пористость песчаных почв может быть около 30 % объема почвы, у глинистых – более 50 %). В тяжелых по гранулометрическому составу почвах уровень водопроницаемости зависит от их плотности и структурного состояния. Рыхлые хорошо оструктуренные почвы характеризуются более высокой водопроницаемостью по сравнению с плотными, бесструктурными почвами;

3) *состава поглощенных катионов*: почвы, насыщенные катионами Na^+ при увлажнении сильно набухают и становятся для воды почти непроницаемыми;

4) *влажности почвы*: чем влажнее почва, тем меньше ее водопроницаемость;

5) *приемов обработки почвы (вспашка, боронование, культивация)*: все приемы обработки почвы, направленные на рыхление верхнего

слоя почвы и сопровождающиеся увеличением размера макроагрегатных пор, способствуют повышению водопроницаемости. Плужная подошва снижает водопроницаемость. Наличие в почве трещин, ходов роющих животных, корней растений увеличивает свободное просачивание воды вниз.

В процессе водопроницаемости различают три фазы:

- 1) впитывание, или инфильтрация;
- 2) промачивание;
- 3) фильтрация.

Первые две фазы Н. А. Качинский объединил в понятие «впитывание» воды почвой. Скорость впитывания выражается коэффициентом впитывания.

Впитывание – это заполнение движущейся водой свободных пор почвы. Впитывание происходит под влиянием сорбционных сил (поверхностного притяжения воды почвенными частицами), менисковых сил (капиллярных явлений) и силы тяжести, поэтому процесс впитывания воды в почву вначале выражается поглощением воды почвой, насыщением и передвижением ее в виде пленочного, затем капиллярного и, наконец, гравитационного потоков. Впитывающаяся в почву вода движется вертикально вниз, а также растекается во все стороны.

При впитывании свойства почвы заметно изменяются. Иногда наблюдается некоторое разрушение структуры, почва намокает и частично набухает, изменяется ее объем; глинистая почва может впитывать до 100 % воды по объему и более, еще больше впитывает торфяная почва.

Пылеобразные пески при насыщении водой становятся плавучими и подвижными, как вода, в результате окружения мелких зерен песка водной оболочкой. Но в этом случае песок не набухает, а разбухает и становится плавучей массой.

Впитывание воды в почву – явление динамичное. Оно заметно меняется в процессе почвообразования, особенно в условиях окультуривания и мелиорации почв.

За скорость впитывания принимают количество воды, впитывающейся через единицу площади поперечного сечения почвы в единицу времени:

$$v = - \frac{Q}{St},$$

где v – скорость впитывания;

Q – расход воды, м³;

S – площадь поперечного сечения монолита, см²;

t – время, с.

Величина коэффициента впитывания с течением времени уменьшается. Так, по данным Созыкина (1939), коэффициент впитывания за 3 часа уменьшился на песчаной почве в два раза, а на тяжелосуглинистой – в двадцать раз.

Впитывание воды в почву сопровождается промачиванием или инфильтрацией, которая затем переходит в фильтрацию. Под инфильтрацией понимают неустановившиеся нисходящие движения воды в почве. При скорости поступления воды на поверхность (полив, дожди, таяние снега), превышающей скорость инфильтрации, происходит поверхностный сток воды, не успевающий просачиваться в глубинные горизонты почвы. При инфильтрации расход воды может непрерывно нарастать. Достигнув своего максимума, он становится относительно постоянным и с этого момента инфильтрация переходит в фильтрацию. Фильтрация начинается с момента, когда все поры заполняются водой и начинается гравитационный сток.

Для оценки водопроницаемости почвы в агрономических и мелиоративных целях используют шкалу Н. А. Качинского (табл. 15.1).

Таблица 15.1. Оценка водопроницаемости почв тяжелого гранулометрического состава (по Н. А. Качинскому) (напор воды $H = 5$ см при температуре 10 °С)

Водопроницаемость, Q мм вод. ст., в первый час наблюдений	Оценка
Свыше 1000	Провальная
1000–500	Излишне высокая
500–100	Наилучшая
100–70	Хорошая
70–30	Удовлетворительная
<30	Неудовлетворительная

Фильтрация – это непрерывное движение воды в переувлажненной почве под влиянием напора и силы тяжести. Она зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов, структурного состояния, плотности, степени увлажнения, культурного состояния почвы.

Фильтрационное движение воды подчиняется закону Дарси и обусловливается разностью напоров воды и длиной пути движения. Скорость движения воды будет тем больше, чем короче путь фильтрации. Расход фильтрующейся воды в почве пропорционален напору и обратно пропорционален длине пути.

