

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра почвоведения и геоинформационных систем

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ Червань А. Н.

«28» сентября 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ Курлович Д. М.

«25» ноября 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель

учебно-методической комиссии факультета

_____ Кольмакова Е.Г.

«23» ноября 2021 г.

Биофизика почв

Электронный учебно-методический комплекс
для специальности: 1-31 02 01 «География»

Регистрационный № 2.4.2-12/204

Составители:

Клебанович Н. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Ефимова И. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Чиж Д. А., кандидат экономических наук, доцент.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
30.11.2021 г., протокол № 2.

Минск 2021

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
Протокол № 2 от 30.11.2021 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 4 от 25.11.2021 г.

С о с т а в и т е л и:

Клебанович Николай Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения и геоинформационных систем БГУ;

Ефимова Ирина Аркадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ;

Чиж Дмитрий Анатольевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ.

Рецензенты:

кафедра экологического мониторинга и менеджмента государственного экологического института им. А. Д. Сахарова БГУ (зав. кафедрой Головатый С.Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор);

Путятин Ю.В., заведующий лабораторией РУП «Институт почвоведения и агрохимии», доктор сельскохозяйственных наук, доцент.

Биофизика почв : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 01 «География» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. почвоведения и геоинформационных систем ; сост.: Н. В. Клебанович, И. А. Ефимова, Д. А. Чиж. – Минск : БГУ, 2021. – 123 с. : ил., табл. – Библиогр.: 122–123.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-31 02 01 «География». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Биофизика почв» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

Оглавление

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	7
1.1. ФИЗИКА ПОЧВ.....	7
1.1.1. Биофизика как учебная дисциплина	7
1.1.2. Гранулометрический состав почвы	9
1.1.3. Структура почв.....	16
1.1.4. Удельная поверхность.....	19
1.1.5. Плотность почв	22
1.1.6. Порозность почв.....	24
1.1.7. Физико-механические свойства	29
1.1.8. Цвет почв	30
1.1.9. Тепловой режим почвы	31
1.2. ГИДРОФИЗИКА ПОЧВ.....	35
1.2.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.....	38
1.2.2. Водные свойства почв	45
1.2.3. Поведение и состояние воды в почве.	52
1.2.4. Доступность почвенной воды для растений	55
1.2.5. Водный режим почв, его типы и регулирование.....	57
1.3. БИОЛОГИЯ ПОЧВ.....	66
1.3.1. Почва как среда обитания	66
1.3.2. Влияние отдельных фаз почв и температуры на микроорганизмы.....	70
1.3.3. Почвенная биота	72
1.3.4. Высшие растения	74
1.3.5. Почвенные водоросли	76
1.3.6. Почвенные животные. Общая характеристика.....	78
1.3.7. Эколого-таксономический состав почвенной фауны	82
1.3.8. Почвенные грибы.....	89
1.3.9. Лишайники	91
1.3.10. Прокариоты	93
1.3.11. Биоценозы зональных типов почв	96
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	99
2.1. Гранулометрический состав почв	99
2.2. Водный баланс и его составляющие.....	99

2.3. Расчет глубины проникновения осадков, подъема грунтовых вод, поливной и оросительной норм	106
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	114
3.1 Перечень тестов и контрольных заданий	114
3.2 Вопросы к экзамену по дисциплине	116
3.3 Организация самостоятельной работы	118
3.4. Перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов	119
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	120
4.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины	120
4.2. Рекомендуемая литература	122
Основная	122
Дополнительная	122
4.3. Электронные ресурсы	123

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Биофизика почв» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательного стандарта и учебного плана по специальности 1-31 02 01 «География». Его наличие обеспечивает стабильность качества образовательного процесса и является методической основой для обеспечения эффективной самостоятельной работы студентов.

ЭУМК по учебной дисциплине «Биофизика почв» создан на научно-методическом и программно-техническом уровнях, соответствующих современным информационно-коммуникационным технологиям и призван обеспечить реализацию учебных целей и задач на всех этапах образовательного процесса по данной дисциплине.

Назначение – реализация требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний по учебной дисциплине «Биофизика почв».

Цель ЭУМК – повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «Биофизика почв» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение подготовки высококвалифицированных специалистов.

Область применения – на лабораторно-практических занятиях по курсу «Биофизика почв», в ходе самостоятельной подготовки к аудиторным занятиям, текущему и итоговому контролю знаний по разделам дисциплины, ориентация в выполнении управляемой самостоятельной работы.

Функциональные возможности ЭУМК – средство ориентации в содержании дисциплины «Биофизика почв» и порядке изучения учебного материала, освоение теоретического и практического материала, подготовка к контролю знаний. Весь материал ЭУМК структурирован по разделам таким образом, чтобы знаниями по учебной дисциплине «Биофизика почв» студент мог овладеть самостоятельно. ЭУМК по учебной дисциплине «Биофизика почв» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций для теоретического изучения учебной дисциплины, на основе учебных пособий:

Физика почв: учебные материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1–01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/269673>. – Дата доступа 05.10.2021.

Гидрофизика почв: учеб. материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1-01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/168988>. – Дата доступа 05.10.2021.

Биология почв: учеб. материалы по спецкурсу «Биофизика почв» для студентов специальности 1–01 02 01 «География» / Н.В. Клебанович, И.А. Ефимова, Д.А. Чиж. [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. –

Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/269590>. – Дата доступа 05.10.2021.

Практический раздел ЭУМК включает варианты заданий для проведения лабораторно-практических занятий на основе пособий:

Вода в почве: практикум по курсу «Биофизика почв» для студентов специальности 1–01 02 01 «География» / Н.В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/17768>. – Дата доступа 05.10.2021.

Мелиоративные обследования: практикум по курсу "Методы обследований земель" для студентов спец. 1-01 02 01-03 "Геоинформационные системы" / Н. В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/141702>. – Дата доступа 05.10.2021.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы к контролю знаний и к аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта и учебно-программной документации по специальности. Данный раздел включает: варианты контрольных заданий, вопросы к экзамену, перечень заданий и контрольных мероприятий управляемой самостоятельной работы.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит ссылки на учебные программы по учебной дисциплине «Биофизика почв».

ЭУМК по учебной дисциплине «Биофизика почв» предназначен для преподавателей, студентов, аспирантов, магистрантов, изучающих почвоведение и смежные науки.

Дисциплина «Биофизика почв» раскрывает основы современного учения о физическом статусе почв; содержит сведения об основных общих физических свойствах почв (плотности, порозности, удельной поверхности); раскрывает понятие влагоемкости почв и характеризует ее виды; освещает теоретические вопросы состояния воды в почве, регулирования водного режима почв путем гидротехнической мелиорации и агротехнических мероприятий. В рамках дисциплины показаны основные водно-физические и воздушно-физические свойства почв; система живого населения почвы; дана систематика почвенной микробиоты и раскрыта ее роль в плодородии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. ФИЗИКА ПОЧВ

1.1.1. Биофизика как учебная дисциплина

Термин «биофизика» появился в девятнадцатом столетии, которое характеризовалось ускоренным развитием всего естествознания, всей науки. Произошло радикальное изменение основ науки – изменились представления о пространстве и времени, веществе и поле. В физике сформировались две великие теории: теория относительности и квантовой механики. Прямым следствием этих теорий явилось преобразование основ химии. Возникла тенденция к интеграции научного мировоззрения, что предопределило появление целого ряда пограничных наук: геофизики, астрофизики, биофизики. Последняя пыталась показать, что факты биологии (морфологии, эмбриологии, физиологии) образуют частные случаи приложения общих физических законов. Термин «биофизика» своим появлением обязан двум ученым английскому математику и биологу Карлу Пирсену (1857–1936) и французскому физику Жаку Арсену Д'Арсонваллю (1851–1940). В 1892 году Пирсон организовал кафедру в Колледже де Франс, которую назвал «кафедрой биофизики», главной научной темой которой стало изучение воздействия переменных токов на биологические объекты.

В начале XXI века основные тенденции мирового развития определяются ростом населения и поиском принципиально новых подходов при решении продовольственной проблемы, так как дальнейшая интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур в традиционном понимании обеспечивает все меньшие прибавки урожая на единицу дополнительно затраченной антропогенной энергии и часто приводит к загрязнению окружающей природной среды. Процесс дальнейшей интенсификации технологических приемов выращивания сельскохозяйственных культур становится все более затратным и менее эффективным. Поэтому в последние десятилетия все более активно ведется поиск физиологических, биохимических и биофизических приемов и технологий, направленных на реализацию генетического потенциала, повышения неспецифической устойчивости к различного рода абиотическим и биотическим стрессам, усиления адаптивного потенциала растений с целью роста и стабилизации урожая.

В рамках данной дисциплины, строго говоря, изучается не биофизика почв, которая находится еще в стадии начального развития науки, а физика почв, гидрология почв, биология почв, которые представляются органичными частями данной учебной дисциплины.

Физика почв изучает физические свойства почвы и физические процессы, происходящие в почве. Она стремится описать и предсказать количественно физическое поведение почвогрунтов, их механических, тепловых и электрических характеристик, перенос энергии и материалов через почву, используя соответствующие эмпирически определенные свойства и переменные окружающей среды.

Физика почв использует примитивные количества, законы, методы и результаты классической физики, механики, особенно жидкости, вместе достижениями физической химии, чтобы понять и характеризовать физические

явления, происходящие в почве. Вместе с химией почв и биологией почв физика почв образует ядро современного почвоведения.

Почва – гетерогенная субстанция и эта неоднородность проявляется на различных масштабах. Физика почв, в основном, работает в макроскопических масштабах, относительно более крупных, чем отдельные поры или частицы, которые окружают их, но достаточно малых для определения физических характеристик конкретной почвы и ее горизонтов, а иногда и ландшафта. Необходимость познания этих характеристик возникла в далекой древности. Рост площадей орошаемого земледелия в Междуречье, Египте и в Китае стимулировал рост эмпирического понимания физических свойств почвы, составляющих основу успешного сельского хозяйства. Эти первые земледельцы понимали важность почвенных пор для роста растений. В «Георгики» римского поэта Вергилия (70–19 до н.э.), задуманного для «наслаждения читателей, а не как руководство фермерам», предостаточно практических советов по вспашке, скотоводству. Вергилий замечает (книга 1, строки 89–90), что «на некоторых почвах остатки стерни открывают новые каналы и скрытые поры, через которые соки почвы могут перейти к растущим растениям».

Уже в Древней Греции люди интересовались жизненными процессами растений, способом их питания. В Одиссее (8 век до н.э.) Гомер упоминает навоз как материал, который улучшает рост растений. Кроме навоза с древности рекомендуются компост, солома, останки животных, илы, зеленое удобрение и иногда даже зола, кости, мергель, известь и гипс. Анаксагор (500–428 до н.э.) писал, что растения – «душистые» организмы, обладающие способностью реагировать на условия окружающей среды, например, испытывать печаль или радость. Аристотель (384–322 до н.э.) учил, что растения берут пищу из почвы через корни в готовом виде, то есть в форме органических веществ. Он также предположил, что растения имеют внутреннюю жизнь, которая проявляется в способности мыслить и помнить. Теофраст (около 370–287 до н.э.), самый блестящий ученик Аристотеля, благодаря углубленным исследованиям по систематике, морфологии, географии и физиологии растений, внес эпохальный вклад в биологию и сформулировал различия между животным и растительным миром. Он ввел классификацию растительного мира (поддерживалась до XVI века) на четыре группы, которые описывали приблизительно 500 видов растений, показал способы их воспроизводства и использования в различных сферах, выявил, что вегетативные структуры включают корень, стебель и листья.

Первым в Риме, кто дал в трактате «Сельское хозяйство» ряд инструкций и рекомендаций, ведущих к умной системе управления фермой для достижения коммерческой эффективности был Маркус Порциус Катон (234–149 до н.э.). Катон дает советы по посеву, удобрению почвы, выращиванию виноградных лоз и оливковых деревьев.

В средние века достижения античного периода ушли в небытие, но мировые знания были приняты арабами и вновь открылись в эпоху Возрождения. Оживление научной мысли произошло после открытия университетов (Болонья, Париж, Оксфорд, Кембридж, Падуя, Тулуза, Рим, Орлеан, Флоренция, Пиза, Коимбра), где учебная программа включала и экологические науки.

Концептуальное понимание физических механизмов – улучшенная вентиляция и транспортирование воды в корни растений – должны были ждать конца 19-го века, чтобы появилась физика, как отдельная дисциплина в области почвоведения. До этого основное внимание уделялось химии почв как основной причине для большинства аспектов продуктивности растений. Важные шаги в понимании динамики потока жидкостей в пористых средах были сделаны французским инженером Анри Дарси в 1850-х, но его работа, абсолютно центральная с точки зрения понимания и количественной оценки потока почвенной влаги, осознавалась медленно. В настоящее время все большее распространение получает точка зрения, что физические свойства не менее важны для создания урожая, чем содержание элементов питания или реакция среды.

Жизнь на нашей планете поддерживают два основных процесса – создание нового органического вещества за счет фотосинтеза и его последующее ступенчатое разложение. Первый осуществляется главным образом высшими растениями, второй – микроорганизмами в почве. Биология почвы, изучающая мир почвенных обитателей и процессы, которые они вызывают, связывает воедино отдельные звенья этого биологического круговорота веществ. Биология почв не только описывает явления, но и расшифровывает механизмы протекающих в почве процессов, их биохимическую сущность. Биология почвы имеет свои объекты исследования, специфические проблемы и арсенал необходимых методов.

Истоки зарождения биологии почвы прослеживаются в конце прошлого и начале нашего века, когда был заложен фундамент двух наук – почвоведения и микробиологии.

В. В. Докучаев первый связал процессы почвообразования с деятельностью почвенных микроорганизмов. В работах В. В. Докучаева была изложена новая методология – генетический подход к изучению почвы с учетом не отдельных тел и факторов, а всего комплекса в целом. Начиная с работ В. В. Докучаева и его талантливого ученика В. И. Вернадского, почва всегда считалась компонентом еще более сложной природной системы – биогеоценоза и биосферы в целом. Итогом работ В. В. Докучаева было создание учения о зонах природы, получившее развитие в трудах Б. Б. Полынова, создавшего геохимию ландшафта и учение о коре выветривания, в котором он отводил большую роль деятельности микроорганизмов. Он писал, что именно в почвах сосредоточена геологическая работа живого вещества. Почва отличается от породы биогенной аккумуляцией элементов.

В. И. Вернадский, разрабатывая основы биогеохимии – науки о биосфере, рассматривал деятельность живых организмов в их совокупности с точки зрения геологического эффекта и считал ее самой могучей силой на земной поверхности. Именно благодаря этой деятельности была создана на Земле азотно-кислородная атмосфера, произошло изменение состава гидросферы и литосферы. Он впервые отнес почву в разряд биокосных систем.

1.1.2. Гранулометрический состав почвы

Гранулометрический состав почва в основном наследует от почвообразующей породы, но существуют данные, что некоторые почвенные процессы (лессиваж,

оподзоливание, оглеение, метаморфизм) могут привести к изменению гранулометрического состава почвенных горизонтов.

В почве выделяют агрегаты (микроагрегаты) и элементарные почвенные частицы. Первые представляют собой комбинацию элементарных почвенных частиц, образующуюся в результате их взаимодействия, скрепления каким-либо цементом, клеем. Элементарные почвенные частицы представлены отдельными зёрнами минералов, обломков пород, коллоидами, в том числе органическими. Из гранулометрического состава обычно исключают карбонаты, гипс, другие новообразования и анализируют собственно мелкозем, измельченный до величины зёрен меньше 1 (2) мм. Если почва карбонатная, то ее обрабатывают кислотой для растворения карбонатов. Для дезинтеграции микроагрегатов навеску почвы обрабатывают или ультразвуком, или пиррофосфатом Na, или щелочью (NaOH). В свое время был предложен так называемый международный метод обработки почв перекисью водорода для сжигания органического вещества. Такое внимание к методикам лабораторного определения гранулометрического состава почв связано с тем, что изменения в этих методиках могут привести к систематическим изменениям в результатах гранулометрического анализа, поэтому сравнивать гранулометрические данные, полученные разными школами, следует очень осторожно. В классификациях разных стран выделяемые фракции часто различаются по размеру слагающих их частиц (таблица 1.1). В белорусской классификации ключевым понятием является «физическая глина» – сумма фракций ила, мелкой и средней пыли, то есть менее 0,01 мм, по величине которой почвы делятся на разновидности по гранулометрическому составу: до 5,0 % – рыхлопесчаные, 5,1–10,0 % – связнопесчаные, 10,1–15,0 % рыхлосупесчаные, 15,1–20,0 % – связно-супесчаные, 20,1–30,0 % – легко-суглинистые, 30,1–40,0 – среднесуглинистые, 40,1–50,0 – тяжелосуглинистые, 50,1–65,0 – легкоглинистые, 65,1–80,0 – среднеглинистые, более 80 – тяжелоглинистые.

Существуют также классификации почв по гранулометрическому составу, учитывающие содержание трех фракций: песка (1(2)–0,05 мм), пыли (0,05–0,001 мм) и глины (ила), частиц размером меньше 0,001 мм.

В классификации, принятой в Беларуси, построенной на основании содержания физической глины, выделяют две фракции. На последнее место ставят преобладающую фракцию. Наименьшую по содержанию фракцию в название не включают. Почва, содержащая 27 % физической глины, 15 % ила, 50 % пыли и 35 % песчаной фракции называется пылевато-песчаный легкий суглинок.

Таблица 1 – Классификация гранулометрических фракций по размеру в разных странах, мкм.

Название фракции	Беларусь, Россия	США, ДСХ	ISSS	США. ДА	Англия	Германия	Россия, ИГ
Коллоиды	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,25
Ил	<1	<2	<2	<5	<2	<2	<1
Пыль:	1–50	2–50	2–20	5–50	2–60	2–60	1–50
мелкая	1–5	–	–	–	2–6	–	1–5
средняя	5–10	–	–	–	6–20	–	5–10
крупная	10–50	–	–	–	20–60	–	10–50
Песок:	50–1000	50–2000	20–2000	50–2000	60–2000	60–2000	50–2000
тонкий		50–100					50–100
мелкий	50–250	100–250	20–200	50–250	60–200	60–200	100–250
средний	250–500	250–500	–	–	200–500	200–500	250–500
крупный	500	500–1000	200–2000	250–2000	500–2000	500–2000	500–1000

Примечание. Беларусь, Россия – классификация Н.А. Качинского (модификация Почвенного института им В.В. Докучаева); ДСХ – департамент сельского хозяйства США; ISSS – классификация международного общества охраны почв; ДА – департамент автодорог; Англия – британский стандарт; Германия – немецкий стандарт; Россия, ИГ – классификация, принятая в инженерной геологии в России

В зарубежной литературе используют несколько другую классификацию почв по гранулометрическому составу (табл.2), построенную на содержании пыли, песка и ила (глины). К глине в этом случае относят частицы с диаметром меньше 2 мкм, к пылеватой фракции – частицы размером 2–50 мкм и к песчаной фракции – частицы диаметром более 50 мкм. Выделяют также тонкую (очень тонкую) и мелкую (тонкую) песчаные фракции (50–100 мкм и 100–250 мкм). Как видно из сравнения двух классификаций, они не всегда совпадают, американская классификация более подробная, и в ней есть две градации почв, отмеченные звездочкой в таблице 2, которые выделяются отдельно по содержанию тонких фракций песка.

В Соединенных Штатах Америки выделяется семь размерных классов, которые на самом деле являются подразделениями континуума, а изменения в характеристиках постепенны во всем диапазоне. Однако подразделение этого континуума необходимо, чтобы обеспечить идентификацию и описание почвы.

Ограничения на размеры частиц, принятые Международным обществом почвоведения, были предложены Atterberg (1905) на основе исследований, проведенных в южной Швеции. Он первым изучил поведение многих почв в узком интервале размеров, например, 1–2 мм, 0,1–0,2 мм, 0,02–0,05 мм, и 0,001–0,002 мм. Им определялась способность удерживать воду, скорость капиллярного подъема, тенденция к свертыванию в виде суспензии, и броуновское движение. По этим параметрам было первоначально выделено 4 группы почв. Представления об разделении почв по гранулометрическому составу постепенно эволюционировали в сторону ставшего уже классическим текстурного треугольника (рисунок 1,2).

Таблица 2 – Классификация почв США по гранулометрическому составу.

Название по гранулометрическому составу, американская и российская номенклатура	Гранулометрические фракции, %		
	Clay (ил) <2мкм	Silt (пыль) 2–50 мкм	Sand (песок) >50 мкм
Sands(пески)	<10	0–10	85–100
Loamy sands (оглиненный песок), супесь средняя, легкий суглинок	10–15	0–15	70–85
Sandy loam (опесчаненный суглинок), супесь тяжелая, легкий суглинок	15–20	0–15	70–85
Fine sandy loam (тонко-песчаный суглинок), легкий суглинок*	15–20	0–15	70–85
Very fine sandy loam (очень тонко-песчаный суглинок), легкий суглинок*	15–20	0–15	70–85
Loam (суглинок), легкий, тяжелый суглинок	5–27	28–50	45–80
Silt loam (пылеватый суглинок), тяжелый суглинок, глина	0–30	73–88	20–45
Silt (пыль), пылеватая глина	0–12	88–100	0–20
Sandy clay loam (опесчаненный и оглиненный суглинок), легкий, тяжелый суглинки	20–36	0–28	45–80
Silty clay loam (пылеватый оглиненный суглинок), пылеватая глина	28–40	60–73	0–20
Clay loam (илистый суглинок), глина	27–0	60–70	20–45
Sandy clay (опесчаненная глина), тяжелый суглинок, глина	36–55	0–20	45–65
Silty clay(глина), глина	40–60	40–60	0–20
Clay	40–100	0–60	0–45

Распределение частиц образцов почвы по размерам частично осуществляется путем просеивания и частично путем осаждения. Песчаные составляющие отделяются из ила и пыли путем просеивания, и фракционируются. Определение фракций пыли и ила делается с помощью пипетки или ареометра.

Техника пипетки была введена в начале 1920-х годов Дженнингс и Робинсон (Gee, Or, 2002). Метод предусматривает извлечение известного объема суспензии для измерения плотности суспензии при достижении критической глубины для частиц данной размерности в соответствии с правилом Стокса. Метод пипетки является основным для почвоведов, тогда как инженеры часто практикуют ареометры определенной конструкции.

Следует обратить внимание на тот факт, что само определение гранулометрического состава достаточно сложная операция, и полученные данные очень широко варьируют, поэтому оценить изменения в гранулометрическом составе почвы в результате процессов почвообразования очень трудно. Нужны более точные методы оценки гранулометрического состава почвы. Необходимо учитывать другие свойства, которые функционально связаны с гранулометрическим составом. Но эта прямая функциональная зависимость нарушается тем, что разные почвы различаются по минеральному составу, а для разных минералов функциональная связь между размером их зерен и свойствами разная.

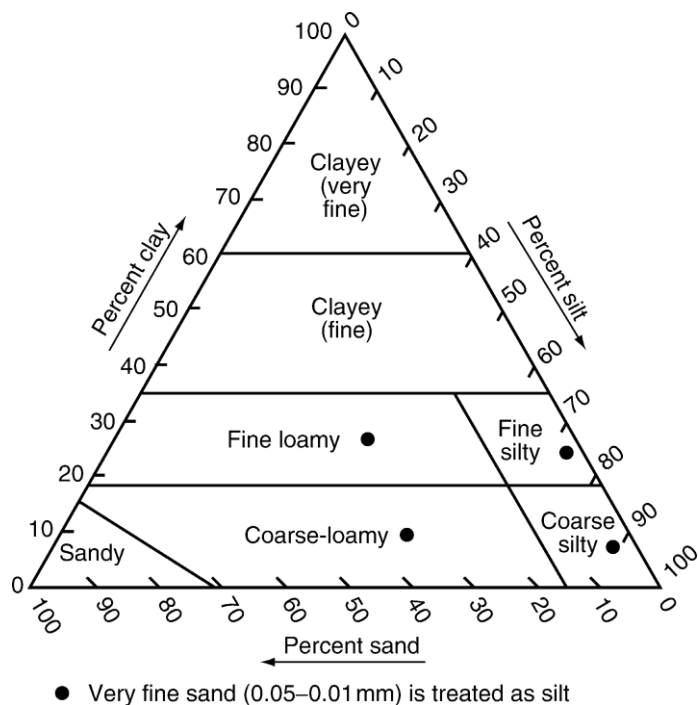


Рисунок 1 – Текстурные классы почв, применяемые в департаменте по сельскому хозяйству США.

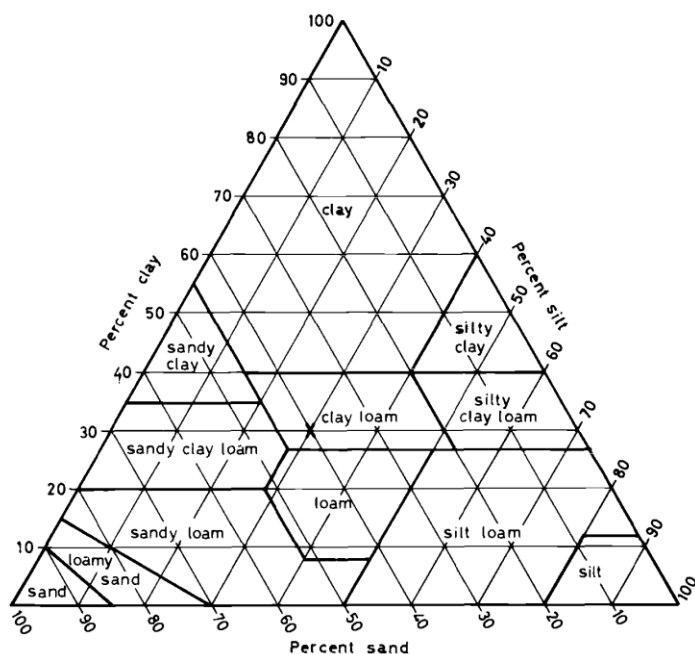


Рисунок 2 – Текстурные классы почв, принятые в Европе.

Частицы мелкодисперсных минералов разлагаются в целом быстрее, чем более крупных, хотя бы потому, что их удельная поверхность существенно выше, то есть больше площадь, на которую осуществляется активное воздействие. О различиях в этом аспекте хорошо говорит количество частиц на 1 г почвы и их удельная (или специфическая, как ее называют в англоязычных странах) поверхность (таблица 3). Эти цифры наглядно показывают, почему физико-химическая поглотительная способность почв, гигроскопичность и многие другие свойства зависят почти полностью от содержания илстых частиц. Кстати, сама

форма илистых частиц обычно напоминает пластину, а не сферу, что еще более усиливает сорбционную способность почвы, повышает липкость и пластичность.

Таблица 3 – Количество частиц и удельная поверхность, приходящиеся на 1 г почвы определенной фракции гранулометрического состава.

Фракции	количество частиц на 1 г почвы	удельная поверхность, см ² /г
Ил	90260,9 млн.	n * 10 ⁶
Пыль	5,78 млн.	454
Песок тонкий	720000	227
Песок мелкий	46000	91
Песок средний	5700	45
Песок крупный	720	23

Фракции состоят из минеральных зерен, и сам гранулометрический состав во многом определяется минеральным составом породы, так как разные минералы не одинаково поддаются выветриванию. Так, кварц – наиболее устойчивый минерал, поэтому обычно он накапливается в крупных фракциях, полевые шпаты преобладают в среднем и мелком песке, например, в лессах (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение преобладающих минералов в гранулометрических фракциях лесса (по В.П. Ананьеву).

Размер фракции, мм	Минералы
>0,25	кварц
0,25–0,005	кварц, полевые шпаты, кальцит, тяжелые минералы,
0,005–0,001	полевые шпаты, кварц, кальцит, каолинит, гидрослюда
0,001–0,0001	гидрослюда, каолинит, кальцит, монтмориллонит, вторичный кварц
0,0001	монтмориллонит, гидрослюда, органическое вещество, вторичный кварц

Особенно четко прослеживается зональность водорастворимых минералов: карбонатов, гипса, солей натрия и т.п. Они отсутствуют в гумидных и присутствуют, часто в больших количествах, в аридных почвах.

Минеральный состав почв, особенно их глинистой фракции, может меняться в зависимости от типа почв (на зональном уровне). Для ряда зональных почв Европейской части России эта закономерность выглядит очень ярко (таблица 5).

Различные группы гранулометрических элементов по-разному влияют на свойства почв, что объясняется различиями их минералогического, физического и химического состава и свойств. Например, песок обладает значительной проницаемостью, слабыми влагоемкостью и капиллярными свойствами, а гранулометрические элементы крупнее 2,0 мм почти не обладают капиллярной способностью. Функциональная зависимость также изменяется в зависимости от содержания в почве гумуса. Некоторые свойства почв, наряду с гранулометрическим составом, определяются гумусом, поэтому выбор свойств почв, которые могут корректировать с гранулометрическим составом, – очень актуальная задача.

Таблица 5 – Минеральный состав и основные компоненты почвенных частиц менее 1 мкм, % от массы фракции (по А.Д. Воронину).

Почва	Горизонт	Гумус, %	Карбонаты и легкорастворимые соли	Группа монтмориллонита	Гидро-слюды	Каолинит + хлорит	Кварц и др.
Ретисоль (дерново-подзолистая (Московская обл.))	A1	10	нет	23	26	36	5
	A1 A2	6	44	19	33	32	10
	A2	4	44	15	38	29	14
	B1	1	44	35	31	28	5
чернозем типичный целина (Курская обл.)	A1	15	2	27	36	15	5
	B1	11	2	26	35	21	5
	B2	4	12	19	33	27	5
	C1	2	12	24	35	25	2
чернозем обыкновенный (Каменная степь, Воронежская обл.)	A1	14	5	48	25	5	3
	B1	6	4	63	20	5	2
	B2	2	18	50	22	5	3
	B3	1	18	53	21	5	2
каштанозем (Волгоградская обл.)	A1	5	4	34	53	1	3
	B1	3	5	44	44	2	2
	B2	2	16	34	43	3	2
	C1	1	24	35	35	3	2
	C3	1	15	37	43	3	1
солонец среднестолбчатый (Волгоградская обл.)	A1	6	5	32	44	1	6
	B1	3	7	48	36	1	5
	B2	2	15	42	38	1	3
	C1	1	20	34	42	2	1
	C3	1	16	36	44	2	1
Кальцисоль (темный серозем (Чаткальская ГМОС))	A1	5	20	25	47	1	2
	A1 B1	2	24	15	56	1	2
	B1	2	24	15	56	1	2
	BC	1	21	22	38	17	1
	C	1	16	15	45	22	1

Гранулометрический состав определяет многие другие свойства почвы, как физические, так и химические. Упаковка частиц создает пористость почв, удельная поверхность зависит от количества илистых частиц, а сама удельная поверхность почв определяет взаимодействие корней растений и почвы, извлечение питательных веществ из почвы, содержание доступной растениям воды и пр. Именно удельная поверхность почв привлекает сейчас внимание исследователей как показатель их гранулометрического состава.

Многие физические параметры определяются именно гранулометрическим составом (таблица 6). В большинстве почв, кроме акрисолей, плотность агрегатов явно увеличивается с уменьшением их размеров. Превышение плотности агрегатов над плотностью почвы в целом связано с пористостью упаковки агрегатов, которая может достигать значительной величины.

Обобщая сказанное, следует подчеркнуть, что гранулометрический состав почв определяет многие другие их свойства. С ним связан валовой состав почв, содержание гумуса, питательных элементов, влагоемкость, пористость. Чем тяжелее

гранулометрический состав, тем больше в почвах (при прочих равных условиях) пористость, содержание гумуса, воды, питательных веществ (таблица 7). Это значит, что более тяжелые почвы потенциально более плодородны. Плодородие почв определяется и их физическими свойствами, которые также определяются текстурой.

Таблица 6 – Изменение физических свойств почв в зависимости от гранулометрического состава.

Почва, регион	Горизонт	Содержание частиц <0,01 мм%	Плотность	Пористость, %	МГ, %	ВЗ, %	НВ, %
Темный каштанозем (Волгоградская обл.)	А	53	1,07	60	8,6	11,0	28
	А	37	1,20	52	5,5	7,5	22
	А	28	1,30	50	3,8	5,2	20
	А	16	1,42	48	2,6	4,1	13
Чернозем выщелоченный (Молдова)	А	39	1,20	54	7,2	10,0	–
	В	39	1,34	53	7,7	17,7	–
	А	53	1,21	56	7,7	17,1	–
	В	54	1,30	50	8,2	12,4	–
	А	64	1,19	5	9,4	14,4	–
	В	64	1,28	52	10,4	14,0	–
Чернозем выщелоченный (Западная Сибирь)	А	18	1,21	56	3,8	5,9	20
	В	19	1,46	44	2,3	3,0	12
	А	23	1,00	60	6,4	7,0	32
	В	25	1,30	50	4,5	4,7	15
	А	41	0,91	65	6,8	8,3	35
	В	34	1,19	55	4,5	6,8	22
	А	48	0,79	69	12,7	18,3	55
	В	60	0,95	65	13,3	19,2	39
	А	64	0,70	72	14,9	21,4	57
В	74	1,17	56	12,4	18,1	29	

Таблица 7 – Содержание питательных элементов в разных гранулометрических фракциях почв лесной зоны (% от массы почвы).