тока воды в данном случае только снизу вверх. Скорость и высота подъема воды (и почвенного раствора) зависят от гранулометрического состава, строения почвы, залегания грунтовых вод, от влажности и температуры почвы, а также от концентрации почвенного раствора, наличия растительности и состояния атмосферы. Чем мельче почвенные частицы (глинистые почвы), тем выше водоподъемная способность. Уплотнение почвы вызывает увеличение высоты поднятия влаги, рыхление и оструктуривание уменьшают, а часто и приостанавливают подъем капиллярной воды. Поэтому рыхление одного лишь поверхностного слоя почвы способствует снижению водоподъемной способности. В целях сбережения почвенной влаги очень важно своевременно произвести рыхление почвы, особенно в засушливых районах, где промедление с ранневесенним боронованием на 1–2 дня может привести к потере воды, накопленной за осенне-зимне-весенний период.

Водоподъемная способность повышается также с увеличением влажности почвы, поэтому близкое к поверхности стояние грунтовых вод усиливает этот процесс. Повышение температуры почвы усиливает подъем воды, так как при этом вода становится менее вязкой и более подвижной. Увеличение в почве количества легкорастворимых солей, повышающих плотность воды и вызывающих снижение поверхностного натяжения, уменьшает водоподъемную способность почвы.

На подъем воды в почве оказывает влияние растительность: всасывающая растворы, корни растений способствуют подъему воды из нижних горизонтов в верхние. Косвенно на водоподъемную способность почвы оказывает влияние состояние атмосферы (относительная влажность, температура и ветер). Снижение относительной влажности, повышение температуры и наличие ветра, вызывающие иссушение верхнего слоя почвы, способствуют подъему воды из нижних горизонтов.

Высота капиллярного подъема определяется по формуле Жюрена:

$$H = \frac{2A}{rgd},$$

где H – высота поднятия воды, мм;

$2A$ – константа капиллярности воды, (a – коэффициент поверхностного натяжения);

r – радиус капилляра, мм;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

d – плотность воды при данной температуре, г/см³.

Из формулы вытекает, что вода по капиллярам поднимается тем выше, чем меньше диаметр капилляра и ниже плотность воды.

Однако почва не представляет собой идеальную капиллярную систему, а скорее всего сложнейшую мозаику пор, различных по форме и размерам, часто замкнутых.

Поэтому формула Жюрена для определения величины капиллярного поднятия воды в почве может иметь лишь относительное значение.

Высота подъема воды зависит прежде всего от гранулометрического состава почвы, возрастая с уменьшением размера почвенных частиц. Например, в капиллярах, сложенных из коллоидных частиц, вода может подняться на десятки метров. Однако практически сверх 10 м вода в почвах подняться не может в связи с действием атмосферного давления.

В природе редко встречаются почвы, сложенные из одинаковых по величине гранулометрических элементов; наряду с илом в них всегда содержится то или иное количество песка, пыли, а также органические вещества. Поэтому высота капиллярного подъема воды в природных почвах обуславливается количественным содержанием частиц разной крупности, т.е. Гранулометрическим составом почвы в целом.

Большое влияние на высоту подъема воды в иловатых почвах оказывает трение воды о стенки капилляров. Дело в том, что вместе с уменьшением размеров частиц и, следовательно, диаметра капилляра возрастает отношение поверхности частиц к их объему, а вместе с тем растет и трение воды о стенки капилляра. При этом сила трения в известных случаях может преодолевать действие менисковых сил и поднятия воды может не происходить.

Так как высота подъема воды в почве зависит от величины капиллярных промежутков, то, очевидно, большее или меньшее уплотнение почвы должно отразиться и на капиллярности. С уплотнением почвы высота капиллярного подъема возрастает, но до известного предела. При очень сильном уплотнении подъем воды уменьшается за счет трения о стенки капилляров.

Следующим фактором, оказывающим большое влияние на капиллярность, является размер агрегатов. Влияние этого фактора настолько велико, что он может парализовать значение всех остальных.

В лабораторных опытах Вольни получены следующие данные высоты капиллярного поднятия в почвах различного структурного состава (табл. 15.3).