Фракция	Р	К	Са
песок	0,05	1,4	2,5
пыль	0,10	2,0	3,4
ил	0,30	2,5	3,4

В целом очевидно, что гранулометрический состав почв – важнейшее свойство почв, определяющее многие ее другие свойства: снабжение растений водой и питательными элементами, освоение почвы корнями, и целый комплекс физических свойств, например, структуру.

1.1.3. Структура почв

В почве помимо отдельно залегающих элементарных почвенных частиц выделяют агрегаты (педы), которые представляют собой комбинацию элементарных частиц, образующуюся в результате их взаимодействия, скрепления каким-либо цементом, клеем. В качестве склеивающего начала обычно выступают коллоиды, как минеральные, так и органические.

Структура почвы – совокупность агрегатов различной величины, формы и качественного состава. **Структурность** – способность почвы распадаться на агрегаты. В песчаных и супесчаных почвах структурные элементы обычно находятся в раздельно-частичном состоянии, то есть такие почвы – бесструктурны. В суглинистых и глинистых почвах иногда структура также может отсутствовать.

Агрономическое значение структуры очень велико. Она определяет физические свойства почв, условия обработки и сильно влияет на рост и развитие растений. Структура оценивается по ее размеру, пористости, механической прочности, водопрочности. Наиболее агрономически ценными считаются макроагрегаты 0,25–7(10) мм, обладающие высокой пористостью (более 45 %), механической прочностью и водопрочностью. Структурной считается почва, содержащая более 55 % водопрочных агрегатов размером 0,25–10 мм. Часто используют коэффициент структурности – отношение количества мезоагрегатов к сумме макро- (более 7 или 10 мм) и микроагрегатов (до 0,25 мм). Структуру характеризуют два основных показателя – связность и водопрочность. Под связностью структуры понимается ее устойчивость к механическим воздействиям. Водопрочность – способность не разрушаться при увлажнении. Только связная и водопрочная структура способна сохранять благоприятное сложение при многократных обработках и увлажнении. В ином случае структура быстро разрушается при обработке или увлажнении осадками, и почва становится бесструктурной.

Крайне важно, чтобы водопрочные агрегаты были пористые, имели рыхлую упаковку, легко воспринимали воду, допускали легкое проникновение корней и микроорганизмов. Обычно такая структура у легких суглинков и связных супесей. В тяжелых породах упаковка агрегатов слишком прочная, поры тонкие, то есть такая структура не имеет ценности в агрономическом плане.

При наличии агрономически ценной структуры в почве создается благоприятное сочетание капиллярной и некапиллярной пористости. Между агрегатами преобладают некапиллярные, внутри – капиллярные поры. В бесструктурной почве механические элементы лежат плотно, поэтому образуются только капиллярные поры. Структурные почвы благодаря наличию некапиллярных пор хорошо впитывают влагу, которая по мере движения впитывается комками, а промежутки между комками заполняются воздухом. Воздух содержится и в порах аэрации внутри комка. Потери воды от поверхностного стока в такой почве минимальны, а наличие некапиллярных пор предохраняет от испарения влаги с поверхности. В структурных почвах создаются благоприятные условия обеспечения растений влагой и воздухом. Даже при увлажнении до НВ в таких почвах сохраняется хороший воздухообмен и господствуют окислительные процессы. Достаточная аэрация при наличии доступной влаги создает хорошие условия для потребления элементов питания растениями по сравнению с бесструктурной почвой, активнее идут микробиологические и др. процессы, нет процессов денитрификации, накопления несиликатных форм полуторных окислов.

Бесструктурная почва медленно поглощает воду, потери воды велики вследствие стока. Сплошная капиллярная связь вызывает большие потери от

испарения. В такой почве часто бывает крайнее положение увлажнения: избыточное и недостаточное. При избыточном увлажнении все промежутки заняты водой, ощущается недостаток воздуха, развиваются анаэробные процессы, ведущие к потерям азота вследствие денитрификации, образованию токсичных закисных форм железа и марганца, накоплению несиликатных форм полуторных окислов (что способствует закреплению фосфора в труднодоступной форме). При недостаточном увлажнении ощущается недостаток влаги.

Агрономически ценная структура, имея рыхлое сложение, облегчает прорастание семян и распространение корней растений, уменьшает энергетические затраты на механическую обработку почвы. Более плотное сложение и повышенная связность тяжелых бесструктурных почв повышает удельное сопротивление и ухудшает развитие корней растений.

Благоприятное влияние на агрономические свойства почв оказывает и микроструктура при условии ее пористости и водопрочности. Лучшими считаются микроагрегаты 0,25–0,01 мм. Более мелкие микроагрегаты затрудняют водо- и воздухопроницаемость, повышают испарение.

Во влажных зонах особенно важно иметь более крупные макроагрегаты для лучшей водопроницаемости и водоотдачи. В засушливых условиях важно ослабить испаряемость, поэтому здесь благоприятнее мелкие агрегаты.

Главное, что в любых условиях структурная почва всегда имеет более благоприятные условия для жизни растений, чем бесструктурная.

В образовании структуры участвуют 2 процесса: механическое разделение на агрегаты и образование водопрочных отдельностей. Механическое разделение идет при изменении давления вследствие резких колебаний сухих и влажных условий, замерзания и оттаивания, деятельности почвенных животных, рыхлящем воздействии почвообрабатывающих орудий. Водопрочность агрегаты приобретают под влиянием коагуляции и цементации благодаря почвенным коллоидам, органическим и минеральным. Хорошими коагуляторами чаще бывают двух-, трехвалентные катионы: Ca, Mg, Al, Fe. При преобладании натрия и иных одновалентных катионов прочной структуры не образуется. Хорошие структурообразователи – глинистые минералы и гидроокиси Al, Fe, гуминовые кислоты. При временном избыточном увлажнении часто проявляется оструктурирующая роль железа. Водорастворимые закисные формы при подсыхании переходят в нерастворимые окисные, цементируя почвенные агрегаты.

Из растений наиболее сильное оструктурирующее действие оказывает многолетняя травянистая растительность, образующая при разложении большое количество связанного с кальцием гумуса. Широко известна деятельность люмбрицидов, оструктурирующих почву копролитами.

Наиболее прочной структурой обладают в целинном состоянии черноземы, чуть меньшей – камбисоли, лувисоли, каштаноземы. Минимальную водопрочность имеют структуры криосолей, ареносолей.

Структурой называются соединенные между собой механические элементы (агрегаты), на которые может распадаться почва. Форма, размер и

качественный состав структурных элементов неодинаков. Он изменяется в различных почвах, а также в разных горизонтах одной и той же почвы.

В зависимости от *формы* структурных элементов различают три основных типа структуры (рисунок 3 – 5):

1) кубовидная, когда структурные элементы равномерно развиты по трем взаимно перпендикулярным осям. Основными видами данного типа структуры являются глыбистая, комковатая, ореховатая и зернистая.

2) призмовидная, когда структурные элементы развиты преимущественно по вертикальной оси. Основные виды – столбовидная, столбчатая и призматическая.

3) плитовидная, когда структурные элементы развиты преимущественно по двум горизонтальным осям и укорочены в вертикальном направлении. Основные виды – плитчатая и чешуйчатая.

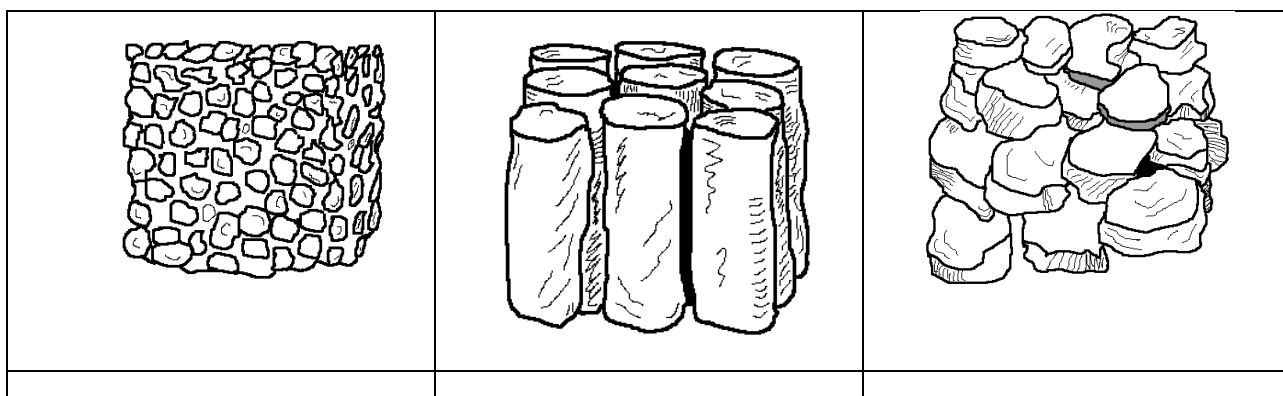


Рисунок 3 – Кубовидная структура.

Рисунок 4 – Призмовидная структура.

Рисунок 5 – Плитовидная структура.

В почвоведении США или стран Западной Европы чаще рассматривают 4 типа структура, к выше упомянутым добавляется еще блочная. Структура почв динамична. Разрушение происходит под влиянием обработки, передвижения по почве, ударов капель дождя, при замене двухвалентных катионов в ППК на одновалентные (гипсование, известкование). Улучшение структурного состояния почв осуществляется агротехническими методами: посев многолетних трав и культур с мощной корневой системой (пшеница, кукуруза, подсолнечник), обработка почв в спелом состоянии, проведение химической мелиорации, внесение органических и минеральных удобрений.

1.1.4. Удельная поверхность

Удельная поверхность почвы – суммарная поверхность всех частиц почвы, отнесенная к единице веса или объема, выражается чаще всего в $\text{м}^2/\text{г}$. Удельная поверхность почвенных частиц является важной физической характеристикой почвы. Процесс диспергации (дробления) минеральной части почвы означает переход ее в более активное состояние, так как увеличивается поверхность твердой фазы в единице веса или объема, а вместе с тем возрастает и поверхностная энергия. С увеличением удельной поверхности связаны явления поглощения минеральных веществ, зольных элементов, паров, газов,

передвижение в почве воды и воздуха, а также другие физические и технологические свойства почвы.

Выделяют внешнюю поверхность, или как ее еще называют кинетическую поверхность дисперсного вещества и внутреннюю поверхность внутри элементарных почвенных частиц, микропор, трещин и т.п. Поверхность почвенных частиц имеет свой сложный микрорельеф, отдельные участки которого энергетически неравноценны. Особой энергетической активностью характеризуются выпуклые элементы частиц. Удельная поверхность частиц разного размера может различаться на 6 порядков: от мм²/г почвы у песка до десятков м²/г у коллоидов.

Обычно удельную поверхность почвы определяют насыщением почвы водяным паром (или этиленгликолем). По Кутилеку, насыщение идет до образования мономолекулярного слоя вокруг каждой почвенной частицы. Этот показатель вычисляется по формуле:

$$S=3610 (V_2-V_1) / (V_1-V_0),$$

где V_2 , V_1 , V_0 – вес после насыщения, до насыщения и тары соответственно.

Различия в специфической поверхности почв, удельной поверхности почвенных частиц определяет гранулометрический состав. Особенно четко это можно проследить для почв одного типа, но разного гранулометрического состава (таблица 8).

Таблица 8 – Удельная поверхность дерново-подзолистых почв в зависимости от гранулометрического состава, м²/г (по А.В. Шевченко).

Гранулометрический состав	Оподзоленные горизонты	Неоподзоленные горизонты
песчаный	<19	<23
супесчаный	19–36	23–40
легкосуглинистый	36–54	40–68
среднесуглинистый	54–71	69–91
тяжелосуглинистый	71–89	91–114
глинистый	>89	>114

Для разных типов почв зависимость от гранулометрического состава перекрывает влияние гумуса на удельную поверхность (таблица 9). Поскольку разные почвы в илистой фракции, наиболее коррелирующей с удельной поверхностью, могут содержать разные минералы (каолинит, монтмориллонит), то при высоком содержании ила отмечаются вариации зависимости удельной поверхности от состава фракции. В акрисолях, где ил обогащен каолинитом и гидроксидами железа, меньшее возрастание удельной поверхности с ростом содержания ила, возможно, определяется именно его минеральным составом.

Таблица 9 – Содержание ила (частиц < 1мкм) и удельная поверхность (S) некоторых почв (по О.А. Трубецкому).

Почва	Горизонт	<1 мкм, % от почвы	S, м ² /г
дерново-подзолистая глеевая	Ап	13	72
	А2	6	47
	В	24	120
	С	16	95
чернозем типичный	А	26	117
	АВ	31	140
	В1	29	132
	В2	29	131
чернозем слитой	А	45	162
	А1	46	169
	АВ	44	167
	В	43	160
	ВС	39	151
черноземно-луговой солонец	А	25	140
	В1	34	172
	В2	42	192
	В2	40	179
	С	32	156
хромик камбисоль	А	33	112
	В1	47	128
	В2	40	121
	С	31	110
акрисоль	А	23	103
	В1	34	120
	В2	40	134
	С	36	122

Различия в удельной поверхности почв обычно связаны с разным содержанием гумуса, гранулометрическим и минеральным составом почв. Добавление в почву других соединений может изменить ее удельную поверхность. Так, внесение 10 % свежесажженного оксида железа в целом увеличило удельную поверхность монтмориллонита и каолинита (соответственно на 18 и 13 м²/г). Сам оксид железа имеет большую удельную поверхность, которая заметно уменьшается при его старении, втрое через 2 года (по данным П.М. Сапожникова).

Эти данные показывают, что процессы почвообразования, связанные с накоплением или выносом соединений железа, будут изменять удельную поверхность почв. Изучение удельной поверхности показало, что даже в пределах одной почвы мелкозем существенно неоднороден по удельной поверхности, а, следовательно, и по гранулометрическому составу.

Итак, удельная поверхность почвы – одно из важнейших ее свойств. Оно характеризует экологические возможности почв, их способность удерживать воду, снабжать растения питательными элементами. Обычно в работах по гранулометрическому составу используют удельную поверхность, определенную по сорбированной почвой воде.

1.1.5. Плотность почв

Плотность почвы (объемная масса) – масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении. Она зависит от минералогического и гранулометрического состава, структуры, содержания органического вещества. Обработка почвы уменьшает плотность, проход техники – увеличивает. Плотность почвы сильно влияет на поглощение влаги, газообмен в почве, развитие корней, микробиологические процессы.

Влажность почвы влияет на плотность не только почвы с естественной влажностью, но и на величину плотности в пересчете на абсолютно сухую массу. Для почв, набухающих при увлажнении, в основном суглинистого и глинистого гранулометрического состава, плотность почв в пересчете на абсолютно сухую массу уменьшается с увеличением влажности. Это явление (уменьшение плотности почв с влажностью) имеет важное экологическое и методическое значение.

Так, методика определения плотности почв сводится к определению массы почвы в известном объеме (буре). Во влажной почве бур извлекает сравнительно однородно набухшую массу, и плотность почв характеризует именно среднюю величину массы почвы в данном слое. В сухое время, когда почва иссушена, почва обычно извлекается из блоков между трещинами, поэтому плотность почв характеризует плотность этих блоков и не учитывает объем трещин. Эта плотность отражает истинное состояние почвы, ее экологические возможности как среды обитания животных и растений. Но эта плотность не пригодна для расчета запасов влаги и питательных веществ в почве, так как дает преувеличенное их значение. Для таких расчетов необходимо использовать плотность влажной почвы, преимущественно в весенний-раннелетний период.

Известно, что плотность почвы свыше 1,4 является предельной для нормального развития большинства растений. Это связано с тем, что корни растений с трудом проникают в такую плотную почву. А.Г. Бондарев установил экологически благоприятные для растений амплитуды плотности почв разного гранулометрического состава: для глинистых и суглинистых почв – 1,0–1,30, легкосуглинистых – 1,10–1,40, супесчаных – 1,20–1,45, песчаных – 1,25–1,60. Как следует из анализа гранулометрического состава почв, пески исходно обладают высокой плотностью. Именно поэтому пески как субстрат для поселения пригодны далеко не для всех растений. Их осваивают в основном псаммофиты – растения, выдерживающие засыпания, выдувания, умеющие осваивать песчаную толщу, несмотря на ее высокую плотность, следовательно, небольшую пористость (хотя в среднем поры в песке крупнее пор в суглинках и глинах).

Оптимальная плотность пахотного горизонта – 1,0–1,2 г/см³, при 1,2–1,3 г/см³ почва уплотнена, при 1,3–1,4 – сильно уплотнена, 1,4–1,6 г/см³ – типичные величины для подпахотных горизонтов, 1,6–1,8 – для иллювиальных горизонтов.

Объемная плотность почвы находится в обратно пропорциональной зависимости от пористости. Почвы без структуры, очень легкие или массивные почвы, будут иметь плотность около 1,6–1,7 г/см³. Формирование структуры увеличивает поровое пространство, что приводит к уменьшению объемной плотности. Обычно с увеличением содержания глины наблюдается тенденция к увеличению развития структуры и уменьшению плотности. Когда ил

аккумулируется в В горизонте, он заполняет существующее поровое пространство, что ведет к увеличению плотности.

Органические почвы имеют очень низкую плотность по сравнению с минеральными почвами, которая сильно варьирует в зависимости от природы органического вещества и влажности на момент отбора проб для определения насыпной плотности. Плотность для органической почвы, как правило, находится в диапазоне от 0,1 до 0,6 г/см³.

Значения плотности почвы важны для расчетов ряда параметров в виде запасов. Для пересчета с единицы веса на единицу площади используют обычно стандартные значения 2 млн. фунтов/акр в США и 3 тыс. т/га в Беларуси. Это значение получается из расчета:

$$1,2 \text{ г/см}^3 * 25 \text{ см} * 1 \text{ га} = 1,2 \text{ т/м}^3 * 0,25 \text{ м} * 10^4 \text{ м}^2 = 3000 \text{ т.}$$

Здесь 1,2 г/см³ – примерная плотность пахотного слоя, 25 см средняя мощность пахотного слоя.

Вес пахотного слоя учитывают, например, при расчете дозы извести, необходимой для нейтрализации повышенной кислотности. Так, при величине гидролитической кислотности 4 смоль/кг содержание протонов на 1 га в пахотном слое составит 40 моль/т * 3000 т = 120 000 моль/га, или 120 кмоль/га. Так как 1 моль Н⁺ нейтрализуется 50 г СаСО₃, то общая доза извести составит 6 т/га.

Плотность почвы определяется твердой фазой почвы и упаковкой составляющих ее частиц и агрегатов.

Плотность твердой фазы (удельная масса) почвы – отношение массы твердой фазы к массе воды в том же объеме при 4° С. Плотность самой твердой фазы почвы зависит от минерального состава и содержания гумуса. Плотность определяется обычно пикнометрически, при заполнении водой всех пор почвы. Почвы образуются из рыхлых осадочных пород, прошедших цикл выветривания, а эти породы содержат в основном такие минералы легкой фракции, как кварц, полевые шпаты, слюды с относительно небольшой плотностью (2,5–3,0 г/см³). В реальных почвах плотность колеблется в пределах 2,50–2,90 (в среднем 2,65), в органогенных горизонтах – в диапазоне от 1,4 до 1,8 г/см³. Для органических веществ плотность твердой фазы изменяется от 0,2 до 1,4 г/см³.

На практике нередко встречаются значения плотности твердой фазы ниже 2,40 и даже около 2,20. Такие низкие значения пытаются объяснить высокой гумусированностью почв. Но исследования показывают, что, скорее всего, низкие значения плотности твердой фазы определяются гидрофобностью почв, плохой их смачиваемостью водой.

Предварительное замачивание почвы в воде в течение трех суток снимает эффект гидрофобности и позволяет получить результаты, соответствующие истинной плотности твердой фазы (вместо 2,24, после замачивания в воде плотность почвы – 2,64). Отмеченное явление позволяет более критически оценить другой артефакт, часто встречающийся в почвенной литературе. Существует мнение, что плотность сорбированной на почвенной матрице воды резко возрастает по сравнению со свободной водой. Приводили значения плотности почвенной сорбированной воды 1,5 (Н.А. Качинский, М.В. Чапек, Ф. Респондек). Однако

совместное изменение при уменьшении влажности почвы объема системы почва-вода заставляет отвергнуть эту гипотезу. Белорусский ученый П. Олодовский показал, что плотность воды на почвенной матрице не превышает 1,19. Но и это величина может быть артефактом.

1.1.6. Порозность почв

К почвенной **пористости** относят ту часть объема почвы, которая занята водой и воздухом. Она определяется по разности плотности твердой фазы почвы и почвы в естественном состоянии

$$P = (d_{tf} - d_s) / d_{tf},$$

где d_{tf} – плотность твердой фазы почвы, d_s – плотность естественной почвы.

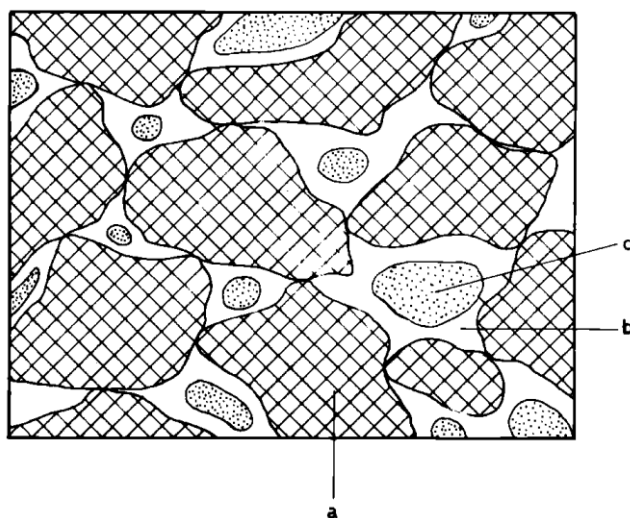


Рисунок 6 – Между почвенными частицами (а) образуются почвенные поры, занятые либо водой (b), либо воздухом (с).

Пористость (порозность) – одно из основных свойств почв. Именно в порах происходят все почвенные процессы. В них распределяются корни растений, живут микроорганизмы, мелкие животные. Соотношение воды и воздуха в порах почвы определяют окислительно-восстановительный режим. Поры определяют передвижение воды в почве, вынос соединений из почвенного слоя, капиллярный подъем воды.

Чтобы представить себе поровое пространство, сложим одинаковые шары в коробку определенного размера. При максимально компактной упаковке пустое пространство будет занимать 26 % объема, при хаотичном расположении шаров пористость может увеличиться до 48 %. Форма конкретных частиц далека от формы шара, особенно крупных, песчаных. В зависимости от гранулометрического состава и агрегированности почв объем общей порозности закономерно изменяется: возрастает от песков к глинам, но уменьшается снова в слитых почвах (таблица 10). Низкая порозность песчаных почв обусловлена слабой их структурированностью. Высокую пористость обычно имеют гумусовые горизонты, хорошо оструктуренные, в которых пористость может достигнуть 60 %. Текстурно-иллювиальные горизонты Вt имеют в большинстве случаев повышенную плотность из-за заполнения части порового пространства лессивированным илом.

Таблица 10 – Плотность и пористость почв (по данным А.Д. Воронина).

Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см ³		Пористость, % от объема почвы			
		твердых фаз	почвы	общая	агрегатная	межагрегатная	агрегатная с/в
Ретисоль							
А пах.	10–20	2,66	1,32	50,4	37,5	12,3	41,2
A2	27–31	2,67	1,45	45,6	36,0	9,6	36,1
A2B1	35–45	2,69	1,57	41,6	31,7	9,9	35,2
B1	45–55	2,70	1,44	46,7	22,8	23,9	30,0
B2	55–65	2,70	1,70	37,0	26,7	10,3	29,8
Чернозем мощный типичный							
АдА1	5–15	2,62	1,11	57,8	19,1	38,7	30,3
A1	15–25	2,61	1,16	55,5	20,8	34,7	31,0
B1	60–70	2,63	1,21	54,0	27,0	27,0	37,1
B2	90–100	2,68	1,25	53,4	38,2	15,2	44,7
Темный каштанозем							
A	2–25	2,65	1,28	52,0	34,0	18,8	–
B1	26–35	2,68	1,44	46,0	31,0	15,0	–
B2	90–100	2,71	1,65	39,0	30,0	9,0	–
C	56–75	2,71	1,75	35,0	29,0	6,0	–
Акрисоль (краснозем)							
A пах	10–20	2,58	0,67	74,0	46,3	27,7	60,2
B1	25–35	2,76	0,85	69,2	43,5	25,7	58,3
B2	40–50	2,81	1,00	64,4	25,9	38,5	42,1
BC	80–90	2,82	0,92	67,4	29,9	37,5	47,9

Примечание. Прочерк – нет данных.

Увеличение порозности в более тяжелых почвах обусловлено степенью их агрегированности: чем она выше, тем выше порозность. В слитых почвах нет даже микроагрегированности, и порозность мала. В целом от глин к суглинкам уменьшается общая порозность почв; агрегированность, в том числе и количество микроагрегатов, при этом порозность агрегатов меньше общей порозности, так как последняя включает 10–40% межагрегатной порозности.

Для понимания почвенных процессов, таких как движение воды в почве, проникновение в почву корней необходимо знать размеры почвенных пор и их конфигурацию. Корневые волоски могут проникать лишь в поры с диаметром крупнее 0,01 мм, мелкие корешки – в поры крупнее 0,1 мм, простейшие и водоросли живут в порах с диаметром крупнее 0,02 мм, бактерии – 0,001 мм.

По причине различий в размерах пор легкие песчаные почвы хорошо пропускают воду по сравнению с суглинистыми, хотя имеют меньшую порозность. В песках доминируют крупные некапиллярные поры, обеспечивающие хороший дренаж.

Именно поровое пространство обеспечивает аэрацию почв, бесперебойную поставку кислорода для дыхания корней и микроорганизмов. Если поровое пространство состоит из мелких микропор, занятых водой, это может служить препятствием для нормального воздухообмена (диффузия кислорода через воду в 10000 раз медленнее, чем в воздухе) и растения могут страдать от недостатка кислорода в почвенном воздухе.

Определение размеров пор можно производить или в шлифах, или по количеству воды, удерживаемой почвой при разном потенциале почвенной воды. Чем меньше диаметр капилляра, тем прочнее удерживается вода в почве, тем

большую силу следует приложить, чтобы извлечь эту воду из почвы. Оценка порозности почвы по удерживаемой воде опирается на формулу Жюрена. Существует несколько классификаций пор по размеру. И. Либерот использует следующую:

1. Крупные поры, диаметр больше 10 мкм. Разделяют на поры быстрого дренажа (>50 мкм и замедленного дренажа – 10–50 мкм)
2. Средние поры, диаметр 0,2–10 мкм. Вода прочно удерживается в этих порах, но корни еще проникают в них.
3. Мелкие поры, диаметр <0,2 мкм. Вода прочно удерживается в порах. Корни, в том числе корневые волоски, не проникают в поры.

В грунтоведении (инженерной геологии) применяется несколько другая классификация пор пород (таблица 11).

Таблица 11– Типы пор дисперсных грунтов.

Название и размер пор, мкм	Связь пор со структурой субстрата	Движение воды в порах	В каких породах преобладают
Макропоры >1000	поры образованы обломками горных пород, остатками растений, ходами землероев, трещинами усадки	свободный сток гравитационной воды, капиллярный подъем отсутствует (кроме слитых почв)	крупнообломочные, биогенные, слитые
Мезопоры 1000–10	поры образованы мезо- и микроструктурными элементами, песчаными и пылеватыми зернами, остатками растений, микроорганизмов	движение гравитационной воды идет при напоре, капиллярный подъем идет быстро на небольшую величину	песчаные, лессовые, биогенные
Микропоры 10–0,1	поры образованы микроагрегатами и микроблоками, отдельными минеральными частицами, остатками растений и животных	капиллярный подъем идет медленно на большую высоту, движение гравитационной воды отсутствует	органо-химические и слабосцементированные, глинистые, биогенные
Ультракапиллярные поры <0,1	поры микро- и ультрамикроагрегатов, микро- и ультрамикроблоков	гравитационное и капиллярное передвижение воды практически отсутствует, поры заполнены связанной водой	глинистые

Она учитывает кроме размера пор их связь с субстратом, влияние растений и животных и движение воды в порах. Голландские ученые (Koorevaar P. и др.) выделяют макропоры, более 100 мкм, мезопоры – 30–100 мкм, и микропоры – до 100 мкм.

Классификация включает более широкий диапазон размеров пор, от 0,1 мкм до >1000 мкм, хотя количество классов в обеих классификациях одинаково. Недостатки обеих классификаций в том, что они оценивают поры как округлые

образования с определенным диаметром. На самом деле поры также резко различаются по форме (как и по размеру). Их протяженность, извилистость, "тупиковость" играет важную роль в движении воды, корней растений, животных.

Оценка пор почвы будет неполной, если не будет учтена форма пор. Учитывая, что форма пор оценивается в шлифах, Е.Б. Скворцова разработала критерий F (критерий формы) для оценки формы пор. Он характеризуется формулой:

$$F = (4S/P^2 + D/L)/2,$$

где F – обобщенный фактор формы, S – площадь, P – периметр, D – ширина, L – длина пор в шлифе.

На основании фактора формы (F) можно охарактеризовать микропоры почвы (таблица 12).

Таблица 12 – Группировка почвенных пор в шлифах по величине фактора формы F.

Значение фактора F	Форма среза пор	Описание пор
<0,2	трещиновидная	трансагрегатные трещины, трещиновидные поры упаковки угловато-блоковых и пластинчатых структурных отдельностей
0,2–0,4	вытянутая изрезанная	поры упаковки комковато-зернистых агрегатов и состоящих из них блоков, другие вытянутые изрезанные поры в агрегированной и неагрегированной почве
0,4–0,6	изометричная изрезанная	поры упаковки округло-комковатых агрегатов, поры-ваги в слабоагрегированной почве
0,6–0,8	изометричная слабоизрезанная	каналы в субпоперечном срезе, слабоизрезанные поры, защемленные в неагрегированной почве
0,8–1,0	округлая и близкая к ней	каналы в поперечном срезе, камеры, пузырьки

Приведенная система оценок позволяет понять структуру порового пространства почвы, прогнозировать движение воды в ней. Так, ясно, что в зависимости от ориентации пор, по трещинам может ускоряться фильтрация воды в почве (вертикальные трещины) или вода не сможет участвовать в фильтрации (при горизонтальной ориентации пор, что характерно, например, для горизонта A2(E) подзолистых и дерново-подзолистых почв).

Особо следует остановиться на изменении порозности почв при набухании и усадке. Этот процесс развит в суглинистых и глинистых почвах и зависит кроме содержания ила также от агрегированности почвы. Если почва хорошо агрегирована, то набухание уменьшает пористость межагрегатную и почти не изменяет общий объем почвы. В случае, если почва не агрегирована, то отмечается заметное увеличение общего объема почвы. Аналогичные процессы идут при усадке почвы. А.Д. Воронин показал, что на первом этапе идет структурная усадка, когда объем потерянной воды больше, чем уменьшение объема почвы (отношение потери объема почвы к потере воды <0,9). Такое несоответствие обязано тому, что часть воды теряется из крупных пор и не влияет на усадку почвы.

На втором этапе идет нормальная усадка: объем потерянной воды равен снижению объема почвы. Отношение потери объема почвы к объему потерянной воды = 1 – 0,9. На следующем этапе проявляется остаточная усадка. В этом случае потеря воды опять преобладает над уменьшением объема, и отношение потери объема почвы к потере объема воды снова < 0,9. Такое отклонение определяется тем, что почвенные частицы начинают соприкасаться непосредственно друг с другом, что препятствует дальнейшему сокращению объема почвы.

На последнем этапе наступает предельная усадка (таблица 13). Вода удаляется как из межпакетного пространства набухающих минералов, так и из пространства, образованного доменами и кристаллами.

Таблица 13 – Влажность разных этапов усадки, % от массы сухой почвы (по данным А.Д. Воронина).

Горизонт	Влажность предельной усадки	Влажность структурной усадки
Глейик флювисоль		
А пах	4,4	21,0
А2Вg	4,0	15,0
В	7,5	25,0
Ретисоль		
А пах	2,9	22,0
А2	1,6	14,9
В1	7,0	21,5
В2	6,1	22,0
ВС	6,9	24,0

Гранулометрический состав и степень агрегированности определяют общую пористость почв, следовательно, плотность сложения, удельную поверхность, площадь взаимодействия корней растений и почвы, другие свойства почв. Сводная характеристика ряда свойств отдельных почв показана в таблице 1.14.

Таблица 14 – Гранулометрический состав и физические свойства слоя 0–50 см ряда суглинистых зональных почв.

Почва	Ил, %	Пыль, %	Песок, %	УП, м ² /г	ds	dtf	P, %
кальцисоль	14	62	24	43	1,32	2,68	51
каштанозем	23	60	16	101	1,25	2,61	52
ретисоль	24	67	10	53	1,35	2,64	49
солонец	25	60	15	93	1,28	2,63	49
каштанозем	30	58	11	112	1,25	2,62	56
чернозем	37	56	6	117	1,00	2,58	52

Примечание, ds – плотность почвы, dtf – плотность твердой фазы, P – пористость, УП – удельная поверхность.

Порозность почв и размеры отдельных пор, группировка их по размерам и форме, определяют соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз почв. Но это соотношение также зависит от водных свойств почвы. Физические свойства почвы во многом определяют жизнь живых организмов. Так, уплотненные глинистые почвы (старые дороги, плотность почв 2,0) в течение 30 лет после прекращения пользования ими еще не зарастают растениями. Гранулометрический состав определяет во многом растительный покров территории, влияя на водные свойства и водный режим почв.