Таблица 15.3. **Высота капиллярного поднятия воды в почвах различного структурного состава**

Структура	Высота поднятия Через 10 дн., мм
Порошковая	74
Комочки диаметром, мм: 1–0,5	33
2–1	29
4–2	25
6–4	24
9–6	20
Смесь порошковая с комочками 9–6мм	50

По данным табл. 15.3 можно сделать вывод, что по мере укрупнения комочков водоподъемная способность почвы падает, и наоборот, максимальная высота подъема воды наблюдается в распыленных почвах. Примешивание распыленной почвы к комковатой (9–6 мм), что часто наблюдается при обработке сухой почвы, резко повышает водоподъемную способность, а следовательно, и потерю воды из почвы.

На высоту капиллярного подъема в почвах оказывает также влияние, хотя и менее значительное, концентрация почвенного раствора. Известно, что с внесением удобрений концентрация почвенного раствора повышается, в силу этого движение воды в почве замедляется. Это объясняется тем, что с увеличением содержания солей, увеличивается плотность почвенной воды и возрастают в связи с этим силы, противодействующие давлению менисковых сил.

До сих пор рассматривалась только высота поднятия капиллярной воды, но, кроме высоты, не меньшее практическое значение имеет и скорость поднятия воды в почве.

Скорость и высота поднятия капиллярной воды взаимосвязаны. В песчаных почвах высота поднятия небольшая, а скорость движения наибольшая. Из этого можно сделать вывод, что чем больше высота поднятия воды, тем меньше скорость движения.

На высоту подъема и скорость движения капиллярной воды оказывает влияние наличие в почвах прослоек разного гранулометрического состава, например, в суглинках часто встречаются песчаные прослойки, а в песчаных – глинистые.

Известно, что вода может свободно передвигаться только из крупных капилляров в тонкие. Если в суглинистой почве на некоторой глубине имеется прослойка песка, то при поступлении снизу грунтовой воды последняя, дойдя до прослойки песка, выше не поднимается, и увлажнения горизонтов, лежащих над песчаной прослойкой, происхо-

дить не будет. Аналогичное явление наблюдается в песчаной почве с глинистыми прослойками. Капиллярная вода, находящаяся в таких прослойках, в верхние горизонты песчаной почвы поступать не будет. Как в первом, так и во втором случаях прослойки песка и глины изолируют верхние горизонты почвы от влаги нижних горизонтов.

Капиллярное движение воды зависит от влажности почвы. Передвижение капиллярной воды из влажной почвы в сухую происходит лишь в том случае, если во влажной почве количество воды превышает 60 % ее наименьшей влагоемкости.

Этот факт имеет не только научное, но и практическое значение. Из него можно сделать заключение, что при этом происходит поступление воды по капиллярам в верхние иссушающиеся слои почвы. Это значит, что какими бы благоприятными не были условия для передвижения воды по капиллярам вверх и как бы сильно не происходило испарение с поверхности почвы, если влажность почвы снизится до 60 % ее наименьшей влагоемкости, капиллярное поднятие воды прекратится. Следовательно, скорость движения воды по капиллярам тем больше, чем выше влажность почвы. Такие условия создаются весной или после дождя, а также после полива. В это время особенно важно предотвратить потерю капиллярной воды обработкой почвы.

Повышение температуры также способствует ускорению движения воды, хотя высота поднятия при этом уменьшается. Капиллярная вода передвигается в почве не только снизу вверх, но и в любом другом направлении в зависимости от градиента влажности: от влажных участков почвы к более сухим.

Испарение – потеря воды почвой. Суммарная величина испарения состоит из:

- 1) физического испарения (из почвы);
- 2) транспирации (испарение растениями).

Испарение зависит от температуры воздуха, влажности, атмосферного давления, гранулометрического состава, химического состава, рельефа, наличия растительности.

Коэффициент транспирации – количество воды, затраченное на образование 1 г сухого вещества.

Физическое испарение на почве, занятой растительностью, составляет 1/3 часть, а 2/3 приходится на транспирацию, но транспирация изменяется за вегетацию. Начиная со всходов, по мере нарастания листовой поверхности она возрастает, а потом, достигнув максимума, ослабевает.

Водоотдача – способность почвы отдавать гравитационную воду путем стекания. Максимальная величина водоотдачи равна разности между полной влагоемкостью и предельно-полевой:

$$\text{МВО} = \text{ПВ} - \text{ППВ (НВ)}.$$

Водоотдача зависит от уровня грунтовых вод и возрастает по мере их понижения. Этот принцип используется при проектировании оросительных и осушительных мероприятий.

15.1. Определение капиллярной влагоемкости

Ход работы. Берут металлический или пластмассовый цилиндр высотой около 100 мм и диаметром около 50 мм с сетчатым дном, кладут на дно кружок фильтровальной бумаги и взвешивают. Затем насыпают в цилиндр почву из нерастертого образца, уплотняя ее по мере наполнения постукиванием о ладонь, и снова взвешивают. Ставят цилиндр в ванночку с водой так, чтобы сетчатое дно цилиндра стояло на фильтровальной бумаге, концы которой опущены в воду. Вода по порам бумаги передается почве, и происходит ее капиллярное насыщение. Насыщение прекращают после достижения цилиндром постоянной массы.

Капиллярную влагоемкость рассчитывают по формуле:

$$\text{КВ} = \frac{M - m}{m} 100,$$

где КВ – капиллярная влагоемкость, %;

M – масса почвы в цилиндре после капиллярного насыщения, г;

m – масса абсолютно сухой почвы в цилиндре, г.

Массу абсолютно сухой почвы определяют по формуле:

$$m = \frac{A \cdot 100}{100 + W} \text{ или } m = \frac{A}{K_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где m – масса абсолютно сухой почвы в цилиндре, г;

A – масса воздушно-сухой почвы в цилиндре, г;

W – гигроскопическая влажность, %;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коэффициент гигроскопичности.

Результаты определения заносят в табл. 15.4.

Таблица 15.4. Определение капиллярной влагоемкости

№ цилиндра	Масса, г						Капиллярная влагоемкость, %
	цилиндра	цилиндра с воздушно-сухой почвой	воздушно-сухой почвы	абсолютно сухой почвы	цилиндра с почвой после капиллярного насыщения	почвы в цилиндре после капиллярного насыщения	
			<i>A</i>	<i>m</i>		<i>M</i>	КВ

15.2. Определение полной влагоемкости

Ход работы. Берут металлический или пластмассовый цилиндр высотой около 100 мм и диаметром около 50 мм с сетчатым дном, кладут на дно кружок фильтровальной бумаги и взвешивают. Насыпают в цилиндр почву из не растёртого образца, уплотняя ее по мере наполнения постукиванием о ладонь, и взвешивают. Ставят в ванночку на обрезки стеклянных палочек, наливают в ванночку воду на 1–2 см выше почвы в цилиндре и оставляют на сутки.

Через сутки цилиндр вынимают из воды и взвешивают.

Полную влагоемкость рассчитывают по формуле:

$$ПВ = \frac{M' - m}{m} 100,$$

где ПВ – полная влагоемкость, %;

M' – масса почвы в цилиндре после полного насыщения, г;

m – масса абсолютно сухой почвы в цилиндре, г.

Массу абсолютно сухой почвы определяют по формуле:

$$m = \frac{A \cdot 100}{100 + W} \text{ или } m = \frac{A}{K_{H_2O}},$$

где m – масса абсолютно сухой почвы в цилиндре, г;

A – масса воздушно-сухой почвы в цилиндре, г;

W – гигроскопическая влажность, %;

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности.

Зная полную влагоемкость, можно рассчитать оптимальную влажность ОВ (%) = 0,6 ПВ.

Результаты определения заносят в табл. 15.5.

Таблица 15.5. **Определение полной влагоемкости**

№ цилиндра	Масса, г						Полная влагоемкость, %	Оптимальная влажность, %
	цилиндра	цилиндра с воздушно-сухой почвой	воздушно-сухой почвы	абсолютно сухой почвы	цилиндра с почвой после полного насыщения	почвы в цилиндре после полного насыщения		
			<i>A</i>	<i>m</i>				
						<i>M'</i>		
							ПВ	ОВ

16. ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Влажность почвы при ее насыщении до полной влагоемкости можно условно разделить на несколько интервалов, при которых могут наблюдаться различные категории почвенной влаги, отличающиеся своим поведением, свойствами и доступностью растениям. Эти интервалы влажности почвы называются **почвенно-гидрологическими константами**. Основными из них являются: максимальная гигроскопическая влажность (МГВ), максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ), влажность завядания (ВЗ), влажность разрыва капилляров (ВРК), наименьшая (НВ) или предельно-полевая влагоемкость (ППВ), полная влагоемкость (ПВ). Эти константы широко используются при характеристике запасов воды в почве и оценке обеспеченности растений доступной влагой.