1.1.7. Физико-механические свойства

К **физико-механическим** свойствам почв относятся пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость и сопротивление при обработке. Эта группа свойств имеет большое значение для оценки технологических свойств почв.

Пластичность – способность почв изменять свою форму под влиянием какой-либо внешней силы без нарушения сплошности и сохранять приданную форму после устранения этой силы. Пластичность обусловлена илистой фракцией почв и зависит от влажности. Различают верхний (весовая влажность, при которой стандартный конус под действием собственной массы погружается в почву на глубину 10 см) и нижний (весовая влажность, при которой образец почвы можно раскатать в шнур диаметром 3 мм без образования в нем разрывов) пределы текучести. Число пластичности – разность между показателями верхнего и нижнего пределов. Глины имеют число пластичности более 17, суглинки 7–17, супеси 1–7, пески не обладают пластичностью. Пластичность возрастает при увеличении доли натрия в почве и уменьшении доли кальция, магния, содержания гумуса.

Липкость (прилипание) – свойство влажной почвы прилипать к другим телам. Липкость отрицательно влияет на технологические свойства почв, увеличивая тяговое сопротивление. Чем тяжелее гранулометрический состав, тем больше липкость. Предельно вязкие почвы имеют липкость более 15 г/см², сильновязкие – 5–15, средневязкие 2–5, слабовязкие – менее 2 г/см².

С липкостью связано важное агрономическое свойство почвы – физическая спелость, то есть состояние, при котором почва хорошо крошится на комки, не прилипая к орудиям обработки. Раньше спеют легкие почвы, более гумусированные.

Набухание – увеличение объема почвы при увлажнении. Оно обусловлено сорбцией влаги почвенными частицами и гидратацией обменных катионов. Наибольшей набухаемостью обладают минералы монтмориллонитовой группы и вермикулит, малой – каолиновые. Набухаемость увеличивает насыщение почвы натрием или увеличение содержания органического вещества. Набухаемость выражается в процентах от исходного объема почвы и является отрицательным качеством, способствуя разрушению почвенных агрегатов.

Усадка – сокращение объема почвы при высыхании, то есть обратное высыханию. Сильная усадка приводит к образованию трещин, разрыву корней растений, повышению потерь влаги от испарения. Усадка подобно набуханию обычно достигает существенных значений в тяжелых почвах, особенно с высоким содержанием монтмориллонита.

Связность почвы – способность сопротивляться внешнему усилию, стремящемуся разъединить частицы почвы, выражают в кг/см². Вызывается силами сцепления между частицами почвы, зависит от минералогического и гранулометрического состава, структурности, гумусированности, влажности почвы. Наибольшей связностью обладают глинистые почвы; при влажности, близкой к ВЗ; при насыщении ионами натрия, что способствует

диспергированию почвы и увеличению удельной поверхности; при ухудшении структурного состояния.

Удельное сопротивление – усилие, затрачиваемое на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность ($\text{кг}/\text{см}^2$). Этот показатель колеблется в пределах 0,2–1,2 $\text{кг}/\text{см}^2$. Зависит от гранулометрического состава, вида земель, влажности.

В земледельческой практике обычно регулируют физико-механические свойства при выборе сроков и приемов обработки. Эти свойства улучшают внесением органических удобрений, посевом многолетних трав, минимализацией обработок, химической мелиорацией, использованием машин-орудий с низкими уплотняющими параметрами.

1.1.8. Цвет почв

Окраска почвы – это морфологический признак, легко определяемый и очевидный, который является существенным показателем генезиса почвы, характера протекающих в ней почвообразовательных процессов и ее принадлежности к тому или иному типу. Цвет почвы дает информацию о дренированности почв, аэрации, содержании органического вещества, железа и других свойствах. Многие почвы имеют название в соответствии со своей окраской: подзол, чернозем, каштанозем.

Окраску почв создают три группы соединений: 1) гумус, 2) соединения железа, 3) кремнекислота или углекислая известь. В основе лежит цвет почвообразующей породы. При этом все разнообразие окраски почвы можно свести к комбинациям и сочетаниям основных цветов: черного, красного, синего и белого.

Гумусовые вещества обуславливают черную, темно-серую и серую окраску. Иногда черная окраска может быть обусловлена другими причинами: цветом почвообразующей породы, скоплением окислов и гидратов окислов марганца, содержанием сернистого железа. Люди часто отождествляют плодородные почвы с черным цветом верхнего горизонта. Серый и сизый цвет чаще всего указывает на переувлажненность почв, плохую аэрацию.

Красный цвет почвы обуславливается содержанием в ней соединений водного оксида железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). При значительном содержании оксида железа почва имеет красную, ржавую или красно-бурю окраску, при небольшом – желтую или оранжевую. Ярко-красный цвет многих тропических почв обусловлен гематитом (Fe_2O_3), гидратированное железо (гетит – FeOOH) имеет желтый или желтовато-коричневый цвет.

Соединения закисного железа ($\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) окрашивают почву или ее отдельные горизонты в голубоватые или сизые тона. Они образуются в почвах с избыточным увлажнением и недостаточной аэрацией.

Белая окраска обусловлена значительным содержанием кремнезема (SiO_2), углекислой извести (CaCO_3), каолинита ($\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$) или гидратом глинозема ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). В ряде случаев белесоватый оттенок могут придавать гипс и легкорастворимые соли.

Бесструктурные почвы выглядят светлее, чем комковатые или зернистые. Влажные кажутся более темными, чем сухие. Восприятие цвета носит субъективный характер, более точно цвет в мировом почвоведении

характеризуют формулой с помощью атласа цветов Манселла, отражающей тон (hue), насыщенность (chroma), светлота (value). В обозначении 10YR 6/4, 10YR является тоном (оттенком), 6 представляет собой светлоту и 4 – цветность (насыщенность цвета). Этот цвет – светло-желтовато-коричневый. Система цветом Манселла позволяет человеку унифицировать подходы к оценке цвета любой почвы в мире.

1.1.9. Тепловой режим почвы

Почва получает тепло с прямой и рассеянной радиацией. Известно, что от Солнца поступает $1,94 \text{ кал/мин} \cdot \text{см}^2$ (солнечная постоянная), но в зависимости от угла падения солнечных лучей реальное количество тепла существенно отличается. Баланс тепла зависит от таких параметров, как интенсивность солнечной радиации, альбедо, теплоемкость и теплопроводность почв, а в вулканически-активных регионах дополнительное тепло поступает из магмы, а также с теплыми ключами.

Главная особенность теплового режима всех почв – движение тепловой волны от поверхности в нижние почвенные горизонты. Эти движения идут с определенным запаздыванием, связанным с теплопроводностью почв.

В пределах биоценоза поступление энергии от солнца неравномерно, зависит от растительного покрова, его полноты, количества ярусов и т.д. Так, сведение леса на многолетней мерзлоте увеличивает поступление тепла с солнечной радиацией и приводит к частичной деградации мерзлоты (она опускается на 20–40 см и более).

В высокополотных ельниках на одних и тех же широтах тепла в почву поступает заметно меньше, чем в березняках или на лугах. Поэтому, кроме общего баланса тепла, для зонального ландшафта важно знать локальные характеристики радиационного баланса, как и локальные коэффициенты увлажнения. Температура почвы – наиболее ярко выраженное ее циклическое свойство. Она постоянно восстанавливается, замыкает цикл, в зависимости от времени года. Тепловой режим оценивается рядом параметров. В первую очередь – тепловыми свойствами почвы: теплоемкостью, тепло- и температуропроводностью. Температура почвы – наиболее ясный показатель, широко используемый в практике. При оценке теплового режима почвы используют сумму среднесуточных температур воздуха, больше 5° и 10°C . Также оценивают ранние и поздние заморозки, что может оказать решающее влияние на урожай сельскохозяйственных растений и обитание некоторых видов растений. Ранние заморозки, например, могут не дать некоторым видам образовать семена, и вид уступит свою экологическую нишу другим видам растений. Так, каштаны могут расти в средней полосе достаточно долго, но при морозах ниже -30° они вымерзают. Поэтому эту экстремальную температуру можно считать одним из экологических пределов распространения каштана естественным путем.

Тепловым режимом почвы называется совокупность явлений теплообмена в системе приземный слой воздуха – почва – почвообразующая порода. Тепловой режим определяет в первую очередь солнечная радиация, точнее соотношение поглощенной радиации и теплового излучения Земли. Сравнительно небольшую роль играют экзо- и эндотермические реакции в почве, а также внутренняя

энергия нашей планеты. Интенсивность альбедо зависит от окраски почвы, характера ее поверхности, теплоемкости. Темные почвы, богатые органическим веществом и глинистыми минералами, энергично поглощают солнечное излучение. Светлые, особенно песчаные малогумусные почвы имеют альбедо 40–45 %, или почти вдвое меньше.

Под теплоемкостью понимают количество теплоты (кал), необходимое для нагревания на 1°C 1 г почвы (массовая теплоемкость) или 1 см^3 почвы (объемная теплоемкость). Теплоемкость жидкой фазы – около 1, твердой – 0,1–0,5, газовой фазы – 0,0003. Из этих величин следует, что теплоемкость почвы увеличивается с увеличением влажности почвы, то есть для нагревания влажной почвы требуется больше тепла, чем для нагревания сухой.

Излучение теплоты также зависит от состава и влажности почвы, строения поверхности. Поступающее количество энергии (радиационный баланс) тратится на испарение, нагревание почвы, отдачу тепла в атмосферу. В среднем за год тепловой баланс почвы равен нулю.

Теплопроводность – способность почвы проводить теплоту, она определяет глубину прогревания и охлаждения почв. Этот показатель у воды в 20 с лишним раз выше, чем у воздуха, поэтому влажные почвы прогреваются на большую глубину, хотя и медленнее, чем сухие. Биологически активное прогревание соответствует температуре выше 10°C . Колебания суточных температур распространяются обычно до глубины 1 м. Сезонные колебания захватывают значительно большую толщину почвы.

Тепловой режим характеризуется **радиационным и тепловым балансами**. Радиационный баланс:

$$T_b = Q_p + Q_g - Q_{отр} - Q_{изл},$$

где Q_p – приход коротковолновой солнечной энергии, прямой и рассеянной,

Q_g – приход длинноволнового излучения из атмосферы,

$Q_{отр}$ – отраженная поверхностью коротковолновая радиация,

$Q_{изл}$ – длинноволновое излучение подстилающей атмосферы поверхности.

Формулу используют для оценки радиационного баланса за любой период (час, сутки, месяц, год, многолетний период). На верхней границе экосистемы альбедо равно отношению падающей на поверхность солнечной энергии и отраженной этой поверхностью энергии. Альбедо – характерная величина для экосистем, может различаться до 4 раз, от в среднем 0,18 в тундре, лиственных лесах, степях до 0,25–0,30 в (полу)пустынях и 0,70–0,80 при устойчивом снежном покрове.

Тепловой баланс почвы определяется по формуле:

$$T_b + T_t + T_p + T_k = 0,$$

где T_b – радиационный баланс,

T_t – затраты тепла на транспирацию и физическое испарение воды,

T_p – расход тепла на теплообмен с глубокими слоями,

T_k – количество тепла, идущего на нагрев воздуха.

Для понимания сути влияния тепла на почвообразование и экосистемы важно знать в первую очередь радиационный баланс, глубину проникновения тепловой

волны в почву, сумму температур более 10° С на глубине 20 см (зона максимума корней). Температура служит «сигналом» для прорастания семян, и для разных видов растений эта температура различается. Так, по данным Л.М. Томпсона и Ф.Р. Трой, овес, люцерна и костер начинают прорастать при средней дневной температуре в слое 0–5 см почвы 10°С, кукуруза – при 15°, хлопчатник – более 20°. Активность микрофлоры в почве достигает максимума при 35°С.

Опыты, проведенные с подогревом слоя почвы 0–100 см, в среднем повысили урожай кукурузы на 28 %, суданской травы на 54 %, овсяницы на 19 %, перца на 41 %. Важность температуры в оценке теплового режима почв подтверждается всей практикой тех сельских хозяйств, где строго учитывают температуру почвы, заморозки и т. д. Поглощение растениями азота резко растет при температуре выше 5° С, фосфора – выше 15° С.

Известно, что продуктивность зональных экосистем выше в южных регионах (при условии достаточного снабжения водой). Повышение продуктивности в первую очередь определяется повышением средней температуры воздуха и почвы. Особенно ярко эта закономерность проявляется при сравнении сосны, растущей на легких (песчаных и супесчаных) почвах от лесотундры до полупустыни. С ростом температуры ее бонитет и запасы древесины растут, и только в сухой степи и полупустыне, где мало воды, бонитет и продуктивность сосны падают. Сумма активных температур, по теории Д.С. Орлова, влияет на биологическую активность, на глубину гумификации в почве органического вещества (таблица 1.15).

В первом приближении глубину гумификации для почв тундровых – серых лесных можно аппроксимировать уравнением:

$$H(C_{гк}/C_{фк})=0,0008 * T_1,$$

где T_1 – продолжительность периода с суммой температур более 10°С, в днях.

Из этой формулы следует один важный вывод: климатические флуктуации могут заметно повлиять на состав гумуса, на глубину гумификации.

Таблица 15 – Содержание гумуса, (%), и глубина гумификации (Сгк/Сфк) в горизонте А1 в зависимости от продолжительности периодов (дни) с дневной температурой >10°С (Т1) и с продуктивной влажностью, W, (Т2) – 1–2%.

Почвы	С, %	Сгк/Сфк	Т1	Т2	Т1–Т2
тундровые	1,7	0,48	50	нет	50
глее-подзолистые	1,9	0,54	70	нет	70
подзолистые	0,4	0,70	92	нет	92
дерново-подзолистые	1,7	0,75	ПО	нет	ПО
серые лесные	3,1	1,10	130	нет	130
черноземы выщелоченные	4,2	2,29	144	нет	144
черноземы типичные	4,9	2,40	154	нет	154
черноземы обыкновенные	4,2	2,90	170	нет	170
черноземы южные	2,7	2,20	175	5	170
каштановые	1,5	1,63	190	50	140
бурые полупустынные	0,7	0,59	215	125	90
серо-бурые	0,3	0,44	210	137	73
сероземы северные	0,4	0,53	210	137	73

Промерзание почвы зависит от ряда причин: географического положения, климатических особенностей, температуры замерзания почвенного раствора, мощности снежного покрова и времени его выпадения, наличия древесной растительности. Растительность задерживает солнечную радиацию, поэтому летом температура почвы может быть ниже, чем воздуха. Пониженную теплопроводность имеет лесная подстилка. Но зимой температуры почвы под лесом выше, чем на соседнем поле.

Тепловой режим в значительной степени объясняет интенсивность механических, геохимических и биологических процессов в почве. С повышением температуры на 10°C скорость химической реакции возрастает в 2–3 раза (правило Ван Гоффа). В разных районах Земли в этой связи скорости химических реакций могут отличаться в десятки раз. От температуры зависит сорбция и десорбция, растворимость газов, соотношение твердой и жидкой фаз в почве, пептизация и коагуляция коллоидов.

Многие минералы отличаются значительными коэффициентами объемного расширения, например, у полевых шпатов он вдвое меньше, чем у кварца. При периодическом нагревании и охлаждении в породах образуются трещины, а капиллярное давление в тонких трещинах и замерзающая вода в более крупных способствуют механическому разрушению минералов и пород. Нагревание увеличивает биохимическую деятельность бактерий, по крайней мере, до температуры 40°C .

Повышение температуры почвы, и, соответственно, почвенного раствора, приводит к тому, что в почвенном растворе увеличивается концентрация растворимых солей, таких как NaCl, нитраты, сульфаты и т.д. Одновременно повышение температуры снижает содержание в растворе газов, в том числе кислорода, поэтому формирование застойного гидрологического горизонта в летний период может резко снизить окислительно-восстановительный потенциал почвы и ухудшить состояние растений, вплоть до полной их гибели. Именно в этот период усиливаются процессы оглеения.

Отдельно следует отметить роль температуры в питании растений. В теплых почвах растворы быстрее "разносят" питательные вещества, чем в холодных. При увеличении температуры ускоряются многие химические реакции, в том числе и в почве. Усиливаются процессы окисления органического вещества, процессы обмена между почвой и раствором, процессы диффузии веществ в почве. Все эти реакции прямо влияют на доступность питательных веществ для растений. Именно поэтому более бедные питательными элементами почвы влажных тропиков и субтропиков лучше снабжают растения пищей и производят больше фитомассы естественных и сельскохозяйственных растений. В акрисолях (красноземах) диффузия питательных веществ к корню идет значительно быстрее, чем в северных почвах, хотя для одной и той же температуры коэффициент диффузии в акрисолях меньше, чем в других почвах. Температура почв определяет газовый режим: увеличение температуры усиливает биологическую активность почв.

На тепловой режим влияют и другие природные факторы: высота над уровнем моря, экспозиция склона, тип почвообразующей породы, количество осадков и т.д. Изменчивость теплового режима в любые периоды сопровождается изменением в

жизнедеятельности биоты, в скорости химических реакций, в проявлениях водного, пищевого и газового режимов почв, поэтому оценка теплового, как и водного режима, лежит в основе понимания динамичности других свойств почв.

Следует отметить, что поступающий в экосистемы свет имеет разный спектральный состав в зависимости от высоты местности. В суб(альпийском) поясе в спектре света больше ультрафиолетовых лучей, которые, как известно, обладают бактерицидными свойствами. Возможно, что роль этих лучей в жизни горных экосистем намного больше, чем мы до сих пор представляем, и высокая гумусированность горных почв связана со спектральным составом света.

В принципе можно выделить почвы теплые (обычно песчаные и супесчаные, содержащие мало воды), имеющие теплопроводность 3,5–5,0 ккал/см*сек*град и теплоемкость 0,5–0,6 кал/см³*град, и холодные (глинистые переувлажненные) с показателями в 3–4 раза меньше. Благодаря высокой теплоемкости воды переувлажненные почвы медленнее согреваются, чем более легкие или менее увлажненные.

Более высокая температура почвы способствует иссушению ее, но в то же время обеспечивает более быстрое поступление в корни питательных элементов, более быстрый их подток к корню, активизирует биологические процессы в почве, активность микрофлоры. С ростом температуры увеличивается выделение углекислого газа из почвы, скорость обменных и других реакций, диффузия, капиллярный подъем воды, фильтрация и пр. Таким образом, тепловой режим – важный экологический параметр почвы, во многом определяющий ее экологические функции (питание, водоснабжение, окислительно-восстановительные условия и пр.).

Существуют способы улучшения теплового режима: мульчирование торфом, соломой, пленкой, опилками; рыхление и уплотнение; возделывание растений определенного вида с конкретной густотой; применительно к снежному покрову – хорошему термоизолятору – снегозадержание, щиты, кулисы.

1.2. ГИДРОФИЗИКА ПОЧВ

Вода играет огромную роль в жизни Земли – без нее нет жизни. Вода обладает большой подвижностью, передвигается даже в твердом состоянии. В жидком состоянии вода движется под действием силы тяжести, поверхностного натяжения (капиллярных сил), иногда сорбционных, в парообразном – за счет диффузии и пассивно с током воздуха. Благодаря большой подвижности и способности переносить различные вещества вода играет большую роль в обмене веществ.

Вода на своем пути неизбежно попадает в почву. Почвенная влага – основной источник воды для растений и заслуживает большого внимания и изучения наравне с влагой атмосферы, поверхностных и подземных вод. С поверхности океана испаряется ежегодно 1240 мм осадков, выпадает в среднем 670 мм, то есть около половины испарившейся с океанов влаги выпадает над сушей.

Именно почва играет огромную роль в круговороте воды, преобразуя ее в парообразную воду, поверхностный сток, подземный сток, испарение (транспирацию), т.е. водный режим почв территории – одно из важнейших

звеньев водного режима всей суши. Основатель гидрологии почв Г.Н. Высоцкий сравнивал почвенную влагу с кровью организма, так как она обеспечивает передвижение веществ и снабжение растений влагой.

Большое значение воды для развития растений известно с древности.

О необходимости полива растения знали еще древние земледельцы Шумера и Египта, но от этого знания до точного расчета дозы полива – достаточно большое расстояние. Первым ученым, акцентировавшим внимание на важную роль воды был голландец Ван Гельмонт, который в своем знаменитом опыте не обратил внимания на потерю почвой семидесяти граммов своего веса, зато учел то количество воды, которое пошло на полив посаженной ивы, и сделал вывод о необходимости воды растению. Он считал, что главное в питании растений – вода.

При анализе водного статуса почв следует различать понятия водного режима, режима влажности и водного баланса. **Водный режим** – совокупность явлений поступления, передвижения, удаления влаги из почвы и изменения состояния почвенной влаги. **Режим влажности почвы** – явления увеличения и уменьшения влаги в почве. **Водный баланс** – совокупность количественных характеристик поступления и расхода влаги из почвы.

Воды, как поверхностные, так и грунтовые, играют огромную роль в процессах почвообразования. Эта роль заключается в первую очередь в формировании окислительно-восстановительного режима почвы. При глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии застоя поверхностных вод в почвенном профиле создаются аэробные условия и протекают окислительные явления, которые сопровождаются интенсивной минерализацией органического вещества. В таких условиях формируются автоморфные почвы, не имеющие признаков заболачивания. Они всегда содержат значительно меньше гумуса, различия их с полугидроморфными могут достигать 2 раз. Например, в автоморфных дерново-подзолистых песчаных почвах обычное содержание гумуса составляет 1,0–1,5 %, а в глееватых и глеевых – 2,0–2,5 %.

При избыточном увлажнении, обусловленном близким залеганием грунтовых вод и застоем поверхностных вод в пониженных элементах рельефа, развивается *болотный процесс* почвообразования. Особенностью болотного процесса почвообразования являются анаэробные условия и восстановительные процессы. В анаэробных условиях уменьшается активность окислительных процессов, что приводит к ослаблению минерализации органического вещества. На поверхности почвы накапливаются полуразложившиеся органические останки в виде торфа, которому свойственна высокая гидрофильность и влагоемкость, а также низкая аэрация при избыточном увлажнении, что способствует дальнейшему развитию процессов заболачивания.

При избыточном увлажнении в почвах развивается процесс оглеения минеральной породы, характерной особенностью которого является превращение окисного железа в закисное, более подвижное соединение, которое окрашивает почвы в синий цвет. При временном избыточном увлажнении происходит смена окислительных и восстановительных условий и соединения железа могут быть то в окисной, то в закисной форме.

При подсыхании почвы в ней улучшатся воздушный режим, а, следовательно, и окислительные явления, что ведет к образованию гидрата окиси железа. Образование гидратов окиси Fe придает почве окраску в виде ржавых и охристых пятен, примазок и других железистых образований – ортштейновых конкреций, прожилок, ржавых трубочек по корневым ходам. Эти новообразования – неопровержимые признаки временного избыточного переувлажнения.

При постоянном избыточном увлажнении ионы закисного железа вступают в реакцию с кремнеземом и глиноземом, образуя вторичные алюмоферросиликаты, которые и придают сизую, грязно-зеленую или голубоватую окраску, а при их накоплении в почве образуется глеевый горизонт.

Гидрологические режимы и свойства почв зависят от общего состояния увлажненности территории. ГТК и коэффициент увлажнения по Иванову изменяются как в широтном, так и в меридиональном направлении, следствием чего является широтная зональность, фациальность и смена типов водного режима от застойного и промывного до выпотного.

Почвенная влага – основной ресурс для построения тела растений и важнейший фактор, определяющий условия существования сельскохозяйственных культур и обработки почвы. Вода необходима для растений в значительно больших количествах, чем другие средства питания растений. На формирование 1 г сухого вещества тратится до 500 и более г воды. Необходимо отметить, что значительная часть элементов питания усваивается растениями, а характерной особенностью воды является ее непрерывное, одностороннее передвижение из почвы через корни растений вверх по стеблю к листовой поверхности, где она испаряется.

Растения, произрастающие на влажной почве, в условиях влажного климата, перемещают воду из почвы в клетки быстрее, чем испаряют ее. В условиях высокой транспирации, обусловленной сильным солнечным освещением или высокой температурой воздуха, или горячими иссушающими ветрами, или ограниченными запасами влаги в почве корни растений не могут перемещать влагу из почвы в сосудистую систему с такой же скоростью, с какой ее испаряет листовая поверхность. В таком случае содержание влаги в листьях заметно снижается, вследствие чего листья растений многих видов утрачивают тургор и увядают. Скорость передвижения воды в растениях зависит от внешних факторов и от особенностей самого растения (величина листовой поверхности, протяжённость корневой системы). У хвойных деревьев она составляет от 0,5 до 1 см/час, у лиственных – до 40 и более см/час. За вегетационный период одно растение кукурузы испаряет 200 кг воды, 1 га посева пшеницы – 2–3 т, 35-летняя яблоня – до 26 т.

Почвенная влага, поступая в растения, является основным компонентом, участвующим в фотосинтезе. При недостатке влаги и недостаточном ее поступлении в растения резко снижается интенсивность фотосинтеза. Процесс фотосинтеза в нашей природной зоне ограничивает обычно не количество солнечной энергии, а количество воды. В этой связи рациональное использование воды, особенно в аридной зоне, является крайне важной задачей.

Колебания урожаев год от года чаще всего вызываются именно несоответствием запасов влаги в почве потребностям в ней растений. В Беларуси особенно часты засухи в южных и юго-восточных районах. В этом аспекте выделяют зоны устойчивого (стабильного) и рискованного земледелия.

1.2.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды

Вода в почвах неоднородна. Разные ее порции имеют разные физические свойства (термодинамический потенциал, теплоемкость, плотность, вязкость, удельный объем, химический состав, подвижность молекул, осмотическое давление и т. д.), обусловленные характером взаимного расположения и взаимодействия молекул воды между собой и с другими фазами почвы твердой, газовой, жидкой. Порции почвенной воды, обладающие одинаковыми свойствами, получили название *категорий* или *форм почвенной воды*.

В истории почвоведения было предложено много классификаций категорий воды, содержащейся в почве. Наиболее современной и полной является классификация, разработанная А. А. Роде (1965), которая приводится ниже. Согласно этой классификации, в почвах можно различать следующие пять категорий (форм) почвенной воды.

Твердая вода – лед. Твердая вода в почве – это лед, являющийся потенциальным источником жидкой и парообразной воды, в которую он переходит в результате таяния и испарения. Появление воды в форме льда может иметь сезонный (сезонное промерзание почвы) или многолетний («вечная» мерзлота) характер. Поскольку почвенная вода – это всегда раствор, температура замерзания воды в почве ниже 0°C.

Химически связанная вода (включает конституционную и кристаллизационную). Первая из них представлена гидроксильной группой OH химических соединений (гидроксиды железа, алюминия, марганца; органические и органоминеральные соединения; глинистые минералы); вторая – целыми водными молекулами кристаллогидратов, преимущественно солей (полугидрат – $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Конституционную и кристаллизационную воду иногда объединяют общим понятием *гидратной* или *кристаллогидратной* воды. Эта вода входит в состав твердой фазы почвы и не является самостоятельным физическим телом, не передвигается и не обладает свойствами растворителя.

Парообразная вода. Эта вода содержится в почвенном воздухе порового пространства в форме водяного пара. Одна и та же почва может поглощать различное количество паров воды из атмосферного воздуха, что зависит от упругости пара: чем она больше, т. е. чем ближе припочвенный воздух к состоянию насыщения водяным паром, тем больше количество парообразно поглощенной воды в почве. Вообще говоря, почвенный воздух практически всегда близок к насыщению парами воды, а небольшое понижение температуры почвы приводит к его насыщению и конденсации пара, в результате чего парообразная вода переходит в жидкую; при повышении температуры имеет место обратный процесс. Парообразная вода в почве передвигается в ее поровом пространстве от участков с высокой упругостью водяного пара к участкам с

более низкой упругостью (активное движение), а также вместе с током воздуха (пассивное движение).

Физически связанная, или сорбированная, вода. К этой категории относится вода, сорбированная на поверхности почвенных частиц, обладающих определенной поверхностной энергией за счет сил притяжения, имеющих различную природу. При соприкосновении почвенных частиц с молекулами воды последние притягиваются этими частицами, образуя вокруг них пленку. Удержание молекул воды происходит в данном случае силами сорбции.

Молекулы воды могут сорбироваться почвой как из парообразного, так и из жидкого состояния. Благодаря тому, что молекулы воды не являются энергетически нейтральными, а представляют собой диполи, они обладают способностью притягиваться полюсами друг с другом. Прочность их фиксации наибольшая у границ почвенных частиц. По прочности фиксации подразделяется на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Прочносвязанная вода. Прочносвязанная вода – это вода, поглощенная почвой из парообразного состояния. Свойство почвы сорбировать парообразную воду называют гигроскопичностью почв, а поглощенную таким образом воду – гигроскопической (Г). Таким образом, прочносвязанная вода – это вода гигроскопическая. Она удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением – $(1-2) \cdot 10^9$ Па, образуя вокруг почвенных частиц тончайшие пленки. Высокая прочность удержания обуславливает полную неподвижность гигроскопической воды. По физическим свойствам прочносвязанная (гигроскопическая) вода приближается к твердым телам. Плотность ее достигает $1,5-1,8$ г/см³, она не замерзает, не растворяет электролиты, отличается повышенной вязкостью и не доступна растениям.

Количество водяного пара, сорбируемого почвой, находится в тесной зависимости от относительной влажности воздуха, с которым соприкасается почва. Чем она больше, тем большее количество воды сорбируется почвой. При низкой относительной влажности воздуха (порядка 20–40 %) имеет место сорбция воды непосредственно почвенными частицами с образованием моно- или бимолекулярного слоя. Дальнейшее увеличение относительной влажности воздуха обуславливает возрастание толщины водной пленки.

Предельное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100 % (94–98 %), называют **максимальной гигроскопической водой (МГ)**. При влажности почвы, равной МГ, толщина пленки из молекул воды достигает 3–4 слоев. На гигроскопичность почв и МГ оказывают существенное влияние свойства твердой фазы почв, и в первую очередь те из них, с которыми связана удельная поверхность почвенных частиц (гранулометрический и минералогический состав почв, степень их гумусированности). Чем выше в почве содержание илистой и особенно коллоидной фракции, тем выше будет гигроскопичность почв и МГ.

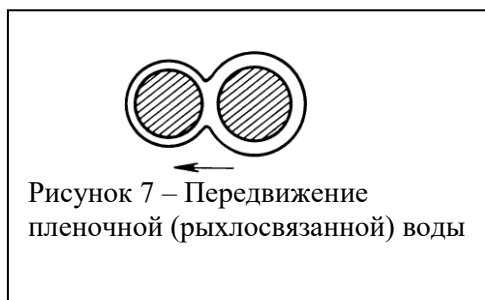
Гумус также увеличивает гигроскопичность почвы. Поэтому почвы с более высоким содержанием гумуса при одном и том же гранулометрическом составе всегда характеризуются большим значением МГ. В почвах минеральных максимальная гигроскопичность колеблется от 0,5–1 % в слабогумусированных

песках и супесях до 15–16 % в сильногумусированных суглинках и глинах, а в торфах может достигать 30–50 %.

Рыхлосвязанная (пленочная) вода. Сорбционные силы поверхности почвенных частиц не насыщаются полностью даже в том случае, если влажность почвы достигнет МГ. Почва не может поглощать парообразную воду сверх МГ, но жидкую воду может сорбировать и в большем количестве. *Вода, удерживаемая в почве сорбционными силами сверх МГ, – это вода рыхлосвязанная, или пленочная.* Сила, с которой она удерживается в почве, измеряется значительно меньшим давлением (по сравнению с водой прочносвязанной) – порядка $(1–10) 10^5$ Па.

Рыхлосвязанная вода также представлена пленкой, образовавшейся вокруг почвенной частицы, но пленкой полимолекулярной. Толщина ее может достигать нескольких десятков и даже сотен диаметров молекул воды. По физическому состоянию рыхлосвязанная вода очень неоднородна, что обусловлено различной прочностью связи молекул различных слоев. Поэтому можно сказать, что она находится в вязкожидкой форме, т. е. занимает промежуточное положение между водой прочносвязанной и свободной. Рыхлосвязанная (пленочная) вода в отличие от прочно-связанной может передвигаться в жидкой форме от почвенных частиц с более толстыми водяными пленками к частицам, у которых она тоньше (рисунок 7), т. е. передвижение этой воды возможно при наличии некоторого градиента влажности и происходит оно очень медленно, со скоростью несколько десятков сантиметров в год.

Содержание пленочной воды в почве определяется теми же свойствами почв, что и содержание максимальной гигроскопической. В среднем для большинства почв оно составляет 7–15%, иногда в глинистых почвах достигает 30–35 и падает в песчаных до 3–5%.



Свободная вода. Вода, которая содержится в почве сверх рыхлосвязанной, находится уже вне области действия сил притяжения со

стороны почвенных частиц (сорбционных) и является свободной. Отличительным признаком этой категории воды является отсутствие ориентировки молекул воды около почвенных частиц. В почвах свободная вода присутствует в капиллярной и гравитационной формах.

Капиллярная вода. Она удерживается в почве в порах малого диаметра – капиллярах, под действием капиллярных или, как их еще называют, менисковых сил. Возникновение этих сил обусловлено следующими явлениями. Поверхностный слой жидкости по своим свойствам отличается от ее внутренних слоев. Если на каждую молекулу воды внутри жидкости равномерно действуют силы притяжения и отталкивания со стороны окружающих молекул, то молекулы, находящиеся в поверхностном слое жидкости, и испытывают одностороннее, направленное вниз притяжение только со стороны молекул, лежащих ниже поверхности раздела вода – воздух. Силы, действующие вне жидкости, относительно малы и ими можно пренебречь. Таким образом, поверхностные молекулы жидкости находятся под действием сил, стремящихся

втянуть их внутрь жидкости. По этой причине поверхность любой жидкости стремится к сокращению, так как любая система стремится к компенсации свободной энергии (к форме сферы). Наличие у поверхностных молекул жидкости, ненасыщенных, неиспользованных сил сцепления является источником избыточной поверхностной энергии, которая также стремится к уменьшению. Это влечет за собой образование на поверхности жидкости как бы пленки, которая обладает *поверхностным натяжением, или поверхностным давлением* (давлением Лапласа), которое представляет собой разницу между атмосферным давлением и давлением жидкости.

Значение поверхностного натяжения зависит от формы поверхности жидкости и радиуса капилляра. Поверхностное давление, развивающееся под плоской поверхностью жидкости, называется нормальным. Для воды оно равно $1,07 \cdot 10^9$ Па. Давление уменьшается, если поверхность жидкости вогнутая, и увеличивается, в случае поверхности выпуклой.

Согласно уравнению Лапласа, когда давление жидкости меньше атмосферного и поверхность имеет вид вогнутого мениска, поверхностное давление (P_1) будет меньше нормального (P_0) и равно:

$$P_1 = P_0 - \alpha (1/R_1 + 1/R_2), \text{ или приближенно } P_1 = P_0 - 2\alpha/R$$

где α – поверхностное натяжение, равное для воды $75,6 \cdot 10^{-3}$ Н/м при 0°C ;

$R_1 + R_2$ – радиусы кривизны поверхности жидкости.

В противоположном случае, т. е. при давлении жидкости больше атмосферного и выпуклой поверхности жидкости,

$$P_1 = P_0 + \alpha (1/R_1 + 1/R_2),$$

Поверхностное давление жидкости зависит от радиуса искривленной поверхности жидкости, чем он меньше, то есть чем уже почвенные капилляры, тем давление больше. В капиллярах с вогнутым мениском как бы возникает вакуум, который и поднимает за пленкой столбик воды в капилляре (рис. 8). Вода обладает свойством хорошо смачивать твердые тела. Поэтому при соприкосновении воды с почвенными частицами в порах-капиллярах образуются мениски тем большей кривизны, чем меньше диаметр пор. Явление смачивания обуславливает образование в почвах только вогнутых менисков, так как при взаимодействии воды с твердой фазой энергия выше, чем между молекулами воды.

При погружении капилляра в резервуар с водой вода под действием добавочного давления $\Delta P = P_1 - P_0$ подымается на такую высоту, чтобы уравновесить силу тяжести, т.е. $\rho gh = 2\alpha/R$, откуда $h = 2\alpha/R\rho g$; иными словами высота обратно пропорциональна радиусу капилляра.

В почвах менисковые (капиллярные) силы начинают проявляться в порах с диаметром менее 8 мм, но особенно велика их сила в порах с диаметром от 100 до 3 мкм (таблица 16). В порах крупнее 8 мм капиллярные свойства не выражены, так как сплошной вогнутый мениск здесь не образуется. Поры же мельче 3 мкм заполнены в основном связанной водой, и мениски здесь также не образуются. Более 10 м подъема быть не может еще и по той причине, что этой величине соответствует атмосферное давление. Скорость капиллярного поднятия является

функцией $V=f \cdot R / t_0$. Чем выше капиллярный подъем, тем меньше его скорость (за счет трения о стенки капилляра).

Система пор, имеющих в почвах, представляет собой сложную мозаику капилляров самого разного сочетания и размеров, в которых образуются мениски различной кривизны. В результате этого в почвах существует разность давлений не только под мениском и плоской поверхностью пленки натяжения, но и между поверхностью менисков разной кривизны.

Таблица 16 – Зависимость высоты подъема воды от радиуса капилляра.

R, мм	5	2	1	0,5	0,1	0,01	0,001	0,0001
H, мм	3	7	15	30	149	1,49м	14,9м	149м

Разность поверхностных давлений называют *отрицательным капиллярным давлением*. С появлением этого давления связывают способность почв удерживать определенное количество влаги в почве и подъем воды в капиллярных порах.

Капиллярная вода по физическому состоянию жидкая. Она высокоподвижна, способна обеспечить восполнение запасов воды в поверхностном горизонте почвы при интенсивном потреблении ее растениями или при испарении. Капиллярная вода свободно растворяет вещества и перемещает растворимые соли, коллоиды, тонкие суспензии. Все мероприятия, направленные на сохранение воды в почве или пополнение ее запасов (при орошении), связаны с созданием в почве запасов именно капиллярной воды с уменьшением ее расхода на физическое испарение. Капиллярная вода подразделяется на несколько видов: капиллярно-подвешенную, капиллярно-подпертую, капиллярно-посаженную.

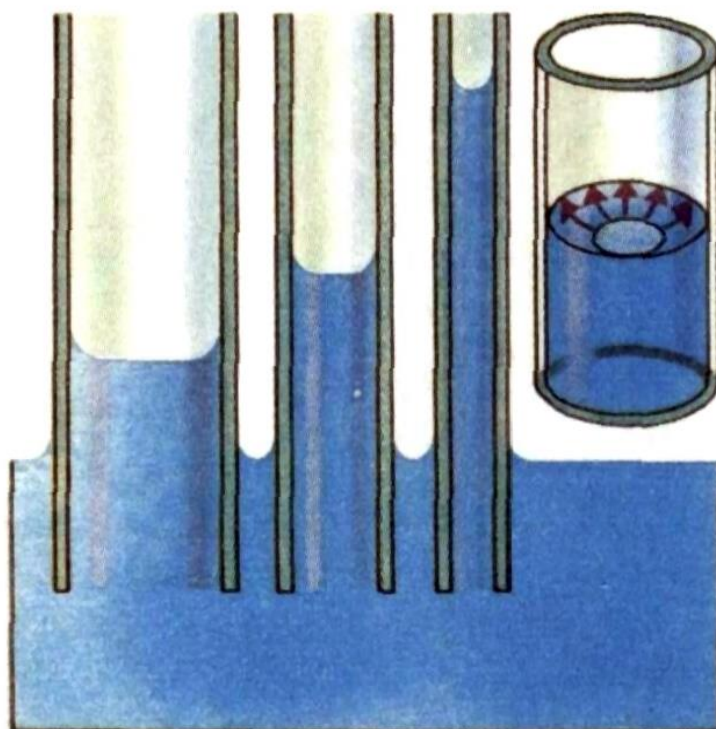


Рисунок 8 – Капиллярные явления

Капиллярно-подвешенная вода заполняет капиллярные поры при увлажнении почв сверху (после дождя или полива). При этом под промоченным слоем всегда имеется сухой слой, то есть гидростатическая связь увлажненного горизонта с постоянным или временным горизонтом подпочвенных вод отсутствует. Вода, находящаяся в промоченном слое, как бы «висит», не стекая, в почвенной толще над сухим слоем. Поэтому она и получила название подвешенной.

В природных условиях в распределении капиллярно-подвешенной воды по профилю почв всегда наблюдается постепенное уменьшение влажности с глубиной. Подвешенная вода удерживается в почвах достаточно прочно, но до определенного предела, обусловленного разностью давлений, создаваемой в менисках верхней и нижней поверхностей водного слоя. Если этот предел разницы давлений превышен, начинается стекание воды. Капиллярно-подвешенная вода может передвигаться как в нисходящем направлении, так и вверх, в направлении испаряющейся поверхности. При активном восходящем движении воды в почвах близ поверхности происходит накопление веществ, содержащихся в растворенном виде в почвенном растворе. Засоление почв в поверхностных горизонтах обязано во многом данному явлению. Происходит это в том случае, если в почвах в пределах промачиваемого с поверхности слоя имеется горизонт скопления легкорастворимых солей или если, полив почв осуществляется минерализованными водами.

В суглинистых почвах количество капиллярно-подвешенной воды и глубина промачивания почвы за счет этой формы воды могут достигать значительных величин (таблица 17). В песчаных почвах эти показатели значительно ниже.

Таблица 17 – Распределение капиллярно-подвешенной воды в однородных по гранулометрическому составу грунтах.

Грунт	Влажность (%) на различной глубине (см)						
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70
Тяжелый суглинок	40	39	35	34	33	32	31
Средний суглинок	30	28	28	28	28	27	26
Супесь	24	23	22	21	20	17	15

Капиллярно-подвешенная вода в почвах сохраняется длительное время, являясь доступной для растений. Поэтому эта форма воды с экологической точки зрения представляет особую ценность. Скорость передвижения капиллярно-подвешенной воды к поверхности и, следовательно, скорость ее испарения, то есть потери воды из почвы, определяются главным образом структурностью почв. В структурных почвах этот процесс идет медленнее, и вода дольше сохраняется. Одной из разновидностей капиллярно-подвешенной воды, встречающейся главным образом в песчаных почвах, является вода **стыковая капиллярно-подвешенная** (рисунок 9). Возникновение ее в почвах легкого гранулометрического состава обязано тому, что в этих почвах преобладают поры, размер которых превышает размер капилляров. В данном случае вода присутствует в почвах в виде разобценных скоплений в местах соприкосновения

– стыка твердых частиц в форме двояковогнутых линз («манжеты»), удерживаемых капиллярными силами.

Капиллярно-подпертая вода образуется в почвах при подъеме воды снизу от горизонта грунтовых вод по капиллярам на некоторую высоту, т. е. это вода, которая содержится в слое почвы непосредственно над водоносным горизонтом и гидравлически с ним связана, подпираемая водами этого горизонта.

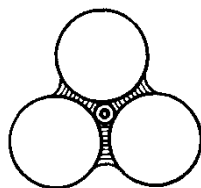


Рисунок 9 – Водная манжета (стыковая вода) между шарообразными частицами

Капиллярно-подпертая вода встречается в почвенной-грунтовой толще любого гранулометрического состава. Слой почвы или грунта, содержащий капиллярно-подпертую воду непосредственно над водоносным горизонтом, называют **капиллярной каймой**. В почвах тяжелого гранулометрического состава она обычно больше (от 2 до 6 м), чем в почвах песчаных (40–60 см). Содержание воды в кайме уменьшается снизу вверх. Изменение влажности в песчаных почвах при этом происходит более резко. Мощность капиллярной каймы при равновесном состоянии воды характеризует *водоподъемную способность почвы*.

Капиллярно-посаженная вода (подперто-подвешенная) образуется в слоистой почвенно-грунтовой толще, в мелкозернистом слое при подстилании его слоем более крупнозернистым, над границей смены этих слоев. В слоистой толще из-за изменения размеров капилляров на поверхности раздела тонко- и грубодисперсных горизонтов возникают дополнительные нижние мениски, что способствует удержанию некоторого количества капиллярной воды, которая как бы «посажена» на эти мениски. В этой связи в слоистой толще распределение капиллярной воды имеет свои особенности. Так, на контакте слоев различного гранулометрического состава наблюдается повышение влажности, в то время как в однородных почвогрунтах влажность равномерно убывает либо вниз по профилю (при капиллярно-подвешенной воде), либо вверх по профилю (при капиллярно-подпертой воде). Влажность слоистой почвенно-грунтовой толщи при прочих равных условиях всегда выше влажности толщи однородной.

Гравитационная вода. Основным признаком свободной гравитационной воды является передвижение ее под действием силы тяжести, т. е. она находится вне влияния сорбционных и капиллярных сил почвы. Для нее характерны жидкое состояние, высокая растворяющая способность и возможность переносить в растворенном состоянии соли, коллоидные растворы, тонкие суспензии. Гравитационную воду делят на просачивающуюся гравитационную и воду водоносных горизонтов (подпертая гравитационная вода).

Просачивающаяся гравитационная вода передвигается по порам и трещинам почвы – сверху вниз. Появление ее связано с накоплением в почве воды, превышающей удерживающую силу менисков в капиллярах.

Вода водоносных горизонтов – это грунтовые, почвенно-грунтовые и почвенные воды (почвенная верховодка), насыщающие почвенно-грунтовую толщу до состояния, когда все поры и промежутки в почве заполнены водой (за исключением пор с заземленным воздухом). Эти воды могут быть либо застойными, либо, при наличии разности гидравлических напоров, стекающими в направлении уклона водоупорного горизонта. Удерживаются они вследствие малой водопроницаемости подстилающих грунтов. Присутствие значительных количеств свободной гравитационной воды в почве – явление неблагоприятное, свидетельствующее о временном или постоянном избыточном увлажнении, что способствует созданию в почвах анаэробной обстановки и развитию глеевого процесса. Осушительные мелиорации направлены, как правило, на уменьшение запасов свободной гравитационной воды в почвах.

Разграничивая содержащуюся в почве воду на отдельные категории или формы в зависимости от ее фазового состояния и природы сил, удерживающих ее в почве (сорбционные, капиллярные, сила тяжести), необходимо оговориться, что любое разделение воды является условным, так как вода в почве практически находится одновременно под действием нескольких сил с преобладающим влиянием силы какого-либо одного вида, и, говоря о действии на воду сил той или иной природы, имеют в виду их преобладающее влияние.

Жидкая и парообразная вода в почве находится под действием различных природных сил: сорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных. На поверхности раздела твердой фазы и жидкой появляются сорбционные и капиллярные силы, природа которых обусловлена поверхностной энергией твердых частиц и воды. Сорбция – притяжение молекул воды твердой фазой. Капиллярные и сорбционные силы противостоят гравитационным, определяющим нисходящее движение влаги.

Осмотические силы в почве обуславливаются взаимодействием ионов раствора. Чем больше минерализация раствора, тем больше эти силы:

$$P_{осм} = -RTC,$$

где $P_{осм}$ – осмотическое давление (в кПа),

R – газовая постоянная, равная $8,3110^3$ [кПа м³/К° моль],

T – температура (в К°), C – концентрация раствора в моль/м³.

Нередко эту составляющую полного потенциала определяют по электропроводности почвенного раствора (ЕС): $P_{осм} = -36 EC$, электропроводность (ЕС) выражена в дСм/м (1 См = 1 Ом⁻¹).

1.2.2. Водные свойства почв

Водными (водно-физическими, гидрофизическими) свойствами называют совокупность свойств почвы, которые определяют поведение почвенной воды в ее толще. Наиболее важным водным свойством почв является **влажность**, содержание в них воды. Влажность зависит от общей пористости почвы, распределения пор по размеру, водообмена между почвой, атмосферой и растением.

Рассчитывают влажность в % на абсолютно сухую массу, на сырую навеску в г/г, в % от объема почвы.

Другими важными водными свойствами являются: водоудерживающая способность почвы, ее влагоемкость, водоподъемная способность, потенциал почвенной влаги, водопроницаемость.

Водоудерживающая способность – способность почвы удерживать содержащуюся в ней воду от стекания под влиянием силы тяжести. Количественной характеристикой водоудерживающей способности почвы является ее влагоемкость.

Влагоемкость почвы – способность поглощать и удерживать определенное количество воды. В зависимости от сил, удерживающих воду в почве, и условий ее удержания выделяют следующие виды влагоемкости, которые соответствуют определенным формам воды: максимальную адсорбционную, максимальную молекулярную, капиллярную, наименьшую или полевую и полную.

Максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ) – наибольшее количество воды, которое может быть удержано сорбционными силами на поверхности почвенных частиц. Соответствует прочносвязанной (адсорбированной) воде, содержащейся в почве.

Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) (по А.Ф. Лебедеву) – характеризует верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной (пленочной) воды, т.е. воды, удерживаемой силами молекулярного притяжения на поверхности почвенных частиц. ММВ определяется в основном гранулометрическим составом почв. В глинистых почвах она может достигать 25–30 %, в песчаных – не превышает 5–7 %. Увеличение запасов воды в почве сверх максимальной молекулярной влагоемкости сопровождается появлением подвижной капиллярной или даже гравитационной воды.

Максимальная молекулярная влагоемкость является важной почвенно-гидрологической характеристикой. Сопоставление фактической влажности почвы с максимальной молекулярной влагоемкостью дает возможность установить присутствие в почве запаса доступной для растений воды (в случае превышения фактической влажности над ММВ) или отсутствие таковой (при примерном совпадении этих величин), поскольку при влажности, соответствующей ММВ, запасы доступной растениям воды в почве настолько малы, что они не могут удовлетворить потребность растений в ней.

Капиллярная влагоемкость (КВ) – наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся в пределах капиллярной каймы. Определяется она в основном порозностью почв и грунтов. Кроме того, она зависит и от того, на каком расстоянии слой насыщенной влаги находится от зеркала грунтовых вод. Чем больше это расстояние, тем меньше КВ, ведь в нижней части вода содержится в крупных капиллярах, и по мере продвижения вверх по капиллярной кайме – все в более тонких. При близком залегании грунтовых вод (1,5–2,0 м), когда капиллярная кайма смачивает толщу до поверхности, капиллярная влагоемкость наибольшая (для 1,5 м слоя среднесуглинистых почв 30–40 %). КВ не постоянна, так как находится в зависимости от уровня грунтовых вод.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – наибольшее количество капиллярно-подвешенной влаги, которое может удержать почва после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод. Термину наименьшая влагоемкость соответствуют термины полевая влагоемкость (ПВ), общая влагоемкость (ОВ) и предельная полевая влагоемкость (ППВ). Последний термин особенно широко используется в агрономической практике и в мелиорации; термин полевая влагоемкость широко распространен в иностранной литературе, особенно американской.

Наименьшая влагоемкость зависит главным образом от гранулометрического состава почв, от их оструктуренности и плотности (сложения). В почвах глинистых НВ достигает 50–60 % от веса почвы, суглинистых – 30–40 %, супесчаных 15–25 %, песчаных – не превышает 10–15 %.

Наименьшая влагоемкость почв является очень важной гидрологической характеристикой почвы. С ней связано понятие о дефиците влаги в почве, по НВ рассчитываются поливные нормы. Это – равновесная влажность, которую возможно определить в поле, она наблюдается в почве весной, после таяния снега, стекания гравитационной воды и представляет собой весенние запасы влаги. Именно потому, что НВ представляет количество воды, которое удерживается почвой после осадков или полива, эта величина является основой большинства гидрологических, мелиоративных расчетов.

Таким образом, наименьшая влагоемкость – важнейшая в агрофизике почвенногидрологическая константа. Она важна и тем, что характеризует содержание в почве воздуха в этот момент. Характеристическая величина воздухоудержания при влажности НВ носит название *воздухоёмкости и составляет 20–25 % для песчаных, 15–20 % для суглинистых и >10% для глинистых почв.*

Дефицит влаги в почве представляет собой величину, равную разности между наименьшей влагоемкостью и фактической влажностью почвы. Оптимальной влажностью считается влажность почвы, составляющая 70–100 % наименьшей влагоемкости.

Полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, за исключением пор с заземленным воздухом, которые составляют, как правило, не более 5–8 % от общей порозности. Следовательно, ПВ почвы численно близка к порозности (скважности) почвы.

При влажности, равной ПВ, в почве содержатся максимально возможные количества всех видов воды: связанной (прочно- и рыхло-) и свободной (капиллярной и гравитационной). Можно сказать, что ПВ характеризует полную водовместимость почв. Зависит она, как и наименьшая влагоемкость, не только от гранулометрического состава, но и от структурности и порозности почв. Полная влагоемкость колеблется в пределах 40–50 %, в отдельных случаях она может возрасти до 80 или опуститься до 30 %. Состояние полного насыщения водой характерно для горизонтов грунтовых вод.

Несмотря на то, что разделение почвенной воды на категории (формы) условно и ни одна из них не обладает абсолютной значимостью, можно выделить определенные интервалы влажности, в пределах которых какая-то часть влаги

обладает одинаковыми свойствами и степенью доступности ее для растений. Такие граничные значения влажности, при которых количественные изменения в подвижности воды переходят в качественные отличия, называют **почвенно-гидрологическими константами**.

Основными почвенно-гидрологическими константами являются: максимальная гигроскопичность, влажность завядания, влажность разрыва капилляров, наименьшая влагоемкость, полная влагоемкость. Почвенно-гидрологические константы широко используются в агрономической и мелиоративной практике, характеризуя запасы воды в почве и обеспеченность растений влагой.

Еще в начале XX в. Л. Бриггс и Г. Шанц установили, что потребление воды растениями ограничивается влажностью, характерной для каждой почвы и зависящей от гранулометрического состава. Эта влажность была названа влажностью завядания (ВЗ). Одновременно П.С. Коссович установил понятие наименьшей влагоемкости (НВ), которая потом получила название полевой влагоемкости (ПВ), или предельной полевой влагоемкости (ППВ) – влажность почвы после стока избытка воды. Э. Митчерлих предложил константу – максимальная гигроскопическая влажность (МГ), которой было дано следующее определение: максимальной гигроскопической называется влажность, которая характерна для почвы после выдерживания ее в атмосфере, близкой к полному насыщению водяными парами (0,96–0,98). В дальнейшем были добавлены следующие константы: полная влагоемкость (когда все поры почвы заполнены водой), капиллярная влагоемкость (влажность капиллярной каймы почвы), влага разрыва капилляров (М.М. Абрамова, А.А. Роде), максимальная адсорбционная влажность, равная в среднем 60% от максимальной гигроскопической влажности почвы (А.А. Роде), максимальная молекулярная влагоемкость (А.Ф. Лебедев).

Максимальная гигроскопичность (МГ) – характеризует предельно-возможное количество парообразной воды, которое почва может поглотить из воздуха, почти насыщенного водяным паром. Характеристика этого вида воды была дана выше. Максимальная гигроскопичность почв является важной почвенно-гидрологической характеристикой, величиной, достаточно постоянной. Вода, находящаяся в почве в состоянии максимальной гигроскопичности, не доступна растениям. Это «мертвый запас влаги». По максимальной гигроскопичности приближенно рассчитывают коэффициент завядания растений – нижнюю границу физиологически доступной для растений воды.

Влажность устойчивого завядания, или влажность завядания (ВЗ) – влажность, при которой растения проявляют признаки устойчивого завядания, т. е. такого завядания, когда его признаки не исчезают даже после помещения растения в благоприятные условия. Численно ВЗ равна примерно 1,5 максимальной гигроскопичности. Эту величину называют также коэффициентом завядания.

Содержание воды в почве, соответствующее влажности завядания, является нижним пределом доступной для растений влаги.

Влажность завядания определяется как свойствами почв, так и характером растений. В глинистых почвах она всегда выше, чем в песчаных. Заметно возрастает она в почвах засоленных и содержащих большое количество

органических веществ, особенно неразложившихся, растительных остатков (торфянистые горизонты почв). Так, в глинах ВЗ составляет 20–30 %, в суглинках – 10–12, в песках – 1–3, у торфов – до 60–80 %. Засухоустойчивые растения завядают при меньшей влажности, чем влаголюбивые.

Влажность разрыва капилляров (ВРК). Капиллярно-подвешенная вода при испарении передвигается в жидкой форме к испаряющей поверхности в пределах всей промоченной толщи по капиллярам, сплошь заполненным водой. Но при определенном снижении влажности, характерном для каждой почвы, восходящее передвижение этой воды прекращается или резко затормаживается. Потеря способности к такому передвижению объясняется тем, что в почве при испарении исчезает сплошное заполнение капилляров водой, т. е. в ней не остается систем пор, сплошь заполненных влагой и пронизывающих промоченную часть почвенной толщи. Эту критическую величину влажности назвали влажностью разрыва капиллярной связи (ВРК).

Таким образом, влажность разрыва капилляров – это влажность, при которой подвижность капиллярной воды в процессе снижения влажности резко уменьшается. Вода, однако, остается в мельчайших порах, в углах стыка частиц (мениски стыковой влаги). Эта влага неподвижна, но физиологически доступна корешкам растений. При влажности ниже ВРК рост растений замедляется и их продуктивность снижается. В почвах и грунтах эта величина варьирует довольно сильно, составляя в среднем около 50–60 % от наименьшей влагоемкости почв в легких почвах и около 70 % – в тяжелых. На содержание воды, соответствующей ВРК, помимо гранулометрического состава почв, существенное влияние оказывает их структурное состояние. В бесструктурных почвах запасы воды расходуются на испарение значительно быстрее, чем в почвах с агрономически ценной структурой, и в них влажность будет быстрее достигать ВРК.

Почвенно-гидрологические константы, как и влагоемкость почв, выражаются в процентах от массы или объема почв.

Наиболее широко используют на практике три константы: наименьшая (полевая) влагоемкость, максимальная гигроскопическая влага, влага завядания. Последнюю обычно определяют методом малых миниатюр: в алюминиевый стаканчик загружают влажную почву, выращивают на ней растение, обычно ячмень или овес, и, когда проростки хорошо разовьются, парафинируют поверхность почвы и ждут, пока растение не завянет. Остаточная влага характеризуется как влага завядания. Ясно, что если вместо ячменя и овса взять другое растение, то влажность может оказаться другой. Остальные константы сейчас почти не используют на практике, и они, скорее, теоретические, чем практические, так как методы их определения плохо разработаны, а результаты определения противоречивы.

Существует некоторое правило, далеко не всегда соблюдающееся, о соотношении величин влажностей, соответствующих почвенно-гидрологическим константам: ПВ: НВ: ВРК: ВЗ: МГ = 1: 0,5: 0,35: 0,25: 0,05. Но это правило можно применять лишь для ориентации в величинах почвенно-гидрологических констант, оно неприменимо для количественных расчетов. Основой для нахождения величин почвенно-гидрологических констант является их экспериментальное определение.

Водопроницаемость почв – способность почв и грунтов впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности.

В процессе поступления воды в почву и дальнейшего передвижения ее можно выделить 2 этапа: 1) поглощение воды почвой и прохождение ее от *верхнего* слоя к слою в ненасыщенной водой почве; 2) фильтрацию воды сквозь толщу насыщенной водой почвы. При этом первый этап представляет собой впитывание почвы и характеризуется *коэффициентом впитывания*. Вторым этапом – это собственно фильтрация. Интенсивность прохождения воды в почвенно-грунтовой толще, насыщенной водой, характеризуется *коэффициентом фильтрации*.

В природных условиях четко выделить отдельные этапы водопроницаемости практически невозможно. Значительно чаще при этом идет впитывание воды почвой, фильтрация же имеет место только в случае выпадения большого количества осадков, при орошении большими нормами и при снеготаянии. Границей между впитыванием почв и фильтрацией считают момент установления постоянной скорости фильтрации.

Движение воды в почве подчиняется закону Дарси (французский инженер, первый предложивший эту формулу) для анализа движения воды в водонасыщенной почве:

$$Q = K_{\phi} * ДН/L,$$

где Q – количество воды, прошедшее сквозь единицу площади при разности напора $ДН$ и длине пути движения воды L ,

K_{ϕ} – коэффициент влагопроводности при градиенте напора в один см на единицу длины пути в один см.

Очень важно отметить, что K_{ϕ} имеет ту же размерность, что и поток влаги, т.е. см/сут, м/сут и т.д. K_{ϕ} является постоянной и характеристичной для данного почвенного объекта величиной. Он относится к фундаментальным, базовым почвенным свойствам. Классифицируют обычно эту величину следующим образом: очень низкий – менее 6 см/сут, низкий – 6–15, средний – 15–40, высокий – 40–100, очень высокий – 100–250, исключительно высокий – более 250 см/сут.

Водопроницаемость почв находится в тесной зависимости от их гранулометрического состава и химических свойств почв, их структурного состояния, плотности, порозности, влажности и длительности увлажнения. В почвах тяжелого гранулометрического состава она всегда (при прочих равных условиях) меньше, чем в легких. Снижает водопроницаемость почв присутствие набухающих коллоидов, особенно насыщенных Na^{+} или Mg^{2+} , поскольку при увлажнении такие почвы быстро набухают и становятся практически водонепроницаемыми. Почвы оструктуренные, рыхлые характеризуются большими коэффициентами впитывания и фильтрации.

В ненасыщенных водой почвах для количественной характеристики водопроницаемости почв пользуются *коэффициентом водопроницаемости, или влагопроводности*. Он определяется как *коэффициент пропорциональности между скоростью потока воды и градиентом сил, вызывающих передвижение воды* (давление, гидравлический напор и т. п.). Коэффициент влагопроводности зависит от влажности почв: увеличивается с увеличением ее влажности и достигает максимума во влагонасыщенной почве. В этом случае его и называют

коэффициентом фильтрации. Можно сказать, что коэффициент влагопроводности аналогичен коэффициенту фильтрации, но применяется он для ненасыщенных водой почв.

Водоподъемная способность почв – свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней воды за счет капиллярных сил. Высота подъема воды в почвах и скорость ее передвижения определяются в основном гранулометрическим и структурным составом почв, их порозностью (таблица 18).

Таблица 18 – **Водоподъемная способность почв разного гранулометрического состава**

Гранулометрический состав	Водоподъемная способность, м	Гранулометрический состав	Водоподъемная способность, м
Крупный песок	0,5	Суглинок средний	2,5–3,0
Средний песок	0,5–0,8	Суглинок тяжелый	3,0–3,5
Супесь	1,0–1,5	Глина тяжелая	4,0–6,0
Супесь пылеватая	1,5–2,0	Лессы	4,0–5,0

Чем почвы тяжелее и менее структурны, тем больше потенциальная высота подъема воды, а скорость подъема ее меньше. Так, в почвах при утяжелении их гранулометрического состава водоподъемная сила будет сначала расти до определенного предела, а затем она начнет уменьшаться. Объясняется это тем, что капиллярная вода передвигается не во всем объеме пор, а лишь в действующем их просвете.

При малом размере пор (1 мкм и менее) весь их внутренний просвет (или большая его часть) заполнен связанной пленочной водой и активные действующие поры либо совсем исчезают, либо просвет их становится настолько мал, что всасывающая сила мениска компенсируется силами трения движущейся капиллярной воды о стенки пленок жидкости, сорбированной почвой, и передвижение капиллярной воды, а, следовательно, и капиллярного подъема происходить не может. Вода в таких порах может передвигаться только как пленочная, т. е. очень медленно. На скорость подъема воды оказывает влияние также степень минерализации грунтовых вод. Высокоминерализованные воды характеризуются меньшей высотой и скоростью подъема, но близкое к поверхности залегание минерализованных грунтовых вод (1–1,5 м) создает опасность быстрого засоления почв.

Водные свойства, наряду с климатом, погодными условиями, типом экосистемы, определяют водный режим почв и, следовательно, их экологическую функцию – водоснабжение растений. Известно, что по отношению к воде все растения можно разделить на гигрофиты (обитающие в воде), гидрофиты (требующие увлажнения почвы), мезофиты (обитающие на почвах с достаточным увлажнением) и ксерофиты, произрастающие на сухих почвах. Именно в этих требованиях растений к воде скрыта основа глобальной зональности растений. Формирование разных климатических поясов с разным водным режимом почв приводит к произрастанию на этих почвах разных ассоциаций растений. Выделяют гумидный пояс (тундра и лесная зона умеренной зоны, тропические дождевые и муссонные леса, субальпийские и альпийские горные пояса, горно-лесной пояс), семиаридные зоны (степная и лесостепная, саванны в тропиках, леса и кустарниковые заросли средиземноморского типа: маквис, гаррига, чапараль, буш), аридные регионы (сухие степи, полупустыни и пустыни).

Именно влажность почвы определяет разное распределение растений в пределах катены, по микрорельефу, в поймах и на плакоре (водоразделе). В пределах одного ландшафта распределение растений связано прежде всего с водным режимом почв – одной из главных их характеристик.

1.2.3. Поведение и состояние воды в почве.

Потенциал почвенной воды. Поведение воды в почве, ее физическое состояние, передвижение в профиле по вертикали и горизонтали, ее доступность растениям, вообще говоря, подчиняются очень сложным закономерностям стохастического (вероятностного) характера и могут быть описаны в терминах различных методологических подходов: *водобалансового* – изменения водозапасов почвы и приходорасходных статей водного баланса; *гидродинамического* – скорости и плотности водных потоков в почве; *термодинамического* – изменения термодинамических потенциалов почвенной воды.

Первый из указанных подходов наиболее широко используется в почвоведении и является традиционным в почвенных исследованиях, основан на периодических измерениях почвенной влажности; второй больше всего принят в почвенно-мелиоративных работах, когда инженеры имеют дело с потоками подаваемой в почву или отводимой из почвы воды.

Термодинамический подход интенсивно разрабатывается в последнее время и сейчас рассматривается как наиболее перспективный и теоретически обоснованный, поскольку он не только позволяет описывать состояние и поведение воды в почве в данный момент времени в наиболее обобщенном виде на базе фундаментальной физической теории, рассматривая весь водообмен природных экосистем в единых терминах, но и допускает количественный прогноз водообменных процессов, что особенно важно для суждений о водообеспеченности и водопотреблении растений. На основе этого подхода возможно автоматизированное управление водным режимом почв в условиях искусственного увлажнения (орошения) или осушения (дренажа). Существование термодинамического подхода сводится к использованию понятий полного и частных термодинамических потенциалов почвенной воды, поддающихся инструментальному измерению, т. е. количественной энергетической оценке сил взаимодействия между водой и вмещающей ее твердой фазой почвы.

Поскольку вода в почве находится под одновременным сложным воздействием нескольких силовых полей – адсорбционных, капиллярных, осмотических, гравитационных, – для характеристики их суммарного действия и оценки энергетического состояния воды в почве введено понятие термодинамического, или полного, потенциала почвенной воды.