В зависимости от степени доступности растениям вода, находящаяся в почве, может быть подразделена на пять категорий (по А. А. Роде):

1) **недоступная вода** – это так называемый мертвый запас воды, т. е. прочносвязанная вода (парообразная и жидкая). Находится в интервале от МГВ и ниже;

2) **весьма труднодоступная вода** – это в основном рыхлосвязанная (плочная) вода, находится в интервале от МАВ до ВЗ;

3) **труднодоступная вода** – это рыхлосвязанная вода. Трудная ее доступность растениям обусловлена низкой подвижностью. При такой влажности почвы резко снижается продуктивность растений, но они не погибают. Находится в интервале от ВЗ до ВРК;

4) **среднедоступная вода** – вода очень подвижна, растения снабжаются ей бесперебойно. Находится в интервале от ВРК до НВ;

5) *легкодоступная вода, переходящая в избыточную*, – вода, находящаяся в интервале от НВ до ПВ. Избыточная вода заполняет поры аэрации, затрудняя тем самым дыхание растений и почвенных организмов и способствуя развитию процессов заболачивания. Находится в интервале около ПВ.

17. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ЕГО ТИПЫ

Совокупность явлений поступления влаги в почву, ее передвижения, удержания и расхода из почвы называется **водным режимом**.

Количественной характеристикой водного режима является *водный баланс*, который выражается уравнением прихода и расхода влаги в почве:

$$В_0 + В_{ос} + В_{г} + В_{к} + В_{п} + В_{б} = Е_{ис} + Е_{т} + В_{и} + В_{п} + В_{б} + В_1,$$

где $В_0$ – влага в начальный период;

$В_{ос}$ – влага, поступающая с атмосферными осадками;

$В_{г}$ – влага, поступающая с грунтовыми водами;

$В_{к}$ – конденсационная влага;

$В_{п}$ – влага от поверхностного притока воды;

$В_{б}$ – влага от бокового притока воды;

$Е_{ис}$ – влага, расходуемая на испарение с поверхности почвы;

$Е_{т}$ – влага, расходуемая на транспирацию;

$В_{и}$ – влага, расходуемая на инфильтрацию;

$В_{п}$ – влага, расходуемая на поверхностный сток;

$В_{б}$ – влага, расходуемая на боковой сток;

$В_1$ – влага в конце периода наблюдения.

В практике не всегда учитывают некоторые статьи прихода и расхода влаги, уравнения водного баланса. Если в погодных условиях не происходит существенных изменений, запасы воды в начальный и конечный период наблюдения можно считать равными. Количество влаги, поступающей с бокового притока, равно количеству влаги, расходуемой на боковой сток. Количество конденсационной влаги по сравнению с другими статьями мало, и практически его можно не учитывать.

С учетом сделанных допущений упрощенное уравнение водного баланса примет следующий вид:

$$В_{ос} + В_{г} + В_{п} = Е_{ис} + Е_{т} + В_{и} + В_{п}.$$

Обычно баланс влаги в почве определяется или для всей толщи, или на определенную глубину, например на глубину проникновения пахотного слоя почвы.

Для различных почвенно-климатических зон и участков местности водный баланс складывается неодинаково. Он практически определяется по соотношению между количеством осадков по средним многолетним данным и испаряемостью за год.

Под *испаряемостью* понимают наибольшее количество влаги (мм), которое может испариться с открытой водной поверхности или с поверхности постоянно переувлажненной почвы в конкретных климатических условиях за определенный промежуток времени.

Отношение суммы осадков за годовой цикл к испаряемости за этот же период называют **коэффициентом увлажнения** (КУ).

С учетом коэффициентов увлажнения выделяют следующие типы водного режима (по Г. Н. Высоцкому):

1. **Застойный (мерзлотный) тип** характерен для почв тундры, где многолетняя мерзлота выполняет роль водоупора. Оттаивающая летом почва насыщена влагой большую часть вегетационного периода.

2. **Промывной тип** ($KY > 1$) отмечается в почвах районов, где осадков выпадает больше, чем испаряется. Почва промывается до уровня грунтовых вод. Характерен для большей части Беларуси. В таких условиях формируются почвы подзолистого типа, красноземы, желтоземы.

3. **Периодически промывной тип** (KY около 1 (0,8–1,2)) присущ почвам лесостепной зоны и характеризуется промыванием почвы до грунтовых вод в годы, когда сумма осадков превышает испаряемость. При таком типе водного режима формируются серые лесные почвы, оподзоленные и выщелоченные черноземы. Водообеспеченность почв неустойчивая.

4. **Непромывной тип** ($KY \approx 1$) характерен для местностей, где влага осадков распределяется только в верхних горизонтах и не достигает грунтовых вод. В таких условиях формируются черноземы, каштановые почвы и сероземы, где испаряемость превышает сумму атмосферных осадков. Почвы никогда не промываются до грунтовых вод.