Полный потенциал почвенной воды – это количество работы, Дж/кг, которую необходимо затратить, чтобы перенести единицу свободной чистой воды обратимо и изотермически из стандартного состояния S_0 в то состояние S_n , в котором она находится в рассматриваемой точке почвы. Иными словами, эта величина выражает способность воды в почве производить большую или меньшую работу по сравнению с чистой свободной водой. За стандартное состояние S_0 при этом принимается резервуар с чистой (без солей, т. е. с нулевым

осмотическим давлением) свободной (то есть не подверженной влиянию адсорбционных и капиллярных сил) водой при температуре T_0 , высоте h_0 и давлении P_0 . Потенциал почвенной воды – величина отрицательная, поскольку необходима работа (положительного знака) по его преодолению. Вместо понятия «потенциал» в почвоведении принято использовать понятие «давление почвенной воды», которое измеряется в паскалях ($\text{Па} = \text{кг/с}^2\text{м}$).

Полный, или термодинамический, потенциал почвенной воды равен сумме частных потенциалов, связанных с разными силовыми полями, – адсорбционного; капиллярного; осмотического; гравитационного; тензиометрического давления.

Потенциал или давление почвенной воды в сильной степени зависит от водосодержания почвы, причем каждая почва в зависимости от своего гранулометрического, минералогического и химического состава и сложения имеет свою собственную характеристическую кривую зависимости давления почвенной воды от влажности почвы, которая получила название *кривой водоудерживания* и считается основной гидрофизической характеристикой почвы (рисунок 10).

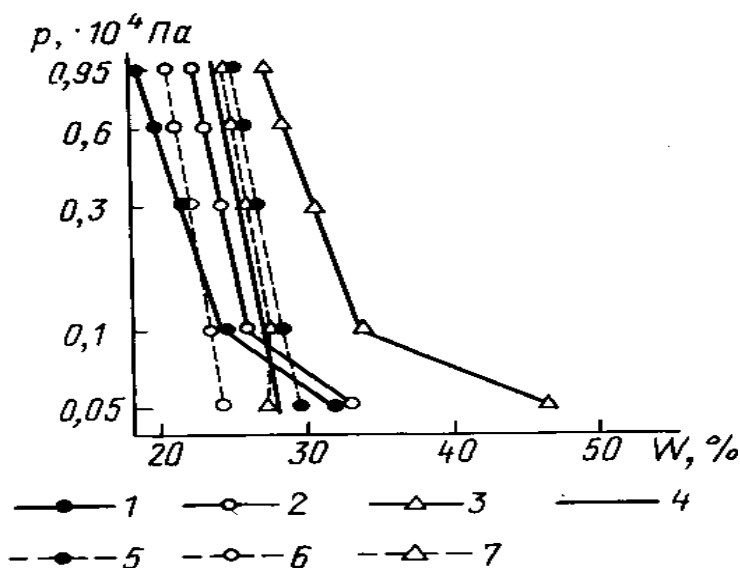


Рисунок 10 – Зависимость давления почвенной воды (P) от влажности (W) почвы (Зайдельман, 1983): 1 – горизонт А_р неоглеенной; 2 – глеватой; 3 – глево-дерново-подзолистых почв; 4 – горизонт В₁ неоглеенной; 6 – глеватой; 7 – глево-дерново-подзолистых почв

Чем меньше воды в почве, тем сильнее она удерживается твердой фазой, тем ниже ее потенциал (больше абсолютное значение отрицательного давления). Кривые водоудерживания показывают очень быстрый рост водного потенциала от крайне низких отрицательных значений давления вплоть до нуля в полностью насыщенной водой почве.

Наименьший полный потенциал почвенной влаги (наибольшее абсолютное значение отрицательного давления порядка (2–5) 10^8 Па) отмечается для моно-(би)молекулярных слоев адсорбированной воды (прочно связанная вода, «нерастворяющийся объем» – часть гигроскопической воды). При давлении почвенной воды ниже 10^7 Па вода в почве практически полностью

представлена двойным электрическим слоем мономолекулярной или бимолекулярной толщины, а количество адсорбированной воды определяется удельной поверхностью почвенных частиц при слабой роли обменных катионов.

Невыравненность потенциалов почвенной воды в разных точках является непосредственной причиной движения воды в почвах: вода перемещается в сторону наиболее низкого потенциала, в общем случае из более влажных участков в более сухие.

Существует определенная связь почвенно-гидрологических констант с давлением почвенной воды. Например, наименьшей влагоемкости почвы соответствует давление от -10^4 до $-3 \cdot 10^4$ Па, а влажности завядания от $-6 \cdot 10^5$ до $-2,5 \cdot 10^6$ Па. В почве, насыщенной влагой и не содержащей солей, давление почвенной влаги равно нулю. При снижении влажности почвы оно приобретает все большие по абсолютной величине отрицательные значения. По мере иссушения у почвы появляется способность при соприкосновении с водой поглощать ее. Такая способность почв получила название сосущей силы почвы. Величина, характеризующая эту силу, получила название всасывающего давления почвы. Всасывающее давление (сосущая сила) почвы численно равно давлению почвенной воды, но выражается положительной величиной.

Всасывающее давление почвы измеряется при любых влажностях, начиная от полного насыщения почвы и кончая почти сухой почвой, специальными приборами. Чаще всего для этой цели используют тензиометры и капилляриметры. Выражается всасывающее давление, как и давление почвенной воды, в паскалях, атмосферах, сантиметрах водного столба или в барах ($1 \text{ Па} = 10^{-5} \text{ бар} = 9,87 \cdot 10^{-6} \text{ атм} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.} = 0,102 \text{ мм вод. ст.}$).

Всасывающее давление сухой почвы приближается к 10^7 см вод. ст., или 10^9 Па. Оперировать с величинами такого порядка неудобно и Скофилд (1935) предложил выражать всасывающее давление почвы не числом сантиметров водного столба, а десятичным логарифмом этого числа rF . Тогда у почвы, почти полностью насыщенной пресной влагой, при давлении, равном 10^3 Па, $rF=1$, давлению в 10^5 Па будет соответствовать $rF=3$, а в сухой почве, когда давление приближается к 10^9 Па, rF приближается к своему верхнему пределу, равному 7. Между значениями влажности, подвижности и доступности почвенной влаги для растений и всасывающим давлением существует довольно тесная зависимость. В настоящее время считают, что определенным водно-физическим характеристикам и формам воды соответствуют следующие значения rF : максимальная гигроскопическая вода – 4,5; влажность завядания – 4,2; наименьшая влагоемкость для почв: глинистых – 3,0; среднесуглинистых – 2,5; песчаных – 2,0; вода прочносвязанная – 5,0–7,0; вода капиллярная связанная – 3,5–5,0; свободная – 1,75–3,50; вода гравитационная – менее 1,75.

Оценка физического состояния почвенной воды по потенциалу или по всасывающему давлению является более правильной, нежели по абсолютному содержанию воды. Обусловлено это тем, что по значениям rF можно произвести объективную сравнительную качественную оценку состояния воды в почве с различными физико-механическими и водно-физическими свойствами. Почвы, обладающие одинаковыми rF , можно считать эквивалентно влажными, т. е.

близкими по содержанию воды той или иной категории физиологической доступности, хотя абсолютное содержание воды в почве может быть различным.

В связи с вышеизложенным константы – достаточно условная категория в почвенной гидрологии, унаследованная от тех времен, когда энергетической характеристики почвенной воды еще не применяли. Для понимания поведения воды в почве, ее доступности для растений достаточно использовать энергетическую концепцию. Так, потенциал влаги завядания для злаков (пшеница, ячмень, рожь) в среднем равен 1500 кПа, для таких пород деревьев, как ель, сосна, дуб, береза, осина – 2400 кПа. Энергетическое состояние воды в почве позволяет быстро оценить водный режим растений. Потребление растениями воды из почвы определяется их сосущей силой. Сосущая сила зависит от осмотического давления в клетках растения за вычетом тургорного давления, которое препятствует поступлению воды в клетку. Осмотическое давление в клетках корней достигает 1000 кПа, а в листьях – 4000 и даже 6000 кПа в листьях ясеня зеленого на каштаноземах. Именно разница в потенциале воды в почве и растении определяет поступление воды в растение из почвы. Так, на каштаноземах Уральской области в слое 0–50 см потенциал почвенной воды был равен –1500 кПа, в слое 50–100 см (–500) – (–1000) кПа, в слое 100–150 см (–200) – (–500) кПа, в слое ниже 150 см – 200 кПа. У тополя потенциал воды в листьях равен –2400–3200 кПа, в лубе ствола –1800–2600 кПа, в корнях – 1600–900 кПа.

Таким образом, в листьях потенциал воды всегда меньше потенциала корней, что определяет постоянное движение воды от корней к листьям. В засушливых почвах физическое испарение может привести к тому, что водный потенциал почвы будет намного меньше потенциала корня, и потребление воды из почвы станет невозможным. Большинство культурных растений перестают брать воду из почвы, если необходимо затратить работу более 1,5 кДж/кг воды, деревья – 2,5 кДж/кг. Чем больше энергии тратится на добывание воды, тем ниже урожай. Оптимальный расход энергии на доставку воды – 100 Дж/кг, он фиксируется при влажности почвы, близкой к НВ.

1.2.4. Доступность почвенной воды для растений

Доступность различных форм почвенной воды растениям является исключительно важной характеристикой, определяющей в значительной степени плодородие почв. Растения в процессе жизни потребляют очень большое количество воды, расходуя главную ее массу на транспирацию и лишь небольшую долю на создание биомассы.

Расход воды из почвы растениями характеризуется двумя показателями: во-первых, транспирационным коэффициентом – отношением количества воды, израсходованной растением, к общему приросту сухого вещества за определенный промежуток времени; во-вторых, *относительной транспирацией* – отношением фактической транспирации при данной водообеспеченности к потенциальной транспирации при свободном доступе воды. Для большинства культурных растений транспирационный коэффициент (при потенциальной, т. е. обеспеченной свободным доступом воды транспирации) колеблется в пределах 400–600, достигая иногда 1000; т. е. на создание 1 т сухого органического

вещества биомассы расходуется 400–600 т и более воды из почвы (при условии наличия доступной воды в почве).

Доступность почвенной воды растениям определяется в основном двумя гидрофизическими характеристиками почвы: потенциалом (давлением) почвенной воды и способностью почвы проводить поток воды, т. е. коэффициентом влагопроводности. Интенсивность потока влаги к корням растений (а это и есть количественное выражение доступности воды) будет тем больше, чем больше разность потенциалов воды в корне и почве и чем выше коэффициент влагопроводности.

По отношению к доступности растениям почвенная вода может быть подразделена на следующие категории (по А. А. Роде).

1. Недоступная для растений. Это вся прочносвязанная вода, составляющая в почве так называемый мертвый запас воды. Недоступность этой воды объясняется тем, что всасывающая сила корней намного меньше сил, которые удерживают эту воду на поверхности почвенных частиц, иначе говоря, всасывающего давления почвенной воды. Мертвый запас воды в почвах соответствует приблизительно максимальной адсорбционной влагоемкости или немного превышает ее.

2. Весьма труднодоступная для растений. Эта категория представлена в основном рыхлосвязанной (пленочной) водой. Трудная доступность ее обусловлена низкой подвижностью этой воды (низким коэффициентом влагопроводности), в силу чего вода не успевает подтекать к точкам ее потребления, т. е. к корневым волоскам. Количество весьма труднодоступной воды в почвах характеризуется диапазоном влажности от максимальной адсорбционной влагоемкости до влажности завядания. Содержание воды в почве, соответствующее влажности завядания, является нижним пределом продуктивной влаги.

3. Труднодоступная вода лежит в пределах между влажностью завядания и влажностью разрыва капилляров. В этом интервале влажности растения могут существовать, но продуктивность их снижается. Уменьшение доступности воды отражается в первую очередь не на внешнем состоянии растений (завядание), а на снижении их продуктивности.

4. Среднедоступная вода отвечает диапазону влажности от влажности разрыва капилляров до наименьшей влагоемкости. В этом интервале вода обладает значительной подвижностью, и растения поэтому могут бесперебойно снабжаться ею. Продуктивность растений высока только при наличии достаточного количества среднедоступной влаги, являющейся наиболее экологически ценной.

5. Легкодоступная вода соответствует диапазону влажности от наименьшей до полной влагоемкости. Она является излишне подвижной, чрезмерной, так как ее наличие ведет к недостатку воздуха и негативно сказывается на росте растений. Это – диапазон подвижной влаги.

Диапазон продуктивной (доступной) влаги (ДАВ) представляет собой сумму трудно- и среднедоступной влаги. Он различен для разных почв, в песчаных почвах он может достигать 6–8%, а в суглинистых – 12–17%. Поэтому говорят, что суглинистые почвы содержат больше продуктивной влаги, чем песчаные.

Тяжелосуглинистые почвы будут содержать большее количество влаги, чем средне- и легкосуглинистые. А вот в глинах, и тем более в тяжелых глинах, доступной влаги может быть меньше, чем в средне- и тяжелосуглинистых почвах: в глинах стремительно возрастает количество связанной воды, больше увеличивается ВЗ, чем растет НВ активной влаги.

1.2.5. Водный режим почв, его типы и регулирование

Водным режимом называют всю совокупность явлений поступления влаги в почву, ее передвижения, удержания в почвенных горизонтах и расхода из почвы. Водный режим почв характеризует поступление воды в почву и расход ее из почвы на отток в грунтовые воды или другие элементы рельефа, на испарение и транспирацию. Последние два явления объединяют часто единым термином суммарное испарение (эвапотранспирация) – в связи с трудностью определения их по отдельности. Обычно водный режим характеризуют следующими параметрами: режим влажности (изменение содержания воды в почве в зависимости от погодных условий и воздействия растений) и водный баланс почв (оценка прихода и расхода воды в почвах в годовом цикле). В последнее время к этим известным параметрам прибавили характеристику гидрологического профиля и гидрологических горизонтов почв. Водный режим важен для понимания генезиса почв, их экологических функций, которые проявляются в поддержании определенного растительного покрова.

Водный баланс, характеризующий приход воды в почву и расход из нее количественно выражается формулой:

$$V_0 + V_{ос} + V_{гр} + V_{к} + V_{пр} + V_{бок} = V_1 + V_{с} + V_{и} + V_{п} + E_{исп} + E_{тр}$$

где V_0 – запас влаги в почве в начале наблюдений; $V_{ос}$ – сумма осадков за период наблюдений; $V_{гр}$ – количество поступившей из грунтовых вод влаги; $V_{к}$ – количество конденсирующейся влаги; $V_{пр}$ – поверхностный приток влаги; $V_{бок}$ – боковой приток почвенно-грунтовых вод; V_1 – количество влаги в почве в конце наблюдений; $V_{с}$ – количество влаги бокового стока; $V_{и}$ – количество инфильтрировавшейся влаги; $V_{п}$ – количество влаги поверхностного стока; $E_{исп}$ – количество испарившейся влаги; $E_{тр}$ – количество влаги на транспирацию (десукция); левая часть уравнения – приходные статьи, правая – расходные.

В большинстве случаев прогрессирующего иссушения или увлажнения территории не происходит и уравнение водного баланса равно нулю. Водный баланс характеризуется годовыми циклами с повторяющимися процессами поступления и расхода влаги. Отметая слабые и компенсирующие составляющие баланса можно записать уравнение приближенно:

$$V_0 + V_{ос} + V_{гр} + V_{пр} = V_1 + V_{и} + V_{п} + E_{исп} + E_{тр}$$

В естественных почвах водный баланс в многолетнем цикле компенсированный, т.е. расход и приход воды в годовом отрезке времени в среднем равны. Он не компенсирован лишь в ряде поливных почв, где вода может поступать в грунтовые воды и увеличивать их мощность и запас воды в почвенно-грунтовой толще, и при направленном изменении климата.

Водный баланс существенно зависит от характера растительности.

Л.О. Карпачевский приводит такое уравнение баланса для ельника мшистого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: 755 (осадки) = 323 (отток за пределы метрового профиля) + 88 (эвапотранспирация) + 88 (увлажнение почв после летнего иссушения до НВ) + 236 (задержано пологом растений, потеря на смачивание деревьев и мохового яруса).

Очевидно, роль растений в водном режиме почв достаточно велика и определяется их транспирационной способностью. Последняя весьма различна не только у разных видов растений, но и у одного вида, но в разных условиях (таблица 19).

Таблица 19 – Средняя интенсивность транспирации отдельными растениями (по данным Н.И. Бейдеман) цит. по Л.О. Карпачевскому.

Название растения	Средняя транспирация, г/(г.ц)	Средняя масса листьев, ц/га	Расход за вегетацию, мм
лишайник (<i>Cladina</i> spp.)	0,5–0,7	4–8	9–18
мхи, разные виды	0,4–0,8	4–126	8–246
береза (<i>Betula nana</i>)	0,5–0,7	2–9	10–29
береза (<i>Betula pubescens</i>)	0,4–0,6	30–40	74–190
осока (<i>Carex</i> spp.)	0,2–0,4	0,1–7	2–29
лиственница (<i>Larix</i> spp.)	0,2–0,4	10–26	27–760
багульник (<i>Ledum</i> spp.)	0,2–0,5	0,01–0,3	1–4
ель (<i>Picea abies</i>)	0,1	100–400	42–300
черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	0,4	3	7
голубика (<i>V. uliginosum</i>)	0,3–0,7	3–6	7–62
пихта (<i>Abies</i> spp.)	0,2–0,3	27–100	33–180
береза (<i>Betula fusca</i>)	0,6	11–21	18–90
береза (<i>B. pendula</i>)	0,3	2–12	5–15
кедр стланник (<i>Pinus pumila</i>)	0,2–0,3	23–195	21–314
сосна (<i>P. sylvestris</i>)	0,1	40–100	54–194
рододендрон (<i>Rhododendron</i> spp.)	0,3–0,7	3–4	7–15
клены (spp.)	0,3–0,4	0,5	2–28
бук (<i>Fagus sylvatica</i>)	0,1–0,4	1–17	7–55
дуб (spp.)	0,2–0,4	15–140	10–87
липа (<i>Tilia</i> spp.)	0,2–0,4	2–9	5–32
орешник (<i>Coryles avellana</i>)	0,3–0,5	4–17	15–63
пырей (<i>Agropyron</i> spp.)	0,3–0,6	1–8	2–45
полыни (<i>Artemisia</i> spp.)	0,3–1,4	1–17	2–245
свиной (Cynodon dactylon)	0,8–1,4	1–6	121–219
типчак (<i>Festuca</i> spp.)	0,5–1,1	1–8	5–47
саксаул (<i>Haloxylon</i> spp.)	0,6–4,9	2–15	43–202
ковыль (<i>Stipa</i> spp.)	0,3–1,1	1–8	1–41

Транспирация также определяется массой листвы (хвои). Поэтому хвойные породы расходуют воды больше, чем лиственные. Северные виды также транспирируют больше воды, чем южные. Очень много испаряют мхи, что экологически необходимо, учитывая места их обитания, которые часто переувлажнены.

Таким образом, водный баланс характеризует главную черту водного режима почв, его цикличность, и общий объем воды, проходящий через почву в данных условиях. Любой запас влаги, существующий в данной почве, восстанавливается через определенное время, в пределах которого расход и приход воды в конечном итоге уравнивается. Поэтому оценка водного режима почв по балансу влаги не может служить достоверной его характеристикой. Она говорит лишь об объеме

воды, прошедшей через почву в течение гидрологического года. Количество воды, идущее на водоснабжение растений в лесной зоне сравнительно невелико – 80–120 мм в зависимости от типа парцеллы (экосистемы).

Водный баланс может быть составлен применительно к разным почвенным слоям, всей толще почвы или доопределенной глубины. Чаще всего запасы влаги, статьи расхода и прихода выражают в мм водного слоя или в м³/га. Содержание влаги вычисляют отдельно для каждого генетического горизонта, так как влажность и плотность сильно меняются по различным слоям почвенного профиля. Запасы воды в отдельном горизонте определяют по формуле

$$B = a * OM * H$$

где a – полевая влажность, %;

OM – объемная масса (плотность); H – мощность горизонта, см

Для пересчета запасов воды, вычисленных в м³/га, в миллиметры водного слоя надо ввести коэффициент 0,1.

Запасы воды в почве, которые учитываются в течение всего вегетационного периода, позволяют судить об обеспеченности культурных растений влагой. В агрономической практике полезно учитывать общий и полезный запасы воды. Общий запас воды – суммарное количество на заданную мощность почвы, выражается уравнением

$$OЗВ = a_1 * OM_1 * H_1 + a_2 * OM_2 * H_2 + a_3 * OM_3 * H_3 + \dots + a_n * OM_n * H_n$$

Полезный запас воды в почве – суммарное количество продуктивной, или доступной для растений влаги в толще почвогрунта. Чтобы рассчитать полезный запас влаги в почве, нужно вычислить общий запас влаги и запас труднодоступной влаги, который рассчитывается аналогично предыдущей формуле, но вместо полевой влажности берется влажность устойчивого завядания растений. Разность дает количество полезной влаги в почве.

$$ПЗВ = OЗВ - ЗТВ$$

Для слоя 0–20 см запасы более 40 мм считаются хорошими, 20–40 (10–30 по В.В. Медведеву) – удовлетворительными, менее 20 – неудовлетворительными. Для слоя 0–100 см запасы более 160 мм считаются очень хорошими, 130–160 – хорошими, 90–130 – удовлетворительными, 60–90 – плохими, менее 20 – очень плохими.

Типы водного режима. Водный баланс складывается неодинаково для различных почвенно-климатических зон и отдельных участков местности. В зависимости от соотношения основных статей годового баланса может быть несколько типов водного режима.

Практически характер водного режима определяют по соотношению средних осадков и испаряемости. Испаряемость – наибольшее количество влаги, которое может испариться с открытой водной поверхности или с поверхности постоянно переувлажненной почвы в данных климатических условиях (мм). Отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости именуют коэффициент увлажнения (КУ). Он колеблется от 0,1 до 3 в различных природных зонах.

Тип водного режима определяет особенности перемещения веществ в почве, степень разрушения минералов и обломков горных пород в почвах, самосохранение определенных типов минералов. Так, почвы с промывным типом водного режима отмыты в большинстве случаев от растворимых солей и карбонатов. На Русской и Американской равнинах прослеживается закономерность снижения глубины залегания карбонатов на 30 см при повышении суммы годовых осадков на 100 мм. Напротив, выпотные почвы, как правило, оглеены и могут быть обогащены растворимыми солями. При этом состав солей определяется типом водного режима плакоров (водоразделов и пологих склонов). В аридной зоне – это хлориды, сульфаты и карбонаты кальция, натрия, магния, в гумидной – карбонаты кальция, соединения железа.

Водный режим определяет содержание воды в почве в течение года и отдельных его периодов, ее движение в системе грунтовые воды-почва-растение-атмосфера, на рост растений.

С водным режимом связаны химический состав почв, их кислотность. Так, наиболее вероятны значения рН для верхних горизонтов (А, В) почв, обладающих промывным водным режимом, – менее 6.

Водный режим определяет судьбу загрязненных почв. Промывной режим может постепенно привести к самоочищению почв, в условиях непромывного режима загрязнение становится постоянным фактором.

Г.Н. Высоцкий выделял 4 типа водного режима, А.А. Роде развил его учение, выделив 6 типов, и эта классификация представляется нам наиболее удачной, хотя у ряда авторов можно встретить иные классификации – вплоть до 14 типов.

1. Мерзлотный тип. Имеет место в районах распространения вечной мерзлоты. Мерзлый слой грунта, являясь водоупором, обуславливает наличие надмерзлотной верховодки, поэтому верхняя часть оттаявшей почвы в течение вегетационного периода насыщена водой. Почва оттаивает на глубину 1–4 м. Годовой водооборот охватывает лишь почвенный слой.

2. Промывной тип ($KУ > 1$). Характерен для местностей, где сумма годовых осадков больше величины испаряемости. В годовом цикле водооборота нисходящие токи преобладают над восходящими. Почвенная толща ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод, что приводит к интенсивному выщелачиванию продуктов почвообразования. Годовой влагооборот охватывает всю почвенную толщу. В более засушливых регионах он имеет место лишь при легком гранулометрическом составе. В таких условиях формируются подзолы, акрисоли, алисоли. Болотный подтип водного режима развивается при близком к поверхности залегании грунтовых вод, либо слабой водопроницаемости почвообразующих пород.

3. Периодически промывной тип ($KУ = 0,8–1,2$; в среднем 1) характеризуется средней многолетней сбалансированностью осадков и испаряемости. Годовой влагооборот охватывает только почвенную толщу (непромывные условия) в сухой год и весь слой до грунтовых вод (промывные условия) во влажный год. Промывание бывает раз в несколько лет. Такой водный режим характерен для фазоземов, некоторых лювисолей.

4. Непромывной тип водного режима (KU менее 1) свойственен местностям, где влага осадков распределяется только в верхних горизонтах и не достигает грунтовых вод. Связь между атмосферной и грунтовой водой осуществляется через слой с очень низкой влажностью, близкой к ВЗ (мертвый слой). Обмен влагой происходит путем передвижения воды в форме пара. Такой водный режим характерен для степных почв – черноземов и каштаноземов, кальцисолей, дурисолей, гипсисолей. В указанном ряду почв уменьшается количество осадков и растет испаряемость. Коэффициент увлажнения уменьшается от 0,6 до 0,1. Годовым влагооборотом охвачена толща почвогрунтов от 4 м в степях до 1 м в пустынях. Запасы влаги, накопленные в степных почвах к весне за счет позднеосенних осадков и талой воды, интенсивно расходуются на транспирацию и физическое испарение, становясь к осени ничтожными. В полупустынной и пустынной областях без орошения земледелие невозможно. Расход влаги идет преимущественно на транспирацию, поэтому преобладают нисходящие токи влаги. Вся инфильтрующаяся влага возвращается в атмосферу.

5. Выпотной (десуктивно-выпотной) тип водного режима (KU менее 1) проявляется в степной, особенно полупустынной и пустынной зонах при близком залегании грунтовых вод. Характерно преобладание восходящих потоков влаги в почве за счет ее подтока по капиллярам от грунтовых вод. Верхняя часть капиллярной каймы входит в почвенный слой. Почвенно-грунтовые воды аллохтонные, т.е. имеющие дополнительное грунтовое питание. Годовой водооборот охватывает всю почвенно-грунтовую толщу. При высокой минерализации грунтовых вод в почву попадают легкорастворимые соли и почва засоляется. Выпотной тип водного режима проявляется и в некоторых районах Беларуси, преимущественно на Полесье. Собственно выпотной тип водного режима наблюдается при очень близком, в пределах почвенного профиля, залегании грунтовых вод. Верхняя граница капиллярной каймы выходит на дневную поверхность. В этом случае преобладает не транспирация, а физическое испарение.

6. Ирригационный тип создается при дополнительном увлажнении почвы оросительными водами. При орошении в разные периоды проявляются разные типы водного режима. В период полива имеет место промывной тип, сменяющийся непромывным и даже выпотным, то есть в почве периодически преобладают то восходящие, то нисходящие потоки влаги.

Несколько типов почв характеризуются одним типом водного режима. Так, подзолы, ретисоли, камбисоли, акрисоли, алисоли обладают промывным водным режимом. Файоземы, частично черноземы, лувисоли, – периодически промывным. Кальцисоли, каштаноземы, гипсисоли, дюрисоли, многие ареносоли относятся по типу водного режима к непромывным. Гистисоли и солончаки характеризуются выпотным типом водного режима. Некоторые почвы (глейсоли, частично солончаки) относятся к десуктивно-выпотным. Очевидно, что связь типа водного режима в понимании Высоцкого-Роде и генезиса почв отмечается на более высоком таксономическом уровне, чем тип почв, скорее на уровне больших групп почв. Но бесспорно, что тип водного режима определяет особенности перемещения веществ в почве, степень разрушения минералов и обломков горных пород в почвах, само

сохранение определенных типов минералов. Так, почвы с промывным типом водного режима отмыты в большинстве случаев от растворимых солей и карбонатов. На Русской и Американской равнинах прослеживается закономерность снижения глубины залегания карбонатов на 30 см при повышении суммы годовых осадков на 100 мм. Напротив, выпотные почвы, как правило, оглеены и могут быть обогащены растворимыми солями. При этом состав солей определяется типом водного режима плакоров (водоразделов и пологих склонов). В аридной зоне – это хлориды, сульфаты и карбонаты кальция, натрия, магния, в гумидной – карбонаты кальция, соединения железа.

Водный режим определяет содержание воды в почве в течение года и отдельных его периодов, ее движение в системе грунтовые воды-почва-растение-атмосфера. Водный режим влияет на рост растений (обычно в сельскохозяйственном производстве на 1 т продукции затрачивается 1000 т и более воды).

С водным режимом связаны химический состав почв, их кислотность. Так, наиболее вероятные значения рН для верхних горизонтов (А, В) почв, обладающих промывным водным режимом, – менее 6.

Водный режим определяет судьбу загрязненных почв. Промывной режим может постепенно привести к самоочищению почв, в условиях непромывного режима загрязнение становится постоянным фактором.

В дерново-подзолистых и подзолистых почвах КУ обычно 1,2–1,4; режим промывной, в апреле-июле КУ менее 1. Под культурными растениями, особенно многолетними травами, мощность слоя летнего иссушения – до 1м, а зерновые используют влагу до 0,6–0,7м, поэтому в 6–10 % случаев бывают засухи, а 1 раз в 3 года на дерново-подзолистых почвах бывает недостаточное обеспечение растений влагой.

Особую классификацию почв и горизонтов по водному режиму используют американские ученые. Они выделяют сухие почвы (горизонты), с потенциалом ниже -1500 кПа, и влажные, с потенциалом выше -1500 кПа (но ниже 0). При потенциале 0 условия характеризуют как аквик, когда почвы постоянно или периодически насыщены водой. Выделяют три типа насыщения почв водой: эндонасыщение – почва насыщена от поверхности до 200 см или более. Эпинасыщение – почва насыщена в нескольких слоях в пределах 200 см, но есть ненасыщенные прослойки. Антропогенное насыщение – почвы рисовников, плантации клюквы, где используют поверхностное затопление.

Классы водных режимов оценивают по наличию влажных и сухих слоев почвы (с потенциалом $>$ и $<$ -1500 кПа). Оценивают поведение воды в контрольной почвенной толще, верхнюю границу которой определяют по увлажнению сухой почвы слоем воды в 25 мм в течение 24-х часов, а нижнюю – по глубине впитывания 75 мм воды за 48 часов.

Аквик – почва насыщена грунтовой водой (и водой капиллярной каймы). В случае, если насыщение водой всегда близко к поверхности (почвы маршей, замкнутых депрессий), водный режим относят к классу пераквик.

Термины аридик и торрик используют для обозначения одного и того же типа водного режима, но на разных таксономических уровнях классификации почв. Аридик (и торрик) характеризуется тем, что гидрологическая толща почвы в

течение не менее 60% лет сухая в более чем половине из общего числа дней года, когда температура почвы на глубине 50 см выше 5°C и влажная в течение 90 дней и менее при температуре почвы выше 8°C.

Водный режим удик характерен для почвенной гидрологической толщи, которая в течение более 60% лет 90 дней не является сухой. Когда водный потенциал почвы контрольной толщи редко достигает – 100 кПа, водный режим относят к классу перудик (красноземы).

Водный режим устик – промежуточный между удик и аридик. При среднегодовой температуре 22°C почва контрольной толщи может быть сухой не более 90 дней, а увлажненной – 180 дней в году (или подряд 90 дней), при средней температуре меньше 22°C почва должна быть увлажнена в 60 % лет не менее 45 дней подряд (таблица 20).

Таблица 20 –Классы увлажнения гидрологической толщи в американской классификации (в 60 % лет).

Класс водного режима	% дней с влажностью		
	<-1500кПа	>-1500кПа	-0 кПа
аридик (торрик)	75 <25	<25 >50	~0
устик	<25	>75 100	~0
удик	0	100 100	50
перудик	0		50 >75
аквик	0		100

Водный режим ксерик – водный режим хромик камбисолей (коричневых почв средиземноморского типа). В течение 60 % лет контрольный слой почвы остается сухим не менее 45 дней подряд в период после летнего солнцестояния и не менее 45 дней влажным после зимнего солнцестояния. Как видно из этого краткого изложения, американские почвоведы тоже использовали концепцию гидрологического горизонта, отнеся ее к почвенной контрольной толще. Привлекает в этой классификации использование потенциала почвенной влаги, вероятности иссушения и увлажнения почв и продолжительности этих периодов. При этом водный режим опирается на температурный режим почвы.

Регулирование водного режима – обязательное мероприятие в районах интенсивного земледелия. При этом осуществляется комплекс приемов, направленных на устранение неблагоприятных условий водоснабжения растений. Искусственно меняя приходные и расходные статьи водного баланса, можно существенно влиять на общие о полезные запасы воды в почвах и этим способствовать получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Регулирование водного режима основывается на учете климатических и почвенных условий, а также потребностей выращиваемых культур в воде. Для создания оптимальных условий роста и развития растений необходимо стремиться к уравниванию количества влаги, поступающей в почву, с ее расходом на транспирацию и физическое испарение, то есть созданию коэффициента увлажнения, близкого к 1.

В конкретных почвенно-климатических условиях способы регулирования водного режима имеют свои особенности. Улучшению водного режима слабодренированных территорий зоны достаточного и избыточного увлажнения

способствуют планировка поверхности почвы и нивелировка микро- и мезопонижений, в которых весной и летом может наблюдаться длительный застой влаги.

На почвах с временным избыточным увлажнением для удаления избытка влаги целесообразно с осени делать гребни. Высокие гребни способствуют увеличению физического испарения, а по бороздам происходит поверхностный сток воды за пределы поля.