5. **Выпотной тип** (KY значительно < 1) возникает в засушливых районах – в степной, особенно в полупустынной и пустынной зонах, где испаряемость значительно превышает сумму осадков. Недостаток влаги пополняется за счет грунтовых вод. Если грунтовые воды минерализованы, то происходит засоление почв.

6. Ирригационный тип проявляется при дополнительном орошении почвы. Для него характерно чередование промывного, непромывного и выпотного типов водного режима.

В условиях земледелия обязательным мероприятием является *регулирование водного режима*.

К агротехническим приемам относятся:

- поверхностное рыхление почвы весной (закрытие влаги боронованием, что позволяет избежать непродуктивных потерь влаги за счет физического испарения);

- послепосевное прикатывание;

- создание глубокого пахотного слоя;

- рыхление подпахотного горизонта;

- применение удобрений;

- мульчирование – нанесение на поверхность почвы различных материалов.

Болотные почвы требуют осушительных мероприятий путем устройства открытого или закрытого дренажа.

Регулирование водного режима почв с временным избыточным увлажнением включает:

- гребневание;

- бороздование;

- выравнивание поверхности почвы и устранение понижений, в которых застаивается вода.

Мероприятия по накоплению и сохранению влаги в почве:

- снегозадержание;

- кулисные растения, стерня;

- полесозащитные лесные полосы.

17.1. Определение запасов влаги в почве

Ход работы. Содержание влаги в почве определяется, как правило, послойно, через 10 или 20 см для каждого генетического горизонта, так как плотность и влажность сильно изменяются по различным слоям почвенного профиля.

Запасы влаги в почве, учитываемые в течение вегетационного периода, позволяют судить об обеспеченности влагой сельскохозяйственных растений. Учет запасов воды в течение года дает возможность составления годового водного баланса. В агрономической практике важно учитывать общий и продуктивный (полезный) запас влаги в почве.

Продуктивный (полезный) запас влаги (ПЗВ) – суммарное количество продуктивной или доступной растениям влаги в почвенной толще, выраженное в миллиметрах или кубических метрах на га (т/га).

Чтобы рассчитать полезный запас влаги в почве, необходимо из общего запаса влаги (ОЗВ) вычесть запас, соответствующий влажности устойчивого завядания, т. е. запас труднодоступной воды (ЗТВ):

$$\text{ПЗВ} = \text{ОЗВ} - \text{ЗТВ}.$$

Оценка запасов продуктивной влаги представлена в табл. 16.1.

Таблица 16.1. **Оценка запасов продуктивной влаги**
(А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина)

Мощность слоя почвы, см	Запасы воды, мм	Качественная оценка запасов воды
0–20	Более 40	Хорошая
	40–20	Удовлетворительная
	Менее 20	Неудовлетворительная
0–100	Более 160	Очень хорошая
	160–130	Хорошая
	130–90	Удовлетворительная
	90–60	Плохая
	Менее 60	Очень плохая

Общий запас влаги (ОЗВ) – суммарное ее количество на заданную мощность почвенного слоя, выраженное в миллиметрах или кубических метрах. Расчет запасов влаги (в мм) производится по следующей формуле:

$$\text{ОЗВ} = 0,1(W_1 d_{v1} h_1) + 0,1(W_2 d_{v2} h_2) + 0,1(W_n d_{vn} h_n),$$

где W_1, W_2, W_n – полевая влажность 1-го, 2-го и последующих слоев почвы, %;

d_{v1}, d_{v2}, d_{vn} – плотность сложения 1-го, 2-го и последующих слоев почвы, г/см³;

h_1, h_2, h_n – мощность 1-го, 2-го и последующих слоев почвенного слоя, см;

0,1 – коэффициент пересчета влаги в миллиметрах водяного столба.

В качестве полевой влажности (W) можно использовать оптимальную влажность (ОВ). Величина оптимальной влажности почвы примерно равна 60 % от полной влагоемкости, т. е. $ОВ = 0,6 ПВ$.

Расчет ОЗВ (в т/га) производится по следующей формуле:

$$\text{ОЗВ} = \frac{M_1 \cdot W_1}{100} + \frac{M_2 \cdot W_2}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot W_n}{100},$$

где M_1, M_2, M_n – масса соответственно 1-го, 2-го и последующих почвенных слоев на площади, равной 1 га, т;

W_1, W_2, W_n – полевая влажность почвы соответственно для 1-го, 2-го и последующих почвенных слоев, %.

Расчет массы почвенного слоя на площади, равной 1 га, осуществляется по формуле:

$$M = d_v V = d_v S h,$$

где d_v – плотность почвенного слоя, г/см³;

V – объем почвенного слоя, м³;

S – площадь, равная 1 га, м²;

h – мощность почвенного слоя, м.

Запас труднодоступной влаги рассчитывается аналогично общему запасу, но при этом в формулу вместо полевой влажности подставляется влажность завядания растений:

$$\text{ЗТВ} = 0,1(B_{3_1} d_{v_1} h) + 0,1(B_{3_2} d_{v_2} h_2) + \dots + 0,1(B_{3_n} d_{v_n} h_n).$$

Расчет ЗТВ (в т/га) выполняется по следующей формуле:

$$\text{ЗТВ} = \frac{M_1 \cdot B_{3_1}}{100} + \frac{M_2 \cdot B_{3_2}}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot B_{3_n}}{100}, \text{ т/га}.$$

Результаты расчетов заносят в табл. 16.2.

Таблица 16.2. Определение запасов влаги в почве

Полевая влажность	Оптимальная влажность	Плотность почвы	Мощность почвенного слоя	Влажность завядания	Общий запас влаги		Запас труднодоступной влаги		Полезный запас влаги	
W	ОВ	d_v	h	ВЗ	ОЗВ		ЗТВ		ПЗВ	
%	%	г/см ²	см	%	мм	т/га	мм	т/га	мм	т/га

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александрова, Л. Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учеб. пособие для вузов / Л. Н. Александрова, О. А. Найденова; под ред. Л. Н. Александровой. – Ленинград: Агропромиздат, 1986. – 295 с.
2. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – М.: Наука, 1980. – 286 с.
3. Горбылева, А. И. Некоторые закономерности изменения содержания гумуса и пути обеспечения его бездефицитного баланса в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / А. И. Горбылева, А. В. Калиновский, И. В. Цыцковская // Резервы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: сб. науч. тр. – Горки, 1993. – С. 5–11.
4. Горбылева, А. И. Почвоведение: учеб. пособие / А. И. Горбылева, В. Б. Воробьев, Е. И. Петровский; под ред. А. И. Горбылевой. – Минск: Новое знание, М.: ИНФРА-М, 2012. – 400 с.
5. Горбылева, А. И. Почвоведение с основами геологии: учеб. пособие / А. И. Горбылева, В. Б. Воробьев; под ред. А. И. Горбылевой. – Минск: ООО «Новое знание», 2002. – 479 с.
6. Трансформация органического вещества почв / Л. А. Гришина [и др.]. – М.: МГУ, 1990.
7. Кирюшин, В. И. Агрономическое почвоведение: учеб. пособие для вузов / В. И. Кирюшин. – М.: Колос, 2010. – 687 с.
8. Козловская, И. П. Почвоведение с основами геоботаники: учеб. пособие / И. П. Козловская. – Минск: Ураджай, 2000. – 260 с.
9. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
10. Кулаковская, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
11. Лыков, А. М. Гумус и плодородие почвы / А. М. Лыков. – М.: Московский рабочий, 1985. – 192 с.
12. Общее почвоведение: учебник для вузов / В. Н. Мамонтов [и др.]; под ред. В. Н. Мамонтова. – М.: Колос, 2006. – 456 с.
13. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв / Д. С. Орлов. – М.: МГУ, 1974. – 331 с.
14. Почвоведение. учеб. пособие / О. В. Мурзова, Т. Ф. Персикова, Е. Ф. Валейша [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2024. – 448 с.
15. Почвоведение. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А. И. Горбылева [и др.]; под общ. ред. А. И. Горбылевой. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 192 с.
16. Почвоведение / под ред. И. С. Кауричева. – М.: Агропромиздат, 1989. – 719 с.
17. Почвоведение. Лабораторный практикум: в 2 ч. Ч. 1: учеб.-метод. пособие / Е. Ф. Валейша [и др.]. – Горки: БГСХА, 2024. – 110 с.
18. Почвы Беларуси: учеб. пособие / Т. Ф. Персикова [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2024. – 254 с.
19. Клебанович, Н. В. Почвоведение и земельные ресурсы: учеб. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2013. – 380 с.
20. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 221 с.
21. Шенявский, А. Л. Оценка плодородия почв методом гумусового баланса / А. Л. Шенявский. – М.: ВНИИТЭПХ, 1973. – 28 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. МЕТОДИКА ОТБОРА ПОЧВЕННОГО ОБРАЗЦА, ПОДГОТОВКА ПОЧВЫ К ЛАБОРАТОРНОМУ АНАЛИЗУ И ВЫБОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА	4
2. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ	7
2.1. Минералогический состав почв	7
2.2. Химический состав почв	10
2.3. Радиоактивность почв	12
3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ	13
3.1. Размеры, строение, свойства и классификация механических элементов	13
3.2. Классификация почв по гранулометрическому составу	16
3.3. Значение гранулометрического состава почв	18
3.4. Методы определения гранулометрического состава почв	19
3.4.1. Полевые методы определения гранулометрического состава почв	19
3.4.2. Лабораторный метод определения гранулометрического состава почвы (по Н. А. Качинскому в модификации С. И. Долгова и Л. И. Личмановой)	21
4. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ	27
4.1. Общие сведения	27
4.2. Влияние природных условий на характер и скорость гумусообразования	30
4.3. Роль гумуса в почвообразовании, плодородии и питании растений	33
4.4. Подготовка почвенных образцов для определения содержания гумуса	35
4.5. Определение общего содержания органического вещества в почве по методу И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова	36
4.6. Определение общего содержания органического вещества в почве по методу И. В. Тюрина с фотокolorиметрическим окончанием	39
4.7. Определение содержания и запасов гумуса в почве	40
4.8. Ускоренное определение состава гумуса минеральных почв методом М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой	41
4.9. Определение содержания в почве подвижных (лабильных) гумусовых веществ	43
4.10. Определение содержания в почве подвижного органического вещества по М. А. Егорову	44
4.11. Определение содержания в почве подвижных гумусовых веществ по методике Почвенного института им. В. В. Докучаева	44
4.12. Определение группового состава гумуса по методу И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой	45
4.13. Баланс гумуса	48
5. ПОЧВЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ И МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ	55
5.1. Определение актуальной кислотности	58
5.2. Определение обменной кислотности	58
5.3. Определение гидролитической кислотности почвы по Каппену методом титрования	59
5.4. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО pH-метрическим методом	60
5.5. Определение обменной кислотности и подвижного алюминия по А. В. Соколову	61
5.5.1. Определение общей обменной кислотности	62
5.5.2. Определение подвижного алюминия	62
6. СУММА ОБМЕННЫХ ОСНОВАНИЙ	64