Болотные и минеральные заболоченные нуждаются в осушительных мелиорациях – устройстве закрытого дренажа и (или) отводе избыточной влаги с помощью открытой сети.

Регулирование водного режима почв во влажной зоне с большим количеством годовых осадков не ограничивается осушительной направленностью. В ряде случаев даже на дерново-подзолистых почвах летом возникает недостаток влаги и потребность в дополнительном количестве воды. Эффективное средство улучшения влагообеспеченности растений – двустороннее регулирование влаги, когда избыток влаги отводится с полей по дренажным трубам, а при необходимости подается на поля по тем же трубам. Все приемы окультуривания почвы (создание глубокого пахотного слоя, улучшение структурного состояния, увеличение общей пористости, подпахотное рыхление) повышают ее влагоемкость и способствуют накоплению и сохранению продуктивных запасов влаги в корнеобитаемом слое.

В зоне неустойчивого увлажнения и засушливых районах регулирование водного режима направлено на максимальное накопление влаги в почве и на рациональное ее использование. Один из наиболее распространенных способов – влагозадержание снега и талых вод. Для этого используют стерню, кулисные растения, валы из снега. Для уменьшения поверхностного стока воды применяют зяблевую вспашку поперек склонов, обваловывание, прерывистое бороздование, щелевание, полосное размещение культур, ячеистую обработку почвы и др.

Исключительная роль в накоплении почвенной влаги принадлежит полезащитным лесным полосам. Предохраняя снег от сдувания в зимнее время, они способствуют увеличению запасов влаги в метровом слое почвы к началу вегетационного периода на 50–80 мм и до 120 мм в отдельные годы. Под влиянием лесных полос сокращается непродуктивное испарение влаги с поверхности почвы, что также улучшает водообеспеченность полей. Наиболее эффективны ажурные и продувные лесные полосы.

Большое значение в улучшении водного режима почв имеет введение чистых паров, особенно черных. Наибольший эффект чистого пара как агротехнического приема накопления влаги, проявляется в степной зоне.

Накоплению и сохранению влаги в почве способствуют многие агротехнические приемы. Поверхностное рыхление почвы весной или закрытие влаги боронованием позволяет избежать ненужных потерь ее в результате физического испарения. Послепосевное прикатывание почвы изменяет плотность поверхностного слоя пахотного горизонта по сравнению с остальной его массой. Создавшаяся разность плотностей почвы вызывает капиллярный подток влаги из нижележащего слоя и способствует конденсации водяных паров почвенного воздуха. В сочетании с увеличением контакта семян с почвенными

частицами, все явления, связанные с прикатыванием, усиливают прорастание семян и обеспечивают потребность растений в воде ранней весной. Применение органических и минеральных удобрений способствует более экономному расходованию почвенной влаги. В овощеводстве для сохранения влаги широко используют мульчирующие материалы.

В пустынной и полупустынной зонах основной способ улучшения водного режима – орошение. Очень важным вопросом здесь является борьба с непродуктивным расходом почвенной влаги в целях предотвращения вторичного засоления.

В целом водные свойства, наряду с климатом, погодными условиями, типом экосистемы, определяют водный режим почв и, следовательно, их экологическую функцию – водоснабжение растений. Известно, что по отношению к воде все растения можно разделить на гидрофиты (обитающие в воде), гигрофиты (требующие увлажнения почвы), мезофиты (обитающие на почвах с достаточным увлажнением) и ксерофиты (произрастающие на сухих почвах). Именно в этих требованиях растений к воде скрыта основа глобальной зональности растений. Формирование разных климатических поясов с разным водным режимом почв приводит к произрастанию на этих почвах разных ассоциаций растений – гумидных, семиаридных, аридных.

Именно влажность почвы определяет разное распределение растений в пределах катены, по микрорельефу, в поймах и на плакоре (водоразделе). В пределах одного ландшафта распределение растений связано прежде всего с водным режимом почв – одной из главных их характеристик. В таблице 21 приведены характерные гидрофизические свойства почв различного гранулометрического состава.

Таблица 21 – Характерные гидрофизические и физические свойства почв разного гранулометрического состава (в скобках наиболее вероятный диапазон колебаний).

	Песок	Супесь	Суглинок легкий	Суглинок средний	Суглинок тяжелый	Глина
Порозность, % объема	37 (32–41)	43 (40–46)	47 (43–51)	49 (47–51)	51 (49–53)	53 (51–55)
Плотность, г/см ³	1,65 (1,5–1,7)	1,5 (1,4–1,6)	1,4 (1,3–1,5)	1,35 (1,3–1,5)	1,3 (1,2–1,5)	1,25 (1,2– 1,4)
НВ (ППВ), % к весу	5 (3–10)	14 (10–18)	22 (18–26)	27 (23–31)	30 (27–35)	35 (31–39)
ВРК, % к весу	4 (3–6)	7,5 (6–8,5)	13 (12–14,5)	18,5 (14–20)	21 (20–22)	25 (24–27)
ВЗ, % к весу	3,5 (2–6)	6 (4–8)	10 (8–12)	13 (11–15)	15 (13–17)	20 (18–24)
ДДВ, % к весу	3 (2–6)	8 (6–10)	12 (10–14)	14 (12–16)	16 (14–18)	15 (14–18)
Коэффициент фильтрации, см/сут	150 (80–200)	100 (50–150)	80 (40–120)	50 (30–70)	40 (20–70)	15 (2–30)

Роль воды в почве определяется ее особым двойственным положением в природе: с одной стороны, вода – это особая физико-химическая весьма активная система, обеспечивающая многие физические и химические процессы в природе,

с другой – это мощная транспортная геохимическая система, обеспечивающая перемещение веществ в пространстве. Воде принадлежит главенствующая роль в почвообразовании: процессы выветривания и новообразования минералов, гумусообразование и химические реакции совершаются только в водной среде; формирование генетических горизонтов почвенного профиля, динамика протекающих в почве процессов также связаны с водой. Вода в почве выступает и как терморегулирующий фактор, определяя в значительной степени тепловой баланс почвы и ее температурный режим. Исключительно велика ее роль в плодородии почвы, в обеспечении условий жизни растений, поскольку почва является главным, а во многих случаях и единственным источником воды для произрастающих на ней растений.

В почве вода может находиться в твердом, жидком, газообразном состоянии под воздействием гравитационных, капиллярных, сорбционных, осмотических сил и обладать разной степенью доступности для растений, наибольшее значение имеет капиллярная влага. В почве существуют граничные состояния влажности, означающие качественные изменения в состоянии и поведении почвенной воды – гидрологические константы. Ключевыми константами являются наименьшая (полевая) влагоемкость, характеризующая верхний предел оптимального диапазона влажности, и влажность завядания – нижний предел доступной для растений влаги.

Увлажненность почвы обычно оценивают по влажности, которая представляет собой вес влаги, соотнесенный с весом сухой почвы, но наиболее адекватно увлажненность отражает водный потенциал. Иными словами, одинаково влажными являются почвы не с одинаковой влажностью, а с одинаковым потенциалом (давлением), то есть растению нужно одинаковое усилие для извлечения воды из почвы.

В поведении почвенной воды можно выделить несколько характерных типов, наиболее распространены: промывной для зон с коэффициентом увлажнения больше единицы и непромывной либо выпотной в зонах с коэффициентом увлажнения меньше единицы. Особенности водного режима определяют характер приемов регулирования водного режима, в первую очередь гидротехнической мелиорации.

1.3. БИОЛОГИЯ ПОЧВ

1.3.1. Почва как среда обитания

Биогеоценоз – понятие, введенное В. Н. Сукачевым в 1940 г. – это «совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющих свою особую специфику взаимодействий слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и другими явлениями природы и, представляющая собой, внутренне противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии». Таким образом, биогеоценоз слагается из живой и неживой частей: биоценоза и биотопа. Границы наземных биогеоценозов определяются обычно по растительным

компонентам. В отличие от экосистемы биогеоценоз – понятие пространственно более определенное. Экосистемой может быть капля воды, лист растения с находящимися на нем микроорганизмами и т. п.

Почва – обязательный компонент всех наземных биогеоценозов, это основа, связывающая в единую функционирующую систему все остальные компоненты БГЦ. Как естественноисторическое биокосное тело почва обладает целым рядом свойств, которые можно разделить на две группы. К первой относятся признаки устойчивые, которые «записаны» в почвенном профиле и сохраняются после изъятия почвы из среды. Это свойства консервативные, сравнительно мало изменяющиеся во времени. Вторая группа – признаки динамические, связанные с режимами (температурный, водный, воздушный). Они определяются современными условиями и тесно связаны с экологией почвообитающих организмов.

С позиции экологии почвенных организмов почва – это их среда жизни, местообитание. Однако если для макроорганизмов почва предстает как целостная среда разной плотности сложения, для мезофауны – как система пор и пещер, заполненных водой (раствором) или воздухом, то для микроорганизмов почва представляет собой сложную, гетерогенную систему микросред с резко противоположными условиями даже в одном микролокусе. В любом, даже самом мелком, агрегате почвы на поверхности могут быть одни условия аэрации, влажности, рН, наличия доступных элементов питания, а внутри – совершенно иные. Поэтому усредненные показатели таких свойств почв, как содержание гумуса, рН, ОВП, имеют разное значение при изучении условий жизни в почве корневых систем растений, крупных и средних животных или микроорганизмов. В отличие от макрообитателей почв, среди микроскопических геобионтов в почве можно найти представителей разных жизненных форм – гидробионтов, аэробиионтов и обитателей твердой фазы.

Наиболее характерная особенность жизни микроорганизмов в почве – их адсорбция. Они закреплены на поверхности почвенных частиц, на органических остатках, на живых корнях растений. Это состояние иначе называют иммобилизацией. По отношению к общей поверхности почвы микроорганизмы занимают лишь сотые или десятые доли процента, они не составляют единой непрерывной пленки, а располагаются небольшими колониями в микроочагах. Колонии микроорганизмов обычно разобщены, и взаимодействие между ними осуществляется не в рамках всей почвенной системы, а в отдельных локусах.

Другой особенностью почвенного микронаселения можно считать то, что большая часть его представителей находится в почве в неактивном состоянии, в виде покоящихся спор, цист, хламидоспор, других анабиотических структур или вегетативных клеток в стадии поддержания, но не размножения. Вместе все они составляют общий микробный запас, или пул, обеспечивающий гомеостаз системы – равновесное содержание гумуса, физиологически активных веществ, уровня минеральных и органических веществ, степень разрушения минералов, определенные физические и химические параметры. Микробный пул поддерживается постоянным поступлением доступных веществ из живых растений (в виде корневых выделений) или из почвенных хранилищ – из гумуса, за счет наличия в почве запаса иммобилизованных внеклеточных

гидролитических ферментов. Каждая почва характеризуется определенным пулом микроорганизмов и их метаболитов, главным образом ферментов. При этом среда отбирает, а организмы оказывают средообразующее действие.

На **распределение микроорганизмов в почвенном профиле** оказывает влияние, в первую очередь, запас органического вещества. Как правило, профильное распределение микроорганизмов соответствует содержанию гумуса по горизонтам почвы: наибольшая их численность обнаруживается в верхних органогенных слоях, а с глубиной она убывает более или менее резко в зависимости от типа почвы. При сильном летнем иссушении почвы максимум численности может быть обнаружен на некоторой глубине, где сохраняется влага.

Водоросли обычно сосредоточены в верхних 5 см почвы и особенно на поверхности. Грибы очень четко связаны с распределением органического вещества. В глубоких минеральных горизонтах почвы преобладают олиготрофные группировки бактерий и обычные дрожжи рода *Lipomyces*. Простейших, как правило, больше находятся в верхних горизонтах почв.

Большое влияние на распределение и перемещение организмов в почвенных слоях оказывают корни растений. Они служат источником органических веществ, и на их поверхности обитает гораздо больше микроорганизмов, чем в окружающей почве.

Перемещение организмов в почвенном профиле может быть активное и пассивное. Активно передвигаются все животные и растущие корни растений. Микроскопические животные, простейшие, передвигаются по почве во влажной среде, по системе капилляров, заполненных водным раствором. Многие бактерии, обладающие жгутиками, также активно передвигаются в системе водных пленок, пор и капилляров. Они обладают таксисами.

Хемотаксис – это движение одноклеточных организмов или подвижных клеток многоклеточных в ответ на химический раздражитель. Движение по градиенту концентрации называется положительным хемотаксисом, а против градиента, соответственно, отрицательным. К хемотаксису способны разнообразные бактерии, одноклеточные водоросли, простейшие, а также подвижные клетки многоклеточных организмов: сперматозоиды, макрофаги и другие. Положительный хемотаксис вызывают вещества-аттрактанты, а отрицательный – репелленты. Для одноклеточных организмов аттрактантами являются различные питательные вещества – сахара, аминокислоты и прочее, а репеллентами – все те соединения, которые представляет опасность, например, щелочи, спирты, кислоты.

Направление хемотаксиса зависит не только от градиента, но и от абсолютных показателей концентрации определенного вещества. Например, хлорид натрия вызывает положительный таксис в слабом и отрицательный – в концентрированном растворах.

Выделяют также **аэротаксис** – реакция на аэрацию, **фототаксис** – на свет. Скользящие бактерии, гифы грибов и актиномицетов перемещаются на небольших пространствах по поверхности плотного субстрата. Некоторые водоросли и миксомицеты имеют подвижные стадии клеток со жгутиками, которые обеспечивают им расселение по влажным поверхностям и каналам

почвенной системы. Грибы и актиномицеты образуют споры размножения, имеющие гидрофобные покрытия. Благодаря этому они сосредотачиваются на поверхности водных капель и пленок, выносятся в верхние слои и при высыхании разносятся воздушными течениями. Пассивное перемещение микроорганизмов происходит с почвенными животными, а также с почвенной влагой и с корнями растений.

Сапротрофный комплекс организмов сосредоточен главным образом в подстилке и почве. Это – разлагатели мертвого растительного опада, корневого опада, трупов животных, микробных клеток. Микроорганизмы, живущие на поверхности растений, обычно называют эпифитными. Эпифиты выполняют функции «мусорщиков», питаются выделениями листа.

Корневые микроорганизмы разделяются на ризоплановые, клубеньковые и микоризообразователи. На поверхности корня, в ризоплане, преобладают неспоровые грамотрицательные бактерии. Многие из них обладают способностью фиксировать азот и проводить денитрификацию. Корни выделяют, по меньшей мере, 10 разных сахаров, больше всего глюкозы и фруктозы, а также аминокислоты, органические кислоты, физиологически активные соединения. Поверхность корня покрывается слизистыми выделениями (муцигель). Все это – хорошая пища для микроорганизмов, поэтому в ризоплане численность микроорганизмов в тысячи раз большая, чем в почве. Микроорганизмы образуют на поверхности корня микроколонии, а в некоторых местах – почти сплошные пленки.

Клубеньковые бактерии живут свободно в почве, в ризосфере, в ризопласте, а на бобовых растениях проникают через корневые волоски в клетки корня и вызывают их разрастание с образованием клубеньков. Ризоплановые бактерии, ассоциированные с корнем, и клубеньковые бактерии оказывают сильное влияние на азотный баланс растения.

Грибы образуют на корнях растений обрастания, называемые микоризой – грибокорень. Грибы по-разному вступают в связь с корнем. Микоризу имеют почти все растения: деревья, кустарники, травы. Благодаря микоризе корни лучше поглощают из почвы влагу и минеральные элементы питания. Особенно важна роль микоризы в снабжении растений доступными формами фосфора. Под покровом микоризных грибов на корне поселяются азотфиксирующие бактерии, снабжающие растение азотом.

Микроорганизмы не только вступают в непосредственный контакт с корнем, но и, обитая в зоне его действия, так или иначе влияют на рост и развитие растений. Та часть почвенной среды, которая примыкает к корню и испытывает воздействие корневых выделений, называется ризосферой. В ризосфере микроорганизмы более многочисленны, чем в зоне вне корня. Было введено понятие «ризосферного эффекта», сущность которого заключается в воздействии корня на увеличение численности микроорганизмов в ризосфере сравнительно с контролем. Ризосферный эффект увеличивается с глубиной, где численность микроорганизмов в почве резко падает, а в ризосфере остается на высоком уровне. Ризосферный эффект в дерново-подзолистой почве под пшеницей на глубине 40–50 см может быть равным 2000. По срокам вегетации растений состав микроорганизмов в ризосфере меняется. К концу вегетации в

ризосфере обычно резко увеличивается количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

1.3.2. Влияние отдельных фаз почв и температуры на микроорганизмы

Твердая часть почвы имеет наибольшее значение как местообитание микроорганизмов. На поверхности почвенных частиц сосредоточены основные запасы питательных веществ: гумус, органо-минеральные коллоиды, катионы Ca, Mg и др. Их концентрация здесь значительно выше, чем в почвенном растворе. Попытка создавать питательные среды для почвенных микроорганизмов, исходя из содержания веществ в почвенном растворе, теоретически неверна, так как это не соответствует условиям их жизни в естественной среде. Тот факт, что микроорганизмы фиксируются на поверхности частиц, имеет большое значение для их жизнедеятельности: адсорбированным клеткам, выделяющим экзоферменты, легче использовать субстрат, к которому они прикреплены. От 80 до 90% бактериальных клеток в почве удерживаются на поверхности или внутри почвенных агрегатов. В межагрегатных пространствах живут микроорганизмы представители почвенной микрофауны. Нематоды имеют наибольшую подвижность в случае, когда поровые пространства между агрегатами частично заполнены водой.

Твердая фаза обеспечивает мозаичность и гетерогенность почвы как среды обитания. В состав ее входят главным образом минеральные соединения, представленные мелкими частицами вторичных и первичных минералов, имеющих колоссальную поверхность: глинистые минералы – до 200 м²/г. Адсорбция клеток на этих поверхностях предотвращает их вымывание. Адсорбированное состояние повышает устойчивость микроорганизмов к воздействию неблагоприятных факторов и способствует сохранению постоянства процессов круговорота веществ в почве.

Почвенный раствор, составляющий жидкую часть почв, заполняет капилляры и образует водные пленки вокруг почвенных частиц. При насыщении почвы влагой до полной влагоемкости все поры и пространства заняты раствором, за исключением пор с «защемленным воздухом». Такое состояние почвы способствует развитию анаэробных процессов.

Большое значение для развития почвенных микроорганизмов имеют размеры капилляров, заполненных водой. В тонких капиллярах микроорганизмы не размножаются и не метаболизируют.

Микроорганизмы развиваются при наличии в почве определенного количества влаги. Имеет значение и концентрация почвенного раствора. В среднем она составляет 0,05–0,5 г/100 мл, летом концентрация увеличивается за счет интенсивного испарения влаги с поверхности почвы, к осени – уменьшается. В составе почвенного раствора есть минеральные, органо-минеральные и органические вещества. Их соотношение неодинаково в почвах разных типов, оно меняется также по горизонтам и по сезонам года. В подзолах и болотных почвах органические вещества преобладают, в черноземах примерно равное соотношение органических и минеральных веществ, а в каштановых и сероземах больше минеральных веществ, чем органических. В верхних горизонтах, как правило, концентрация органических веществ выше, чем в нижних. Из

минеральных веществ в минимуме обычно находятся азот и фосфор. Калий входит в состав твердой части почвы. Большое значение для развития растений, животных и микроорганизмов в почве имеет содержание микроэлементов в почвенном растворе. Так, молибден усиливает азотфиксацию, уран и радий в малых дозах оказывают стимулирующее действие на микроорганизмы, бор активизирует нитрификацию, цинк, марганец и мышьяк влияют на развитие простейших, а тяжелые металлы (кадмий, свинец, ртуть) снижают фиксацию азота и тормозят рост многих микроорганизмов.

Среди органических веществ почвенного раствора есть такие, которые оказывают действие в малых концентрациях. Это физиологически активные соединения, вырабатываемые микроорганизмами почвы или поступающие вместе с корневыми выделениями: витамины, ферменты, ауксины, гиббереллины и др. Больше всего их в зоне ризосферы.

С почвенным раствором связано понятие осмотического давления. Оно колеблется в среднем от 50 до 500 кПа. Чем суше почва, тем выше осмотическое давление почвенного раствора. Черноземы, солонцы, солончаки развивают давление до 10 000 кПа, в болотных почвах оно наиболее низкое. Среди микроорганизмов, живущих в почвах с высоким осмотическим давлением почвенного раствора, встречаются галотолерантные и галофильные формы. Широко распространенные почвенные бактерии дают в таких условиях экотипы. В почвах Средней Азии процесс аммонификации не останавливается при осмотическом давлении почвенного раствора вплоть до 8 000 кПа, а нитрификация при таких условиях прекращается.

Почвенный воздух находится в почвенных порах, не заполненных водой. Содержание воздуха в почве зависит от ее влажности: газ и вода в почве – антагонисты, особенно в бесструктурной почве. Роль почвы в газовом обмене земной коры и в состоянии атмосферы огромна. Почвы – это мощный регулятор газового состава атмосферного воздуха. При газообмене между почвой и атмосферой обычно идет выделение CO_2 и поглощение O_2 . Это так называемое «дыхание почвы», следствие минерализации микроорганизмами органических веществ. При обмене с атмосферой из почвы постоянно выделяется помимо CO_2 метан (на его образование идет 1% разлагающегося органического вещества), водород, азот, окислы азота, окись углерода (угарный газ) и летучие органические соединения. Почвенный воздух содержит в 10–100 раз больше углекислого газа и значительно меньше кислорода. Концентрация азота мало отличается от атмосферного.

Почвенный воздух всегда содержит пары воды. Это имеет существенное значение в перераспределении воды по отдельным микроразонам и в выравнивании потенциала влаги по всей почвенной массе. Снабжение почвенных микроорганизмов газообразной водой – важный фактор в создании благоприятных условий для их развития.

Многие почвенные микроорганизмы хорошо переносят высокие концентрации CO_2 . Например, для почвенных цианобактерий оптимальным является содержание 1% CO_2 , а некоторые из них прекращают рост только при 12% CO_2 и выше. В почве происходит селекция устойчивых к CO_2 микробов.

Микрозональность почвы создает возможность одновременно развиваться в небольших участках аэробным и анаэробным организмам. В одном агрегате существует градиент концентрации кислорода при переходе от поверхности агрегата к его внутренним частям. Благодаря выделяющимся газам осуществляется связь микрозон между собой, так как газовая фаза наиболее подвижная фаза.

Из внешних факторов, не связанных с состоянием почвенных фаз, но оказывающих существенное влияние на развитие почвообитающих организмов, следует выделить температуру. В почвах разных экосистем относительный поток тепла резко различается в отношении суточных и сезонных колебаний. В пустынных ландшафтах, например, в Каракумах, температура поверхности почвы может превышать 70° , а суточный размах колебаний температуры достигает 50° , снижаясь на глубине 20 см до 1° . Сезонные колебания, в отличие от суточных, охватывают весь профиль почвы. В криосолях имеется мерзлотный горизонт, который сильно влияет на температурный режим этих почв. Корни растений в этот горизонт не проникают, поэтому в толще почвы растительных остатков мало. Процессы гумификации замедлены, идет накопление торфяной массы. Суточные колебания невелики, а сезонные имеют большой размах.

Температура влияет на скорость биохимических реакций и ограничивает рост. В температурном диапазоне роста каждого организма можно выделить три зоны – минимальную, оптимальную и максимальную. Эти зоны могут сдвигаться в зависимости от других факторов, и в первую очередь от влажности. Известное явление констелляции факторов заключается в том, что в совокупном виде действие факторов проявляется иначе, чем в отдельности. Так, в условиях оптимальной влажности организмы иначе реагируют на изменения температуры, чем при недостатке или избытке влаги. По отношению к температуре выделяют мезофильные, термофильные, психрофильные и термотолерантные группировки. Большинство почвенных микроорганизмов – мезофилы с оптимумом роста $26-30^{\circ}$. Среди актиномицетов и бактерий есть термофилы, минимальная температура роста которых лежит выше 30° , а оптимальная – $50-60^{\circ}$. Некоторые бактерии способны развиваться при температуре 80° и даже выше. Дрожжи – наиболее низкотемпературная группа почвенных организмов. Оптимум для них $12-15^{\circ}$, а выше $18-20^{\circ}$ они прекращают рост. При определенном составе среды они могут развиваться даже при отрицательных температурах до -10° .

1.3.3. Почвенная биота

Понятие о многообразии живого мира долгое время ограничивалось делением его на два царства: растительных и животных организмов, соответственно флору и фауну Земли. Это представление шло от Аристотеля и было «узаконено» в «Системе природы» К. Линнеем. Основные разграничительные признаки этих царств заключались в типе питания (гетеротрофном и голозойном (заглатывание твердых частиц) – у животных, автотрофном и осмотрофном (поглощение пищи поверхностью тела) – у растений); наличии ригидной (неподатливой) клеточной стенки (у растений) или ее отсутствии (у животных); подвижном или неподвижном образе жизни. При

детальном изучении одноклеточных микроскопических организмов возникли затруднения при разделении их на животных и растений: у некоторых обнаружались комбинации признаков, свойственных представителям как того, так и другого царства. Например, некоторые одноклеточные жгутиковые содержат хлорофилл и способны к фотосинтезу как растения, в то же время по характеру организации клетки они должны быть отнесены к простейшим.

Поворотом в представлениях о многообразии и эволюции живого мира было установление различий в тонком строении всех клеток, открытие прокариотического и эукариотического (клетки содержат ядра) типа клеточной организации. Разрыв между Procaruota (доядерными организмами) и Eucaryota (истинными ядерными) оказался значительно большим, чем различия между растениями и животными. При этом царство протистов оказалось разделенным: бактерии и синезеленые водоросли отошли к прокариотам, а простейшие, грибы и остальные водоросли – к эукариотам.

Если исходить из двух главных характеристик живого – типа питания и типа строения, – то их разные сочетания проявляются в существующих на Земле 7 группах организмов, 4 царствах живой природы (таблица 22).

Таблица 22 – Царства живой природы.

Тип строения	Тип питания			Размерные группы
	Фототрофный	Осммотрофный	голозойный	
	Растения		Животные	Макро,
Одно-и многоклеточные, эукариоты	Водоросли	Грибы	Простейшие	Мезо, микро,
Преимущественно одноклеточные, прокариоты	Цианобактерии	Бактерии и актиномицеты		Микро, ультра-микро,
	Продуценты	Редуценты	Консументы	

1. Растения (Plantae) объединяют фотосинтезирующие организмы-эукариоты (от одноклеточных водорослей до сосудистых растений с тканевым строением тела). Первичные продуценты органических веществ.

2. Животные (Animalia) объединяют эукариотические организмы с голозойным типом питания от одноклеточных простейших до сложных организмов с тканевым строением тела и наличием специализированных органов. Потребители органических веществ на разных трофических уровнях.

3. Грибы (Mycota) – эукариотические организмы с осмотрофным типом питания, одноклеточные и мицелиальные, иногда образующие ложные ткани. Они главные разлагатели органических веществ.

4. Прокариоты (Procaruotae) – доядерные микроорганизмы, преимущественно одноклеточные и мицелиальные. По типу питания делятся на две группы: фототрофные и осмотрофные (иначе – автотрофы и гетеротрофы). Соответственно в экологических цепях выступают в роли либо продуцентов, либо редуцентов.

В почве обитают все представители мира живой природы. В почвенной среде развиваются корневые системы высших растений, низшие растения – водоросли – живут на поверхности почвы и в верхних слоях почвенной толщи. Животные различных размерных групп по-разному используют почву в качестве местообитания. Одни живут в ней постоянно, заселяя ее поры, межагрегатные пространства и водные пленки; другие проделывают в почве ходы, норы и пещеры, сильно изменяя ее сложение; третьи только временно уходят в почву, используя ее как убежище или место, где проходит стадия зимнего покоя. Простейшие проявляют свою активность главным образом в водной фазе почвы. Микроскопические организмы – грибы, бактерии, актиномицеты – прикрепляются к поверхности почвенных частиц и образуют на них более или менее сложные разрастания – колонии.

Вся совокупность живых обитателей почвы получила название почвенной биоты. Этот термин не имеет таксономического значения и не несет какой-либо экологической нагрузки (рисунок 11).

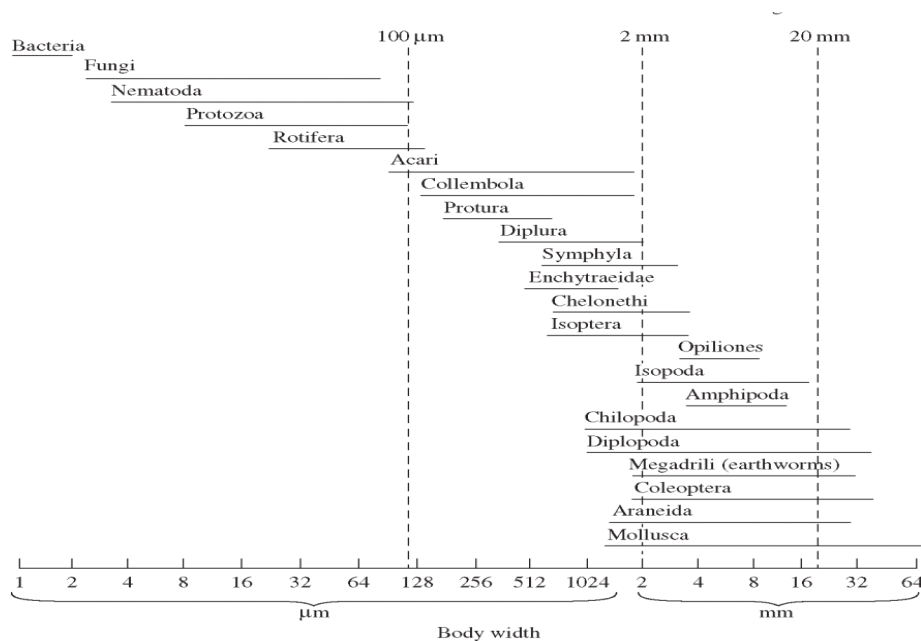


Рисунок 11– Размер почвенной биоты (по Свифту, 1979).

Биота – это сборное понятие для всего комплекса живущих в почве организмов, называемых иногда эдафоном. Этот комплекс чрезвычайно разнообразен и различен в почвах разных типов.

1.3.4. Высшие растения

Высшие растения составляют ядро наземных биогеоценозов. Биологический круговорот на нашей планете начинается с продукции органического вещества. Он включает поступление элементов из почвы и атмосферы в растения, биосинтез ими полимерных веществ и последующее разложение мертвых остатков микроорганизмами с возвращением элементов в почву и атмосферу. В результате биологического круговорота происходит обогащение почвы органическим веществом, азотом, элементами минерального питания, которые вновь поступают в растения. Биологический круговорот в

разных природных зонах различен и классифицируется по комплексу показателей: биомассе растений, опаду, подстилке, количеству закрепленных элементов и т. д. (таблица 23).

Общая биомасса наиболее высока в лесной зоне, а доля подземных органов в лесах наименьшая. В этой зоне, особенно в хвойных лесах, значительная часть органических веществ накапливается в форме подстилки. Однако отношение подстилки к опаду не достигает высоких величин из-за активной его переработки в результате деятельности микроорганизмов.

Таблица 23. – Показатели биологического круговорота в разных природных зонах (по Л. Е. Родину и Н. И. Базилевич, сокр., 1965).

Показатели	Тундра		Лесная зона		Степи		Пустыни	
	Арктическая	Кустарничковая	Ельник	Дубрава	Луговая	Сухая	Полукустарничковая	Эфемерово-полукустарничковая
Биомасса, ц/га	50	280	3000	4000	250	100	43	125
Доля корней, %	70	83	22	24	68	85	До 90	До 90
Опад, зеленые части, ц/га	2,6	9	30	40	80	15	1	18
Подстилка, ц/га	35	835	300	150	120	15	–	–
Подстилка: опад	14	92	10	4	1,5	1	–	–

По сравнению с лесной зоной в тундре и пустынях, т. е. в крайних для жизни условиях, создается относительно небольшая биомасса с высокой пропорцией подземных органов, достигающей 90% в пустынной зоне. Накопление мертвых растительных остатков достигает максимальных величин в тундре и почти отсутствует в пустыне. Отношение подстилка/опад в подзоне кустарничковых тундр наибольшее, что свидетельствует о слабо идущих процессах разложения опада.

Корневые системы растений оказывают влияние на физические и химические свойства почв, на ее биологическую активность. Они изменяют структуру, создают порозность, влияют на аэрацию, вызывают сдвиги в равновесии почвенных растворов, участвуют в разложении минералов, снабжают почвенные микроорганизмы источниками органического питания. Благодаря корневым системам происходит биогенная аккумуляция и дифференциация веществ в почвенном профиле. Корнями растений питаются некоторые почвенные беспозвоночные (клещи, нематоды), на корнях развиваются грибы, образующие микоризу, с клетками корня вступают в симбиоз бактерии, что приводит к формированию клубеньков.

Очень важным для почвенной биологии является вопрос о количестве и химическом составе корневых выделений растений, так как именно процесс прижизненной экскреции органических веществ через корни определяет интенсивность развития микроорганизмов в корневой зоне растений и активность важных биохимических процессов. В частности, на поверхности и

вблизи корней (в ризоплане и ризосфере) сосредоточены микроорганизмы, осуществляющие главные звенья круговорота азота – процессы азотфиксации и денитрификации.