6.1. Определение суммы обменных оснований по методу Каппена-Гильковича	65
7. ОБМЕННЫЕ КАТИОНЫ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ	66
7.1. Определение обменных катионов кальция и магния комплексометрическим (трилонометрическим) методом	67
7.1.1. Определение обменного кальция	67
7.1.2. Определение суммы кальция и магния	67
8. ЕМКОСТЬ КАТИОННОГО ОБМЕНА	69
8.1. Определение емкости катионного обмена по методу Е. В. Бобко и Д. К. Аскинази в модификации ЦИНАО	69
8.2. Определение емкости катионного обмена расчетным путем	71
9. ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВ ОСНОВАНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВ В ИЗВЕСТКОВАНИИ И РАСЧЕТ НОРМ ИЗВЕСТИ	71
10. ПОДВИЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ФОСФОРА И КАЛИЯ	75
10.1. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу А. Т. Кирсанова	77
10.2. Определение подвижного фосфора	77
10.3. Определение подвижного калия	78
11. СТРУКТУРА ПОЧВЫ	80
11.1. Понятие об агрегатном состоянии и структурности почвы	80
11.2. Образование структуры почвы	88
11.3. Разрушение и восстановление структуры почвы	90
11.4. Агрегатный анализ почв методом Н. И. Саввинова	91
12. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ	94
12.1. Определение плотности почвы из рассыпного образца	98
12.2. Определение плотности твердой фазы почвы	99
12.3. Определение пористости (скважности) почвы и воздухообеспеченности (пористости аэрации)	100
13. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ	101
13.1. Определение пластичности почв	105
13.2. Определение липкости почв	107
14. КАТЕГОРИИ, ФОРМЫ И ВИДЫ ВОДЫ В ПОЧВЕ	108
14.1. Определение гигроскопической влажности почвы	114
14.2. Определение максимальной гигроскопической влажности почвы (по А. В. Николаеву)	116
15. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ	117
15.1. Определение капиллярной влагоемкости	128
15.2. Определение полной влагоемкости	129
16. ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ	130
17. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ЕГО ТИПЫ	131
17.1. Определение запасов влаги в почве	133
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	136

Учебное издание

Валейша Евгения Францевна
Персикова Тамара Филипповна
Мурзова Ольга Викторовна и др.

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В двух частях

Часть 2

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Компьютерный набор и верстка *Т. В. Серяковой*

Подписано в печать 30.05.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 6,46.
Тираж 60 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.