1.3.5. Почвенные водоросли

Большинство почвенных водорослей – микроскопические организмы. В отличие от других микроорганизмов, водоросли можно легко заметить невооруженным глазом при их обильном развитии на почве: они образуют зеленые и синезеленые корочки, пленки, войлокообразные налеты на поверхности влажной почвы.

Такое явление получило название «цветения почвы». Чаще оно бывает весной, когда много влаги, почва еще не покрыта растениями, а поверхность ее согревается солнцем. В этот период на 1см² поверхности почвы может развиваться до 20 млн. клеток, а биомасса их достигает 1500 кг/га (таблица 3). Водоросли активно заселяют поверхности скал, стволы деревьев и различные сооружения, если есть условия конденсации на этих поверхностях влаги. В лесу водоросли сосредоточены в подстилке, где их значительно больше, чем в нижележащих почвенных горизонтах.

Почвенные водоросли обнаруживаются во всех почвах. При этом численность и биомасса их сильно варьируют в одной и той же почве в зависимости от влажности, солевого режима и условий освещения. Количество водорослей составляет от 5 тыс. до 1,5 млн./г, достигая максимальных значений на почвах, не занятых сплошным покровом высших растений, например, в корковом солончаке, на такыре. Биомасса их в дерново-подзолистой почве колеблется в пределах 40–300 кг/га в слое 0–10 см и значительно выше в пахотных почвах по сравнению с лесными (таблица 24).

Таблица 24 – Количество и биомасса важнейших групп микробов.

Источник	по Chesworth W., 2008		по Jhonson C., 2009	по Brady, 1974	
	Количество на 1 г почвы	Биомасса, кг с.в./га	Биомасса, фунтов живого веса/акр	Количество на 1 г почвы	Биомасса, кг с.в./га
1	2	3	4	5	6
Вирусы	10 ¹⁰ -10 ¹¹				
Бактерии	10 ⁸ -10 ⁹	300-3000	1000		
Актиномицеты	10 ⁷ -10 ⁸	300-3000	1000		
Грибы	10 ⁵ -10 ⁶	500-5000			
Водоросли	10 ³ -10 ⁶	10-1500	100		
Простейшие	10 ³ -10 ⁵	5-200	200	10 ⁴ -10 ⁵	
Нематоды			50		
Насекомые			100		
Черви			1000		
Корни растений			2000		

Продуктивность водорослей в наземных биогеоценозах, несравнимо меньшая, чем высших растений, однако их биомасса исключительно подвижна,

она быстро накапливается при благоприятных условиях и становится пищей для других почвенных микроорганизмов и беспозвоночных животных. Функция водорослей как продуцентов органического вещества особенно важна в начинающих свое развитие биогеоценозах: в горных районах, на вулканических породах, на рекультивируемых землях.

Питание водорослей отличается от всех других почвенных микроорганизмов тем, что водоросли – фотосинтезирующие организмы и в огромном большинстве своем не нуждаются в готовых органических веществах. В глубоких горизонтах почвы некоторые водоросли способны переключаться на гетеротрофный обмен и поглощают растворенные органические вещества.

Общее количество видов водорослей, найденных в почвах, приближается к 2000. Среди почвенных водорослей приблизительно поровну синезеленых и зеленых (по 500 видов), далее идут диатомовые (около 300 видов), желтозеленые (более 150) и очень мало эвгленовых и пиррифитовых.

Сине-зеленые водоросли (цианобактерии). По образу жизни и жизненным формам сине-зеленые более близки к водорослям, чем к бактериям, это единственные прокариоты, осуществляющие фотосинтез с выделением кислорода.

Физиологические особенности сине-зеленых водорослей проявляются в сочетании таких процессов, как фотосинтез с выделением кислорода, отсутствие истинного дыхания, способность к азотфиксации и переключение с фототрофного на гетеротрофный обмен. Среди сине-зеленых водорослей есть крайние термофилы, и крайние термофобы. Сине-зеленые водоросли часто выступают пионерами заселения мест с экстремальными для жизни условиями. Многие из них вступают в ассоциацию с грибами, образуя лишайники.

Зеленые водоросли – самый обширный отдел водорослей Chlorophyta, которые обычны среди почвенной биоты. Они легко узнаются по чисто-зеленому цвету, хотя не образуют, как сине-зеленые, больших поверхностных корочек, пленок и другого типа разрастаний. Их отдельные клетки или нитчатые талломы распределяются в верхнем слое почвенной толщи и иногда придают почве зеленоватый оттенок. По морфологии клетки и организации таллома зеленые водоросли очень разнообразны (рисунок 12).

Одноклеточные формы (порядок Chlorococcales) бывают круглыми, серповидными, веретеновидными; иногда они собраны в агрегаты из 3–4 клеток. Размножаются зеленые водоросли делением, образованием бесполовых спор – неподвижных (автоспоры) и подвижных (зооспоры).

Желтозеленые водоросли – менее разнообразны, но не менее многочисленны в почве, чем зеленые. Они часто вызывают «цветение» на торфе. Желтозеленые водоросли представлены в почве одноклеточными и нитчатыми формами.

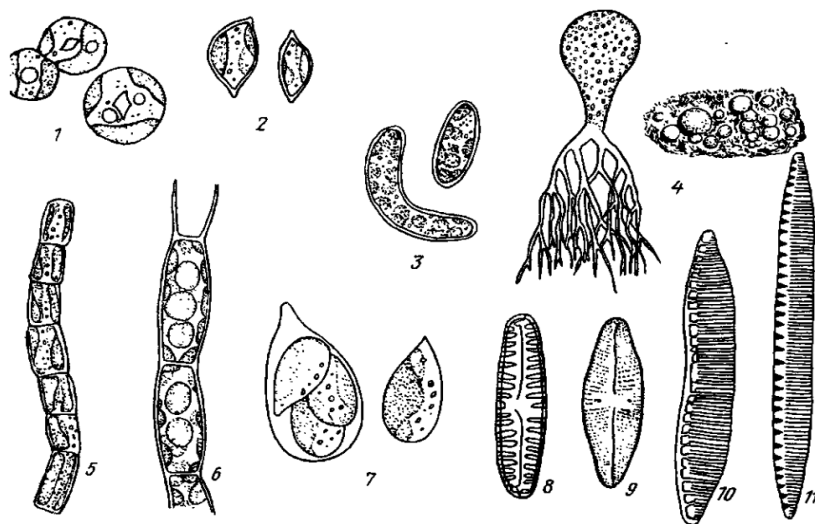


Рисунок 12 – Почвенные водоросли

желтозеленые (1–7) и диатомовые (8–11) водоросли: 1 – *Pleurochloris magna*, 2 – *Characiopsis minutissima*, 3 – *Bumillariopsis brevis*, 4 – *Botrydium granulatum*, 5 – *Heierothrix exilis*, 6 – *Tribonema vulgare*, 7 – *Monodus acuminata*, 8 – *Pinnularla borealls*, 9 – *Navicula mutica*, 10 – *Hantzschia amphioxys*, 11 – *Nitzschia hantzschiana*

Диатомовые водоросли. Название их – Diatomeae – происходит от латинских слов «di» – два и «toma» – делить, т. е. разделенные на два. Это связано со своеобразным строением их оболочки, которая состоит из двух половинок. Между двумя створками их «раковинки», построенной из кремнезема, проходит шов (поясок) с узелками. Через этот шов протопласт может соприкоснуться с субстратом, и клетка передвигается по нему благодаря особому току протоплазмы. Клеточные оболочки имеют характерный для каждого вида рисунок, благодаря которому эти водоросли легко идентифицировать. Так как их панцири, пропитанные кремнеземом, сохраняются в почве очень долго, то по ним пытаются определить возраст отложений. Хроматофоры диатомей имеют бурый или желтоватый цвет. Все диатомовые водоросли – одноклеточные формы.

1.3.6. Почвенные животные. Общая характеристика

Создаваемая растениями-продуцентами масса органического вещества поступает в биологический круговорот, отчуждаясь частично «на корню» животными-фитофагами а затем после отмирания включается в цепи питания различных разлагателей-редуцентов, среди которых животные составляют значительную долю, хотя основные разрушители органического вещества – это грибы и бактерии.

Представления относительно роли почвенных животных в круговороте веществ и почвообразовательных процессах неоднократно менялись. Первое, на что обратили внимание – механическое воздействие животных на почву. Ч. Дарвин писал о том, что черви задолго до плуга рыхлили землю. Сейчас хорошо известно, что этим далеко не исчерпывается воздействие животных на среду обитания.

Почвенные животные оказывают существенное влияние на химизм почв, на образование гумуса, на структурные свойства, биологическую активность и в целом на почвенное плодородие. Животный мир почв, его состав и численность отдельных групп, роль и значение почвенных животных в природных процессах и в народнохозяйственной практике изучает почвенная зоология.

Все животные, обнаруживаемые в почвах, делятся на три группы: **геобионты** – постоянные обитатели почв (например, дождевые черви, многоножки, ногохвостки); **геофилы**, живущие в почве лишь на протяжении части жизненного цикла (личинки хрущей, шелкоунов) и **геоксены**, которые лишь временно укрываются в почве (например, вредная черепашка, некоторые насекомые).

У геобионтов и геофилов развиваются различные приспособления к почвенной среде обитания. Общебиологические адаптации выражаются в особом ритме жизненных циклов, сроках размножения, миграциях и таксисах. У представителей мезо- и макрофауны наблюдаются также адаптации морфологического порядка: изменение формы конечностей, редукция органов зрения, уменьшение размеров тела. Деление на размерные группы (нано-, микро-, мезо- и макрофауны) удобно при рассмотрении взаимодействия животных со средой обитания, с почвой. Мелкие животные, имеющие микроскопические размеры и составляющие основу нано- и микрофауны, – это одноклеточные простейшие, а также коловратки, нематоды и тихоходки, которые живут большей частью в водной фазе почвы, в пленках и капиллярах и по сути своей являются не столько гео-, сколько гидробионтами.

Для представителей мезофауны почва выступает как система влажных камер и пещер. Для их жизни в почве важны такие свойства субстрата, как порозность, распределение мертвых остатков и гумуса. К этой группе относится большинство истинных геобионтов – клещи, ногохвостки, мокрицы, многоножки и насекомые.

Для членов макрофауны (земляные черви, некоторые крупные многоножки, насекомоядные и грызуны) почва как среда обитания представляет собой плотный или рыхлый субстрат, и плотность сложения его имеет для них основное значение. Передвигаясь в почвенной толще, они вызывают, в отличие от животных других размерных групп, резкое перемещение не только частиц почвы, но и целых слоев, нарушая естественное ее сложение.

Положение отдельных групп почвенных животных в трофических цепях определяет их участие и роль в превращении веществ, в биологическом круговороте. По типам питания почвенные животные можно разделить на несколько групп.

Фитофаги – питаются тканями корней живых растений, нанося ущерб сельскому и лесному хозяйству. Например, личинка майского хруща подгрызает корни молодых сеянцев сосны. Свекловичная нематода внедряется в корни сахарной свеклы и вызывает потери урожая.

Зоофаги питаются другими животными, выступая в роли хищников или паразитов. Примером могут служить все насекомоядные животные, нематоды, поедающие простейших и коловраток, хищные клещи, питающиеся нематодами, ногохвостками.

Некрофаги используют в пищу трупы животных. Например, муравьи-бегунки в пустынях Средней Азии поедают останки насекомых.

Сапрофаги – наиболее многочисленная и важная по значению группа почвенных животных. Они перерабатывают мертвые остатки растений, опад и отпад. К ним относятся черви, многоножки, мокрицы, некоторые клещи и личинки насекомых. Эта экологическая группировка представляет наибольший интерес для изучения роли животных в преобразовании органических веществ в почве.

На распространение почвенных животных влияет в основном фактор питания.

Существует корреляция между количеством опада растений, их корней и животными в почвенном профиле. Как правило, зоны максимального распространения корней растений и численность животных близко совпадают. В лесах, где основная масса мертвого органического вещества сосредоточена на поверхности почвы в виде подстилки, а корни наиболее густо распределены в нижней части A_0 и в A_1 , численность животных максимальна в самой верхней части профиля, а к 40–50 см резко падает. В почвах степей на поверхности образуется степной войлок, который, как правило, сильно иссушается. Животные здесь представлены главным образом теми видами, которые живут не в подстилке, а в гумусовом горизонте почвы (дождевые черви, энхитреиды, клещи, многоножки). Они проникают также на значительную глубину – до 120 см. Итак, в лесных ландшафтах процессы трансформации органических веществ растений протекают на поверхности почвы, а в травянистых они опущены на глубину.

В таблица 25 представлено биологическое разнообразие почвенной фауны.

Животные играют большую роль в перераспределении не только растительных остатков, но и минеральных солей: вынося на поверхность почву из глубоких слоев, они меняют химический состав почвенных горизонтов. В полупустынях численность малого суслика местами так велика, что весь мезо- или микрорельеф там зоогенного происхождения. За год животные выносят до 1,5 т/га почвы, а норы их проникают до глубины 2 м.

В лессовых пустынях, на такырах живут пустынные мокрицы – самые многочисленные членистоногие в этих местообитаниях. Они поселяются колониями и численность их достигает иногда 800 тыс. особей на 1 га. Норки их проникают в толщу почвы на глубину до 40–50, а иногда и до 80 см. Строя норки, мокрицы выносят почву из глубоких слоев и оставляют ее вместе с экскрементами на поверхности. В течение лета они могут вынести в расчете на 1 га около 0,5 т почвы и до 1 т экскрементов с высоким содержанием органического вещества. Анализы показали, что почва у норок мокриц богата азотом. Мокричники заметно выделяются более густым травяным покровом и имеют высокую продуктивность. Таким образом, мокрицы в пустыне выполняют функцию отсутствующих там дождевых червей. Мокрицы и некоторые другие сапрофаги, например, многоножки, перерабатывая растительные остатки, разлагают клетчатку.

Таблица 25 – Биологическое разнообразие почвенной фауны.

	общее название	размер	количество	питание
1	2	3	4	5
Простейшие (Protozoa)	жгутиковые голые амебы инфузории	<100µm	15– 20 млн./м ² 10 ³ – 10 ⁶ г во влажной почве	основное – бактерии, грибковые дрожжи, водоросли, детрит
Коловратки (Rotifera) Брюхоногие (Gastopoda)	коловратки улитки, слизни	<120µm 2-100mm	10 ⁴ – 10 ⁵ /м ² во влажной почве 5 -150/м ²	водоросли некоторые травоядные, хищники
Кольчатые черви (Annelida) Малощетинковые (Lumbricidae) Земляные черви (Megascolecidae) Энхитриды (Enchytraeidae) Нематоды (Nematoda)	земляные черви энхитриды нематоды	40 – 400mm 5 – 50mm 100– 4500 µm	0.5– 524/ м ² – 120г/ м ² 200– 290000/ м ² 1– 30 *10 ⁶ м ²	<i>земляные черви:</i> органика, минеральная почва <i>горчичные черви:</i> органика, кремнезем грибы, водоросли, бактерии, травоядные микрофаговцитов всеядных хищников
Тихоходки (Tardigrada)	тихоходки	5 – 1200 µm	50– 2 000/10см ²	водоросли, растения, детрит, хищники
Членистоногие (Arthropoda) Равноножки (Isopoda) Многоножки (Myriapoda)	мокрицы многоножки сороконожки	2 – 30 mm 1 – 25 cm 1 – 25 cm	– 500 м2 – 300 м2 19 000 м2	разлагающийся растительный материал, грибы; мортмасса; Хищники; Фитофаги, сапрофаги, хищники
Пауки (Araneae) Клещи (Acari)	пауки клещи	1 – 10 mm 100- 5000 µm	180-840/ м2 – 1* 106 м2	Хищники, микрофаговциты, сапрофаги, фитофаги, детритофаги, всеядные, паразиты,
Ногохвостки (Collembola)	ногохвостки	150 – 5 000 µm	– 40 000/ м2	Микрофаговциты, сапрофаги, фитофаги, всеядные
Насекомые (Insekta)	насекомые вкл.: мухи, жуки, муравьи, термиты	0.5 – 30 mm	– 1 000/ м2 для каждой из групп	Хищники, микрофаговциты, сапрофаги, фитофаги, детритофаги, всеядные, паразиты,
Позвоночные (Vertebrata)	включают амфибии, рептилии млекопитаю щие	> 40 mm		Хищники, микрофаговциты, сапрофаги, фитофаги, детритофаги, всеядные, паразиты.

1.3.7. Эколого-таксономический состав почвенной фауны

Простейшие. Protozoa – одноклеточные микроскопические животные. Это нанофауна почвы. Для их активной жизни в почве важнейшее значение имеет наличие воды в почвенных порах. Численность может быть очень высока: до нескольких сотен тысяч клеток в 1 г почвы и до 300–400 кг/га. Кроме воды на распределение и численность простейших влияют такие факторы среды, как аэрация, температура и pH, однако прямую зависимость в естественных условиях установить трудно. Один из наиболее существенных факторов – количество бактерий, которыми питаются простейшие. Они поедают также клетки дрожжей и водорослей, проявляя при этом избирательность в выборе пищи. Основная их роль в почве – участие в разложении органического вещества и хищничество на микроорганизмах.

Жизнь в почвенных микросредах, где имеется огромное количество очень тонких капилляров, накладывает отпечаток на морфологию простейших. Их клетки имеют в 5–10 раз более мелкие размеры, чем у пресноводных или морских обитателей.

В почве живут представители трех классов простейших: жгутиконосцы, саркодовые и инфузии.

Жгутиконосцы (Mastigophora, Flagellata) – характеризуются в первую очередь наличием жгутиков.

Саркодовые (Sarcodina). Среди них в почве обитают представители корненожек – голые и раковидные амёбы. Размеры их больше, чем жгутиконосцев.

Инфузии (ресничные, Ciliata) – одна из наиболее многочисленных и прогрессирующих групп простейших. В основном инфузии – обитатели водоемов, и в почве их значительно меньше, чем других простейших – жгутиконосцев и амёб. Клетки их более крупные, чем амёбы и жгутиконосцы, имеют многочисленные реснички, сгруппированные в продольные, косые или спиральные ряды.

Черви. Червей (Vermes) делят на низших и высших. Из низших червей в почве живут коловратки и нематоды (рисунок 13). Они относятся к микрофауне почв. Коловратки (Rotatoria) – самые мелкие из многоклеточных животных. Название их связано с наиболее характерным признаком – наличием коловращательного аппарата, состоящего из круговых рядов ресничек на передней части тела. Ресничный аппарат служит для передвижения и захвата пищи.

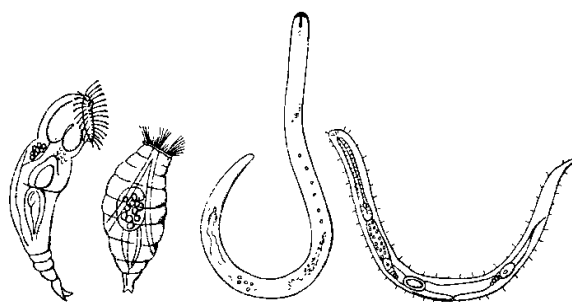


Рисунок 13 – Коловратки (слева) и нематоды (справа)

Они населяют лесную подстилку, толщу мха, но не проникают обычно в минеральные горизонты почв. От климатических условий зависят мало и встречаются даже в Антарктиде. Питаются детритом, бактериями, одноклеточными водорослями; есть хищники, захватывающие простейших и более мелкие виды других коловраток.

Нематоды (Nematoda), или круглые черви, из всех многоклеточных животных, живущих в почве, они наиболее разнообразны и многочисленны. Биомасса нематод в культурных почвах достигает 50 кг/га. По образу жизни, связанному с типом питания, нематоды составляют ряд от полупаразитов до настоящих паразитов растений.

Высшие черви представлены в почве малощетинковыми кольцецами, или олигохетами (Oligochaeta). Наибольшее значение для почв имеют энхитреиды и земляные, или дождевые черви.

Энхитреиды относятся к мезофауне почвы. Их размеры – от 2–3 до 40–45 мм в длину при толщине 0,2–0,8 мм. Наиболее мелкие из них пользуются для перемещения в почве системой естественных пор и каналов, другие могут активно прокладывать ходы сквозь почву, пробуравливая ее и «проедая» себе путь. Поглощаемая при этом почва смешивается в кишечнике с органическими и минеральными веществами, а затем выбрасывается в виде специфических образований – копролитов, которые особенно характерны для дождевых червей. Плотность популяции энхитреид составляет в почвах луговых земель до 120 тыс/м², а биомасса – до 50 кг/га. Распространены энхитреиды в умеренной и субарктической зонах. Они активны в постоянно влажной среде, но избегают переувлажненных почв, где мало кислорода. Основная масса червей сосредоточена в верхнем корнеобитаемом слое почвы, так как главная их пища – отмирающие корни. Обильны они и в лесных подстилках, там, где есть сырой гумус типа «мор». Этим они отличаются от дождевых червей.

Дождевые черви, или люмбрициды (Lumbricidae), – наиболее хорошо известные и изученные почвенные беспозвоночные. В сырую погоду, когда их норки заливаются водой, они в большом количестве выползают на поверхность, за что и получили народное название «выползков». Прямой солнечный свет вызывает у дождевых червей отрицательную реакцию, поэтому они кормятся главным образом по ночам, вылезая из норок не полностью, а обычно цепляясь за нее хвостом, чтобы в случае опасности

можно было быстро скрыться. Обшаривая пространство вокруг норки, черви собирают сырые листья, травинки, частицы перегноя и почвы. Все это измельчается и перерабатывается в кишечном тракте, а затем выбрасывается на поверхность характерными кучками копролитов. Содержание гумуса и кальция в копролитах почти в 2 раза больше, чем в окружающей почве, а их водопрочность выше на 40%.

Численность дождевых червей может достигать 7,5 млн. особей на 1 га, на сенокосах и пастбищах – до 12 млн./га, а биомасса – 0,5–4 т/га. Они осуществляют минерализацию азотсодержащих органических соединений вплоть до образования аммиака за счет живущих в их кишечнике аммонифицирующих микроорганизмов. Влияние деятельности дождевых червей на почву многообразно. Прокладывая глубокие ходы (иногда на глубину до 2 м и более), они увеличивают ее скважность, облегчают проникновение воды, воздуха и корней растений. Под 1 м² поверхности почвы общая длина ходов червей превышает 1 км, а иногда достигает 8 км. Черви перемещают почву, вынося часть ее на поверхность из нижних горизонтов и затаскивая вглубь растительный материал из подстилки.

Под влиянием червей изменяется и химический состав почвы. Вырабатываемый специальными железами углекислый кальций нейтрализует кислоты, поэтому копролиты всегда имеют более высокое значение рН, чем почва. В них обильно развиваются бактерии, так что копролиты – это центры формирования специфических микробных сообществ. Внутренние поверхности ходов червей покрыты специальными выделениями, придающими им прочность. Рост корней по этим ходам особенно облегчается в плотных глинистых горизонтах. При наличии ходов червей корни проникают значительно глубже, чем без них. Свою знаменитую книгу о роли дождевых червей в образовании плодородного слоя земли Ч. Дарвин заключил словами: «Плуг принадлежит к числу древнейших и имеющих наибольшее значение изобретений человека; но еще задолго до его изобретения почва правильно обрабатывалась червями и всегда будет обрабатываться ими. Весьма сомнительно, чтобы нашлись еще другие животные, которые в истории земной коры заняли бы столь видное место».

Известно около 200 видов дождевых червей (люмбрицид). Из них наиболее обычны для средних широт малый красный червь, или малый выползок – *Lumbricus rubellus* и большой выползок – *L. terrestris*. Они различаются тем, что первый в 2 раза мельче и более ярко окрашен, имеет вишнево-красный цвет. Второй же довольно крупный, достигает более 25 см в длину. Они имеют уплощенный и расширенный («лопатообразный») хвост. Нора большого выползка уходит вглубь на 2 м и более, малый выползок живет в поверхностных горизонтах, а в лесах – в подстилке. Самый распространенный вид дождевого червя – *Allolobosphora caliginosa* – живет обычно в распаханых почвах, имеет серую окраску и размеры около 15 см. Этот земляной червь редко выползает на поверхность почвы, а живет на глубине 10–15 см, где питается перегнившими остатками и гумусом; в сухую погоду он мигрирует глубже, до 0,5 м и более, там строит

капсулу и временно впадает в спячку (диапауза). Некоторые виды земляных червей имеют необычно крупные размеры. Для навозных и компостных куч характерен еще один вид земляных червей – *Eisenia foetida*, отличающийся наиболее яркой красной окраской и неприятным запахом. Численность его достигает 1000 особей и более на 1 м².

Распространение дождевых червей связано с климатическими факторами и типом почв. Важным условием является влажность, при засухе и высоких температурах черви обычно погибают в массовом количестве. Ранние заморозки тоже вызывают их гибель. Наименьшая численность дождевых червей отмечается в кислых почвах. Дождевыми червями питаются птицы, землеройки, кроты, а также жужулицы и другие многоножки.

Моллюски. Mollusca – мягкотелые – представлены среди почвенной биоты брюхоногими, или гастроподами. К ним относятся улитки и слизни. Тело моллюска состоит из головы, туловища, мускулистой ноги и раковины. У слизней раковина редуцирована (рисунок 14).

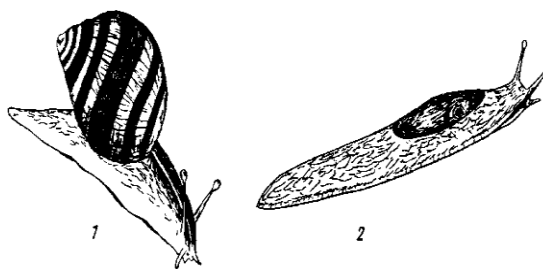


Рисунок 14 – Моллюски: 1 – улитка *Helix vulgaris*,
2 – слизень *Agion empiricorum*

К наземному образу жизни приспособились, так называемые, легочные улитки. Улитки переносят неблагоприятные условия – холод, жару, сухость – благодаря наличию раковины, а безраковинные голые слизни в летний зной или зимние холода прячутся под слоями лесной подстилки или забираются глубоко в почву. Все легочные улитки передвигаются по типу скольжения на подошве ноги, в передней части которой есть железа, выделяющая слизь. Среди легочных улиток есть растительноядные и хищники, питающиеся другими улитками или червями. Наиболее известна среди наземных моллюсков виноградная улитка *Helix pomatia*. Общая продолжительность ее жизни 6–7 лет. Зиму она переносит, впадая в спячку в ямках, выкопанных в почве. В почву откладывает и оплодотворенные яйца. Это наиболее крупная улитка, высота раковины которой достигает 45–50 мм.

Особую группу наземных моллюсков составляют голые слизни. Их раковина нацело обрастает мантией и становится рудиментарной, а у некоторых исчезает полностью. Слизни живут в тех местах, где достаточно влажно, они не встречаются в степях и пустынях. На север распространяются далеко, проникая и в тундру. Но главная зона их расселения – лесная. В горах они доходят до зоны вечных снегов. Пищей

слизней служит свежее опавшая листва, отмершие травы. Слизни нападают и на живые растения, но обычно только при недостатке другой пищи. Слизни – типичные пожиратели отмерших тканей.

Членистоногие. Членистоногие (Arthropoda) – многочисленная и чрезвычайно разнообразная группа животных, составляющая высший отдел беспозвоночных. Среди них есть представители микро-, мезо- и макрофауны. К микрофауне относятся тихоходки, клещи и ногохвостки.

Тихоходки – (Tardigrada) – небольшая группа мелких беспозвоночных с некоторыми признаками членистоногих, по другим с кольчатыми червями. Самые крупные виды не превышают 1 мм, а большинство имеет тело размером в доли миллиметра. Передвигаются медленно и неуклюже, за что и получили название «медвежаток». Некоторые виды похожи на микроскопических кротов и броненосцев.

Ногохвостки, или коллемболы (Collembola) – низшие бескрылые насекомые и панцирные клещи – орибатида (Oribatei) составляют почвенную аэриобионтную микрофауну. Их суммарная биомасса оценивается в 1–2 кг/га, т.е. значительно меньше, чем биомасса гидробионтной части микрофауны – нематод и коловраток.

Ногохвостки – примитивные насекомые, образ жизни которых тесно связан с почвой. Их основное местообитание – лесная подстилка. Они участвуют в разложении растительных остатков и имеют большое значение для круговорота веществ в почве.

Орибатида – самая обширная группа панцирных клещей, главной особенностью которых является наличие у них твердого панциря и трахей, благодаря чему эти беспозвоночные очень устойчивы к разным неблагоприятным факторам среды, их отличает широкое расселение и очень высокое видовое разнообразие. Наиболее многочисленны они, как и ногохвостки, в почвах влажных лесов, где они сосредоточены в слое подстилки.

Клещи и ногохвостки включаются в экологические группы хищников, сапробионтов и растительноядных животных. Клещи-хищники питаются ногохвостками, другими клещами, нематодами, энхитреидами и мелкими личинками насекомых. Среди панцирных клещей есть виды, питающиеся гифами грибов, клетками дрожжей, спорами, пылью цветков, лишайниками и водорослями. Конечности некоторых клещей обрастают грибным мицелием.

Все другие группы членистоногих – пауки, мокрицы, многоножки и насекомые (рисунок 15) – относят к мезофауне почвы.

Пауки (Aranei) – это исключительно наземные беспозвоночные. Их насчитывают огромное число видов – более 20 тыс. Живут на всех континентах и островах, в горах и долинах, в пустынях и лесах. Но особенно многочисленны они в тропиках. В Бразилии, например, известно 2500 видов, а в Гренландии всего 50. В некоторых местах их бывает до 100 особей на 1 м². Пауки более многочисленны в почвах пастбищных угодий, чем в пахотных землях.

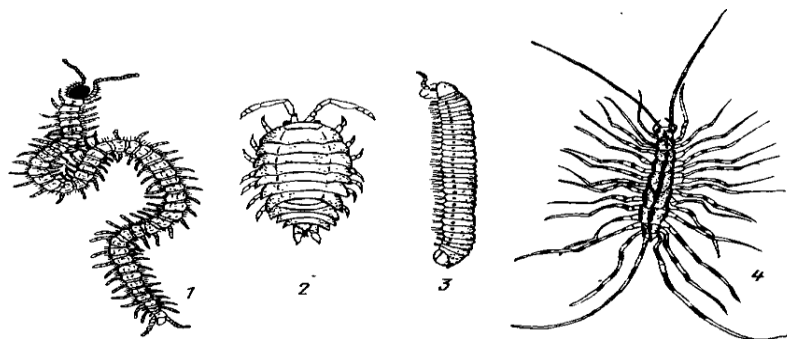


Рисунок 15 – Почвенные членистоногие
1 – геофил, 2 – мокрица, 3 – кивсяк, 4 – мухоловка

После обработки почвы она вновь заселяется теми видами пауков, которые переносятся по воздуху. Известно, что молодь некоторых пауков легко расселяется на значительные расстояния благодаря переносу их на паутинках ветром. Пауки, живущие в почве, строят разного типа убежища: от простых углублений до сложно устроенных глубоких нор, стенки которых выстилают паутиной.

Мокрицы и многоножки обитают главным образом в лесах, реже на лугах и еще меньше их в пахотных почвах. Хотя главное местообитание мокриц – лесная подстилка, но есть среди них и обитатели пустынь. Мокрицы и некоторые двупарноногие многоножки (кивсяки) относятся к сапрофагам. Роль их сходна с ролью дождевых червей: прокладывая ходы в почве, они улучшают ее порозность, увеличивают аэрацию, производят первичную переработку мертвого растительного материала. Экскременты многоножек сходны с копролитами дождевых червей. Все многоножки – наземные животные, и все они ведут скрытый образ жизни, большую часть времени прячась в почвенных норках или под опавшими листьями. Среди них есть очень мелкие виды, всего 1,5–2 мм длиной, а самые крупные геофилы и сколопендры достигают размеров 10–15 см.

Насекомые (Insecta или Hexapoda) – класс наземных членистоногих, имеющих 3 пары ног и тело, расчлененное на голову, грудь и брюшко. Дышат они с помощью трахей или через всю поверхность тела. Насекомые – чрезвычайно разнообразная группа. Они составляют около 70% всех видов животных. Некоторые ученые считают, что на земном шаре обитает более 2 млн. видов насекомых. Многие представители насекомых – одни во взрослом состоянии, другие в стадии личинок – живут в почвах.

Насекомые оказывают разнообразное влияние на почву. Личинки многих насекомых ведут себя как дождевые черви. Наибольшее значение имеют личинки жесткокрылых и двукрылых: проволочники – личинки щелкунов, безногие личинки долгоносиков, длинноусых и мух. В почве живут личинки некоторых бабочек и пилильщиков. Одни ведут хищный образ жизни, другие – сапрофаги. В Бразилии в некоторых скотоводческих районах долины Амазонки почва выглядит так, как будто бы ее всю перерыли. Это делают многочисленные в тех местах муравьи. Муравьи-листорезы, занимающие большие территории в Центральной и Южной Америке, могут в течение немногих часов одной колонией полностью

лишить дерево листвы и перенести ее всю в почву в свое гнездо. Их подземные жилища имеют объем небольшой хижины, а холмы вынудой земли достигают иногда десятков метров в длину и около полуметра в высоту.

Термиты не только перекапывают почву, оказывая на нее механическое воздействие, но влияют и на химический состав, температуру, капиллярность и передвижение солей. Они играют определенную роль в образовании солончаков.

Жуки-навозники выполняют санитарные функции, уничтожая помет животных и закапывая его в почву. В Австралии, где раньше, до переселения туда европейцев, не было копытных млекопитающих, местная фауна не была приспособлена к питанию навозом. Накапливаясь в огромных количествах на поверхности почвы, экскременты травоядных затрудняют рост травы и снижают производительность пастбищ. После интродукции навозников (*Onihophagus gazella*) из Африки эти жуки быстро расселились на северо-востоке Австралии и стали производить биологическую мелиорацию. Это один из ярких примеров направленного использования достижений экологии для практических целей, для повышения биологической активности почвы и продуктивности биогеоценозов.

Млекопитающие. Из млекопитающих (Mammalia) непосредственно связаны с почвой насекомоядные (Insectivora) и грызуны (Rodentia). Основная функция млекопитающих в наземных биогеоценозах – переработка первичного органического вещества, созданного растениями, и образование вторичной продукции, которая поступает в цепи питания. Кроме того, они оказывают механическое воздействие на окружающую среду, влияют на продуктивность растений и участвуют в частичной минерализации органических веществ. Все они относятся к макрофауне, и их передвижение в почве связано со значительным перемещением почвенной массы.

Грызуны (мыши, хомяки, полевки, сурки, суслики, слепцы, слепушонки, тушканчики, песчанки, пескорой, землекопы, пищухи) относятся к фитофагам. Они населяют все материки, кроме Антарктиды. Они питаются семенами разных растений, частями их стеблей, корневищами, луковицами, некоторые – грибами. Многие из них делают подземные запасы. Часть съеденного корма животные возвращают в виде непереваренных остатков в окружающую среду. Эта часть составляет от 12 у суслика до 25 % у хомяка. Во вторичную продукцию превращается лишь небольшая доля поедаемого растительного корма, приблизительно 5%.

Численность грызунов в некоторых районах достигает значительных величин. Среди млекопитающих пустыни, они составляют половину всех особей. В Алайской долине сурки местами занимают до 6% поверхности почвы. Холм (сурчина) над норкой сибирского сурка *Marmota bobac sibirica* имеет в поперечнике от 8 до 18 м и высоту около 1 м. Протяженность норы – до 60 м. Далеко не так велика деятельность тушканчиков, песчанок и сусликов, как землекопов, но из-за

количественного преобладания в пустынях роль их может быть очень большой. От мочи этих животных увеличивается щелочность поверхностных слоев почвы; в самих ходах грызунов почва всегда богаче растворимыми солями, особенно бикарбонатами. В лесных и луговых почвах норы животных влияют на характер увлажнения: они способствуют быстрому перемещению влаги после дождя из верхних слоев в нижние горизонты. По норам сусликов в полупустыне северной части Прикаспийской низменности почва увлажняется весной на глубину до 1,5 м, тогда как без нор – не глубже 50 см. Почвы, перерытые степными пеструшками, лучше сохраняют влагу от непродуктивного физического испарения.

Насекомоядные позвоночные (кроты, ежи, землеройки) оказывают на почву сходное с грызунами действие. Известно явление так называемого «кротового дренажа». Крот европейский, или обыкновенный (*Talpa europea*), – типичный обитатель лиственных лесов и речных долин. В сухих степях встречается редко, а в полупустынях, пустынях и в тундре не встречается. В рыхлой и влажной лесной почве крот прокладывает горизонтальные ходы на глубине 2–5 см, в более сухой почве – на глубине 10–50 см. Избыток земли крот выбрасывает в виде небольших кучек-кротовин. Питаются кроты почвенными беспозвоночными, главным образом дождевыми червями, а также насекомыми и их личинками. Ежи поедают жуужелиц, жуков-навозников, майских хрущей, гусениц непарного шелкопряда, муравьев.

1.3.8. Почвенные грибы

Грибы – низшие эукариотические организмы, не образующие тканей. Они составляют особое царство живой природы – Мусота. Данные палеонтологии свидетельствуют о том, что грибы возникли раньше, чем произошло разделение животных и растений в самостоятельные эволюционные линии. Раньше грибы относили к растительному царству, выделяя вместе с водорослями в группу низших (споровых) растений. Некоторые признаки грибов придают им черты сходства с растениями: полярность клетки, неограниченный верхушечный (апикальный) рост; наличие ригидной клеточной стенки, вакуолец, поперечных перегородок. Наряду с этим у грибов есть признаки, общие с животными: гетеротрофный тип питания, потребность в витаминах; наличие хитина, а не целлюлозы в клеточной стенке; образование мочевины в процессе азотного обмена; синтез гликогена, а не крахмала в качестве резервного углеводного соединения.

У грибов есть и особые признаки, присущие только этим организмам, что позволяет выделять их в самостоятельное царство живой природы. Грибы имеют мицелиальное строение, обеспечивающее им абсорбционный (осмотрофный) способ питания.

Грибы делят на макро- и микромицеты. У первых образуются крупные плодовые тела, у вторых они отсутствуют, и весь жизненный цикл у них представлен микроскопическими структурами. Основная вегетативная

структура – гифа; совокупность гиф образует мицелий, или грибницу. Гифы имеют нитевидное строение и разделены или не разделены поперечными перегородками – септами. По этому признаку грибы делят на низшие (несептированные) и высшие (септированные).

Грибы в природе распространены повсеместно. Среди них есть паразиты, хищники и сапротрофы, развивающиеся на мертвых остатках. Грибы могут быть причиной порчи многих пищевых продуктов – зерна, картофеля, а также деревянных и других сооружений, вплоть до стекла. Среди грибов есть возбудители опасных болезней человека, животных и растений.

В наземных биогеоценозах основная масса грибов обитает в почве, где их мицелий достигает общей длины 700–1000 м в 1 г почвы. Как экологическая группировка, грибы – это типичные редуценты, разлагатели органических веществ. Грибы синтезируют внеклеточные гидролитические ферменты, что обеспечивает возможность их питания такими сложными компонентами растительных тканей, как пектин, целлюлоза и даже лигнин.

Мир *Mycota* объединяет собственно грибы – *Eumycota* и слизевики – *Mухомycota*. Слизевики, или миксомицеты, – сравнительно небольшая и очень своеобразная группа организмов, вегетативное тело которых представлено голой плазменной массой, плазмодием. Плазмодий бывает разной величины: от микроскопических размеров до нескольких сантиметров в диаметре, а гигантские формы достигают 25 см. Плазмодий содержит большое количество ядер. Обладая отрицательным фототаксисом и положительным гидротаксисом, он переползает в темные влажные места (под кору деревьев, в трещины пней), где питается, как амеба, бактериями и растет. В какой-то момент развития таксисы меняются на противоположные и тогда плазмодий выползает на сухие освещенные места, где его можно увидеть в виде слизистой массы желтого, белого, оранжевого или красного цвета.

Истинные грибы делят на 4 класса. К низшим грибам с неклеточным, ценоцитным мицелием без перегородок относится один класс – зигомицеты, небольшой по объему класс, насчитывающий всего около 500 видов.

Аскомицеты (*Ascomycetes*) – сумчатые грибы. Самый обширный класс, включающий около 30 тыс. видов. Большинство видов аскомицетов – сапротрофы. Некоторые вызывают болезни культурных растений, известные как мучнистая роса, парша яблони, груши.

Базидиомицеты (*Basidiomycetes*) – самые высокоорганизованные среди грибов. Их характерный признак – образование спор (базидиоспор) экзогенно на специализированных выростах, носящих название базидий. У трутовиков, развивающихся на стволах деревьев, у шляпочных грибов мицелий многолетний. Плодовые тела очень разнообразны, размеры их от микроскопических до крупных.

У базидиомицетов с мясистыми мягкими плодовыми телами, состоящими из шляпки и ножки, спороносный слой – гименофор – бывает

пластинчатый, зубчатый и трубчатый. Это хорошо известные съедобные и ядовитые грибы, широко распространенные в лесной зоне. Часть из них – микоризообразователи, другие – подстилочные сапрофиты, участвующие в разрушении растительного опада и древесины, третьи (например, опенок осенний) – паразиты многих деревьев. Среди базидиомицетов есть интересная группа очень красивых грибов, получивших название грибов-цветков. Это гастеромицеты, имеющие замкнутые плодовые тела, внутри которых образуются базидии. Плодовые тела их имеют форму клубней, звезд, корзиночек, они разнообразно и ярко окрашены. Почти все гастеромицеты – почвенные сапрофиты. К ним относятся хорошо известные дождевики, а также земляные звездочки, гнездовки. Плодовые тела многих грибов используются в пищу. К базидиомицетам относятся и такие распространенные фитопатогенные грибы, как головневые и ржавчинные, наносящие большой ущерб посевам зерновых культур.

Несовершенные грибы (*Fungi Imperfecti*, *Deuteromycetes*) объединяют все виды, которые размножаются только бесполом путем. Размножаются они конидиями и таллоспорами – вегетативными клетками. Наиболее известны среди несовершенных гифомицетовые, которых насчитывают до 10 тыс. видов. Их особенно много в почвах. Почвенные микромицеты – это в основном несовершенные грибы.

Дрожжи. Дрожжами называют одноклеточные грибы, которые размножаются вегетативно почкованием или делением.

Дрожжи в природе находятся в основном в ассоциациях с растениями или с беспозвоночными животными, главным образом с насекомыми. Много дрожжей на листьях, в нектаре цветов, в пасоке деревьев, на плодах и фруктах. В почве дрожжей относительно немного по сравнению с другими грибами.

1.3.9. Лишайники

Лишайники (*Lichenes*) представляют собой особую группу организмов, которые обычно относят к низшим растениям. Их тело состоит из двух компонентов – гриба (микобионта) и водоросли (фикобионта). Наука о лишайниках называется лишенологией. Есть два взгляда на природу лишайников. С одной стороны, их считают специализированной группой грибов, которые перешли к постоянному сожительству с фотосинтезирующими организмами – водорослями или цианобактериями. С другой стороны, лишайники – биологически целостные организмы, имеющие свой эволюционный путь развития, что придает им черты, отличные от грибов. К настоящему времени описано до 26 000 видов лишайников, которые группируются в 400 родов. Названия лишайникам даются по их грибному компоненту. Из водорослей в качестве фикобионтов чаще всего выступают зеленые и желтозеленые, у некоторых – синезеленые.

По анатомическому строению различают лишайники с гомемерным и гетеромерным талломом (рисунок 16).

Размножаются лишайники путем отделения кусочков слоевища с последующей их регенерацией. На поверхности таллома верхний корковый слой разрывается там, где образуются скопления комочков из гифа гриба, оплетающих клетки водоросли – сорали.

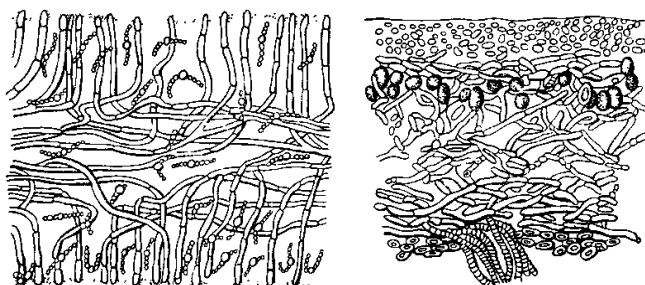


Рисунок 16 – Типы талломов у лишайников
Гомеомерный (слева) и гетеромерный

В отличие от них изидии – это закрытые выросты таллома, несущие внутри несколько клеток водорослей (рисунок 17). Лишайники могут размножаться и половым путем за счет образования грибом сумок или базидий.

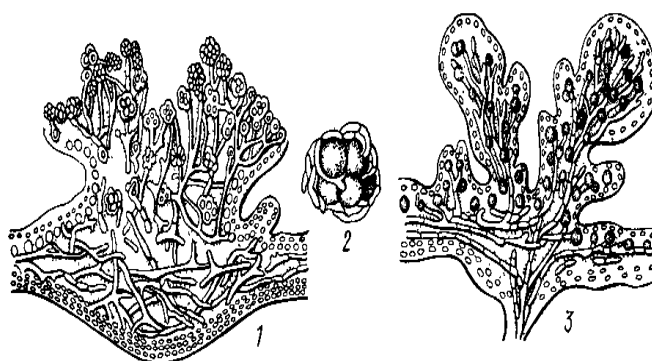


Рисунок 17 – Размножение лишайников: 1 – сораль, 2 – соредия, 3 – изидии

Растут лишайники медленно, особенно корковые. Прирост от 1 до 8 мм в год, более всего у кустистых. Средний возраст лишайников от 30 до 80 лет. Обычно они прикрепляются к неподвижному субстрату – скалам, камням, деревьям или разрастаются непосредственно из поверхности почвы, образуя корочки, комочки, кустики. Лишайники устойчивы к инсоляции и высушиванию, они способны поглощать воду из атмосферы при низкой относительной влажности воздуха. Автотрофный компонент обеспечивает гриб синтезируемым органическим веществом.

Лишайники образуют сложные органические кислоты, главным образом полифенольного ряда. Они носят название лишайниковых кислот и обладают антибиотическими свойствами. Эти кислоты воздействуют на субстрат, так как обладают хелатирующими свойствами, связывая катионы разрушаемой породы.

Лишайники имеют и хозяйственное значение. Из них получают красители орсеин и лакмус, резаноид – фиксатор запахов при изготовлении духов. Кустистые лишайники в тундре служат главной пищей для северных оленей. Так называемый олений мох, или ягель, включает 3 вида кустистых лишайников: кладонию альпийскую (*Cladonia alpestris*), кладонию лесную (*C. sylvatica*) и кладонию оленью (*C. rangiferina*). Олени поедают и другие виды лишайников, всего до 50. Иногда лишайники используют и как корм для домашнего скота (цетрария исландская – *Ceiraria islandica*). Некоторые лишайники используются в пищу человека.

В природе лишайники распространены очень широко. Лишайники живут на всех континентах Земли, включая Антарктиду.

Для исследований в области почвенной биологии представляют интерес две экологические группы лишайников – напочвенные (эпигейные) и наскальные (эпилитные). Они обычны на песках, в тундровых и полупустынных почвах, торфяниках. Кочующие лишайники распространены в сухих степях и полупустынях, в горных районах. В лесу лишайники представлены различными видами родов *Cladonia* и *Peltigera*. Особенно обильно они развиваются в сухих сосняках, где образуют сплошной покров. Среди них различают кальцефильные виды, живущие на известковых породах (*Verrucaria*, *Gasparrinia*) и кальцефобные виды, живущие на кремнеземных породах (*Lecidea*, *Lecanora*, *Rhizocarpon*).

Наиболее важна пионерная роль лишайников в заселении голых субстратов. Разрушая их, они участвуют в первичном почвообразовательном процессе, прокладывая путь высшим растениям. Отмирающие слоевища лишайников обогащают субстрат органическим веществом, служат пищей для многих беспозвоночных животных, которые живут под их защитой. Лишайники служат основой формирования примитивных биогеоценозов, выполняя функцию первичного продуцента в системе с беспозвоночными и микроорганизмами. Важную роль они играют и в процессах рекультивации земель.

1.3.10. Прокариоты

Основной признак, отличающий клетку прокариот от эукариотической клетки, – отсутствие в ней ядра, ограниченного двойной мембраной.

В природе имеется большое разнообразие прокариот, которое выражается также в морфологии, но более всего – в физиологических функциях, определяющих их участие во всех биогеохимических процессах на нашей планете. Среди прокариотов есть автотрофы и гетеротрофы, аэробы и анаэробы, психрофилы и термофилы, азотфиксаторы, олиготрофы, галофилы и т. д. и т. п. Нет на нашей планете таких соединений, которые не могли бы быть раньше или позже разложены какими-либо микроорганизмами.

Прокариотам свойственны некоторые уникальные метаболические процессы, которые не встречаются в царстве эукариот. К ним относятся: анаэробная жизнь (брожение и анаэробное дыхание), хемосинтез (образование органических веществ из CO_2 за счет энергии окисления

неорганических соединений), фиксация молекулярного азота, метано- и метилотрофия (жизнь за счет C_1 соединений). Для них характерна высокая скорость синтетических процессов и роста. Набор ферментов не фиксирован, многие из них образуются клеткой в процессе адаптации к субстрату. Микроорганизмы легко распространяются и благодаря высокой изменчивости и приспособляемости заселяют места с экстремальными условиями, создаваемыми человеком.

В природных экосистемах прокариоты выполняют вместе с грибами функцию редуцентов: разлагая все остатки и органические отходы жизни, они возвращают элементы в круговорот.

Все прокариоты относятся к группе микроскопических организмов. Размеры почвенных бактерий выражаются в микронах ($1 \text{ мкм} = 10^{-3} \text{ мм}$) и долях микрона, а их детали измеряются в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-6} \text{ мм}$). При таких малых размерах отношение поверхности к объему очень велико, следствием чего является высокая интенсивность метаболизма.

Прокариоты по численности составляют основную долю микроскопического населения почвы. Количество клеток одних только бактерий, не считая актиномицетов и цианобактерий, достигает сотен миллионов и даже миллиардов в 1 г.

Царство Procarvota подразделяется на два подцарства – Eubacteria и Archaeobacteria.

Из археобактерий для почвенной микробиологии особый интерес представляют метаногенные бактерии. Образование метана геохимически важный процесс, который в больших масштабах протекает в анаэробных условиях при наличии больших запасов органических веществ, например, в торфяных болотах. Метанобразующие бактерии превращают продукты брожения, образованные другими микроорганизмами (CO_2 , H_2 и муравьиную кислоту), в метан, выполняя таким образом функцию конечного звена трофической цепи: метан поступает в атмосферу и частично «перехватывается» метанооксиляющими бактериями – метилотрофами.

Подцарство эубактерий объединяет бактерий с грамотрицательным типом клеточных стенок (отдел Gracilicutes), с грамположительным типом (отдел Firmacutes) и организмы, у которых отсутствует настоящая клеточная стенка (отдел Mollicutes).

Грамотрицательные бактерии – фотосинтезирующие организмы, которые имеют в составе пигментов хлорофилл – Photobacteria и нефотосинтезирующие Scotobacteria. Среди фотосинтезирующих выделяют синезеленые (цианобактерии). Они отличаются от других фотосинтезирующих бактерий тем, что имеют, как и эукариотические фототрофы, хлорофилл, а качестве дополнительных пигментов – каротиноиды и особые фикобилин-протеиды. При фотосинтезе они используют воду как донор электронов и выделяют кислород. Жгутики у них отсутствуют. Неиспользующие фотосинтезирующие бактерии – пурпурные и зеленые – имеют анаэробный фототрофный метаболизм без выделения кислорода, являются обитателями водоемов, и в почвах они, как

правило, не встречаются. Из всех фотосинтезирующих бактерий наиболее существенны для почв цианобактерии.

Азотобактер (*Azotobacter*) – довольно крупные подвижные палочки с перитрихальным типом жгутикования. Свободноживущие аэробные азотфиксаторы.

Клубеньковые бактерии (*Rhizobium*) – подвижные палочки, не образующие спор. Они живут в свободном состоянии в почве, но способны внедряться через корневые волоски в корни бобовых растений и, размножаясь в клетках растения-хозяина, превращаются в неподвижные искривленные палочки – бактериоиды. На этой стадии они фиксируют азот. Под влиянием этих бактерий ткань корня разрастается и образует клубеньки.

Миксобактерии и цитофаги – слизиобразующие скользящие бактерии – наиболее активные разлагатели целлюлозы в почве в аэробных условиях.

Грамположительные бактерии – спорообразующие палочковидные бактерии составляют огромную массу почвенных микроорганизмов.

Спорообразующие бактерии – обычные обитатели почв. Общий признак для всех представителей этой группы – способность образовывать покоящиеся клетки, эндоспоры, которые обладают уникальной устойчивостью к нагреванию, токсическим веществам, ультрафиолетовому свету и ионизирующей радиации.

Бациллы (р. *Bacillus*) – аэробные свободноживущие или (редко) облигатно-патогенные подвижные организмы палочковидной формы.

Анаэробные спорообразующие бактерии были впервые описаны Л. Пастером в 1861 г. как возбудители маслянокислого брожения. Так как их споры устойчивы не только к нагреванию, но и к кислороду, то они могут долго сохраняться в аэробных условиях, где вегетативные клетки погибают. Среди спорообразующих анаэробов можно выделить четыре группы:

1. Сахаролитические, сбраживающие простые углеводы, крахмал, пектин, целлюлозу. Отличительная особенность этой группы – способность активно фиксировать молекулярный азот (например, *Clostridium pasteurianum*).

2. Клостридии, разлагающие в анаэробных условиях белки и вызывающие гниение. Среди них – возбудители раневых инфекций (столбняка, гангрены) и пищевых отравлений (ботулизм) – *Cl. tetani*, *Cl. botulinum*.

3. Пуринолитические, сбраживающие азотсодержащие гетероциклические соединения – пурины и пиримидины (*Cl. acidurici*, *Cl. cylindrosporium*).

4. Сульфатредуцирующие, окисляющие органические кислоты или водород с использованием сульфатов в качестве акцептора водорода (*Desulfotomaculum*).

Все анаэробные спорообразующие бактерии, включая возбудителей болезней, обитают в почвах. Их в природе чрезвычайно много, и они очень разнообразны, но из-за трудностей выделения и культивирования

анаэробов они относительно слабо изучены. Их роль в круговороте веществ на Земле очень велика. Они участвуют в превращениях углерода, азота, серы.

Нитчатые многоклеточные бактерии из группы грамположительных прокариот представлены родом *Caryophanon* с одним видом *C. latum*. Это крупный организм, клетки которого имеют толщину около 4 мкм и снабжены жгутиками. Клетки образуют нити до 40 мкм длиной, которые при размножении делятся на две более короткие нити. Выделяются из коровьего навоза, вместе с которым могут попадать и в почву.

Кокки – бактерии сферической формы. Они могут образовывать разные сочетания клеток и в зависимости от этого носят названия диплококков (парные), стрептококков (цепочки), стафилококков (гроздьевидные скопления) или сарцин (пакеты).

Артробактерии – типичные обитатели почвенной среды, составляющие большую долю микробной части биоты. С. Н. Виноградский называл их представителями собственно почвенной – автохтонной микрофлоры. Артробактерии – гетеротрофы, участвующие в процессах минерализации органических веществ в аэробных условиях. Их пропорция обычно возрастает в почвах, бедных свежими органическими остатками, и в экстремальных условиях. Эти бактерии составляют основную массу микробного населения почв тундры, высокогорных районов и пустынь.

Актиномицеты – ветвящиеся мицелиальные организмы, которые на уровне прокариотной организации клетки осуществляют сложные циклы развития, сходные с таковыми у грибов. Низшие их формы - нокардии обычны в почвах выполняют функцию минерализации органических веществ на поздних стадиях сукцессии. Они способны разлагать сложные соединения, в том числе и молекулы гуминовых кислот. Доля их особенно возрастает в парующих почвах.

Более сложные Актиномицеты, образующие споры, по общему плану организации напоминают грибы.

Почти все актиномицеты – свободноживущие микроорганизмы. В почве они образуют мицелий в микроразонах с высокой концентрацией органических веществ. Очень своеобразны эндофиты сем. Frankiaceae, ответственные за образование клубеньков на корнях некоторых небобовых растений (ольхи, облепихи).

1.3.11. Биоценозы зональных типов почв

Если зональные типы почв соответствуют распределению основных растительных формаций на земной поверхности, а с растениями тесно связан и животный мир почв, то относительно микробных ассоциаций в разных почвах и их специфичности вопрос представляется значительно более сложным. Кислые сиаллитные почвы формируются под лесами. Они характеризуются образованием подстилки из лесного опада и переработкой отмирающих частей растений на поверхности почвы.

Интенсивность биологического круговорота увеличивается от подзолов почв к ретисолям и лювисолям. Запасы фитомассы в тайге – около 250 т/га, в

широколиственных лесах – 400 т/га; прирост 70 и 90 ц/га соответственно. Под пологом леса и, особенно, при наличии густого травяного покрова роль микроскопических автотрофных компонентов ценоза – водорослей – в создании органического вещества в этих почвах невелика. Их биомасса составляет до 20 кг/га при значительном видовом разнообразии: до 150 видов в подзолах и более 300 в ретисолях и лювисолях. Все они сосредоточены в гумусовом горизонте. На первом месте стоят зеленые одноклеточные, затем желтозеленые и синезеленые. Диатомовых почти нет в подзолистых и довольно много в серых лесных почвах.

Переработка лесного опада идет с активным участием почвенной фауны, особенно в серых лесных почвах, где суммарная зоомасса в 4 раза выше, чем в подзолистых, а именно 200 и 800 кг/га. Численность дождевых червей увеличивается от подзолистых к серым лесным почвам и составляет в дубравах 200, а в липняках более 300 экз/м². К поверхностно-живущим видам добавляются почвенно-подстилочные виды *Octolasiumlacteum*. С деятельностью дождевых червей в этих почвах связаны начальные этапы разложения опада. В кислых сиаллитных почвах под листовыми лесами высока численность и других крупных беспозвоночных-сапрофагов. Особенно много личинок двукрылых: до нескольких сотен на 1 м². Такие представители сапрофагов, как мокрицы, энхитреиды, оставляют на поверхности почвы много экскрементов и подвергают опад значительной переработке еще до вовлечения его в почву.

В отличие от тундровых почв, в лесных почвах наибольшая численность панцирных клещей – орибатид, особенно под хвойными лесами. Микрофауна имеет здесь «орибатоидный» облик. Численность клещей составляет в среднем 60 000 экз/м² при биомассе 4–6 г/м² живого веса. Клещи участвуют в разложении хвоинок и других элементов растительного опада.

Из микроорганизмов в лесных почвах особенно многочисленны и активны грибы. Максимальное количество здесь и макромицетов, состав которых резко меняется в зависимости от лесообразующих пород деревьев. Суммарная биомасса грибного мицелия составляет 3,5–10% сухой массы подстилки и в десятки раз, превышает бактериальную составляющую. Большое разнообразие и дрожжевых грибов. Образованные грибами в процессе разложения подстилки органические кислоты воздействуют на минералы почвообразующей породы, вызывая их разрушение. Накопление гидроокисей железа, алюминия и марганца в определенных горизонтах подзолистых почв связано с деятельностью особого комплекса микроорганизмов (Аристовская, 1965, 1980). Железомарганцевые бактерии ответственны за формирование ортштейнов и ортштейновых плит в этих почвах. Разложение органо-минеральных соединений гумусовых веществ с полуторными окислами микроорганизмами-гетеротрофами играет роль в образовании иллювиальных горизонтов и оказывает влияние на скорость развития подзолистого горизонта. При избыточном увлажнении и систематическом недостатке кислорода в нижней части профиля идут активные восстановительные процессы с участием маслянокислых бактерий рода *Clostridium*. Происходит восстановление окисного железа, что связано с возникновением глеевого горизонта. Из бактерий, участвующих в круговороте азота, в этих почвах преобладают олигонитрофилы. Азотобактера в кислых почвах нет. В фиксации азота участвуют сложные комплексы бактерий с

грибами, главным образом в подстилке и верхнем гумусовом горизонте. Процесс нитрификации подавлен. Итак, для кислых сиаллитных почв под лесными ассоциациями характерно большое участие в процессах разложения опада подстилочных беспозвоночных – сапрофагов и грибов. Среди беспозвоночных преобладают дождевые черви и клещи. В минеральных горизонтах много бактерий, участвующих в превращениях железа и марганца.

Таким образом, все живое в почве взаимодействует между собой, и эти отношения называются пищевой сетью в почве. Сложные процессы взаимодействия разных групп почвенной биоты, образующих единый зоомикробиальный комплекс приводит к ускорению обмена веществ в почве, способствуют развитию почв, образованию гумуса, увеличению первичной продуктивности биогеоценозов.

Полный курс лекций приведен в учебных пособиях:

Физика почв: учебные материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1–01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/269673>. – Дата доступа 05.10.2021.

Гидрофизика почв: учеб. материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1-01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/168988>. – Дата доступа 05.10.2021.

Биология почв: учеб. материалы по спецкурсу «Биофизика почв» для студентов специальности 1–01 02 01 «География» / Н.В. Клебанович, И.А. Ефимова, Д.А. Чиж. [электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/269590>. – Дата доступа 05.10.2021.

Презентации лекций по дисциплине «Биофизика почв» доступны на сайте географического факультета БГУ <https://geo.bsu.by/index.php/departments/soil-science/present.html>.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Задания для практических и управляемых самостоятельных работ

2.1. Гранулометрический состав почв

1. На основе экспериментальных данных соответствующего варианта

1.1) определите основное и 1.2.) дополнительное (по преобладающей группе фракций) название горизонтов почвы по гранулометрическому составу;

1.3.) оцените распределение илистой фракции по профилю почвы, определив коэффициент дифференциации по илу (отношение содержаний ила в иллювиальном и элювиальном горизонтах).

1.4.) Дайте полное название почвы.

1.5.) Определите удельную поверхность горизонтов почвы по данным гранулометрического состава, исходя из средних значений УП в расчете на 1 % весового содержания

Фракции	1,0-0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
УП, м ² /г на 1 %	0,01	0,1	0,30	0,7	2,3

1.6.) Внесите полученные результаты в таблицу по форме

Горизонт	Название гранулометрического состава (2 слова)	Дополнительное название (1 слово)	Удельная поверхность, м ² /г
A ₁			
A ₂			
A ₂ B			
B			
C			

Коэффициент дифференциации по илу =

Название почвы –

Исходные данные

Вариант 1	Содержание фракций, %							
	горизонт	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A ₁			12,5	15,4	6,6	8,2	11,7	26,5
A ₂			10,2	13,2	6,6	7,0	13,9	27,5
A ₂ B			4,0	46,7	11,2	9,4	5,7	18,6
B			4,0	45,8	18,1	3,0	5,3	17,0
C			2,0	51,0	16,3	2,5	6,0	16,3

2.2. Водный баланс и его составляющие

Решение задач по балансу воды предполагает составление балансового уравнения, в котором все приходные статьи приводятся с положительным знаком, а расходные – с отрицательным. Сумма приходных и расходных статей за определенный период (невязка баланса) представляет собой изменение

запасов воды в расчетной почвенной толще: их накопление в случае положительной разности или уменьшение при отрицательной.

Пример 1. За вегетационный период транспирация составила 200 мм вода, сл., физическое испарение – 50 мм, поверхностный сток – 15 мм, внутрпочвенный (горизонтальный и вертикальный) – 20 мм, осадки – 185 мм, поверхностный приток с соседних территорий – 5 мм, внутрпочвенный горизонтальный – 5, а вертикальный – 10 мм. Рассчитать запасы воды в толще почвы заданной мощности в конце вегетационного периода, если в его начале почва имела запасы влаги 350 мм водного слоя.

Решение. Составляем балансовое уравнение. Приходные статьи (со знаком "+") – это осадки, внутрпочвенные притоки, а расходные (со знаком "-") – физическое испарение и транспирация (нередко их сумма называется эвапотранспирацией), внутрпочвенный и поверхностный стоки:

$$185 + 5 + 5 + 10 - 200 - 50 - 15 - 20 = -80 \text{ (мм водного слоя.)}$$

За вегетационный сезон потери почвенной влаги из расчетной почвенной толщи составили 80 мм. Тогда в конце вегетационного периода запасы влаги достигнут $350 - 80 = 270$ (мм в. сл.).

При решении задач, связанных с балансом влаги, первым и обязательным условием является необходимость выражения всех составляющих водного баланса в одних размерностях. Это, как правило, размерности общего количества воды. Общей чертой этих единиц (назовем их балансовыми) является то, что количество воды в них отнесено к единице площади поверхности, например, 1 га.

Итак, балансовые единицы – это отношения объема воды на единицу площади поверхности. Обычно используемые размерности: $\text{м}^3/\text{га}$, $\text{л}/\text{м}^2$, т.е. количество воды (м^3 , л) на единицу площади (га, м^2). Производные, но наиболее часто применяемые балансовые единицы (единицы длины) – $L = L^3 / L^2$. Однако, для того, чтобы подчеркнуть их принадлежность к водно-балансовым расчетам, указывают, что это высота (толщина) водного слоя (мм вода, сл., см вода. сл.). Реально эти единицы означают, какой толщины слой воды находится на поверхности независимо от ее площади. Действительно, если объем воды измерялся в м^3 , а площадь в м^2 , то слой воды на поверхности будет в м вода. сл. Последние нетрудно перевести в мм вода. сл.

Применение балансовых единиц удобно для расчетов. Так как составляющие водного баланса измеряются в различных единицах в зависимости от методов их определения, первая группа задач связана прежде всего с переводом величин составляющих водного баланса в балансовые единицы, т. е. в выражения объема воды на единицу площади или в толщину водного слоя.

Второе условие при решении балансовых задач – рассмотрение приходно-расходных статей для конкретного промежутка времени (декада, вегетационный сезон, год и т. д). При подведении баланса говорят о типе гидрологического цикла (декадного, годового, вегетационного) как о накопительном или дефицитном. Таким образом, при балансовых расчетах должна быть строго оговорена длительность расчетного периода, или гидрологического цикла.

Третье условие при решении водно-балансовых задач в почвоведении: строго оговаривается, для какого по мощности почвенного слоя проводятся расчеты. От величины этого почвенного слоя будут зависеть и распределение приходно-расходных статей, и, в конечном счете, вывод о типе гидрологического цикла. Конечным итогом при решении водно-балансовых задач чаще всего является вывод о том или ином типе гидрологического цикла определенной длительности для строго конкретной толщины почвенного слоя.

К этому типу задач примыкают и задачи по нахождению отдельных составляющих водного баланса. Это, прежде всего, задачи по определению нормы полива в случае орошения, дренажного стока при осушении, поверхностного стока, особо важного для составления противоэрозионных мероприятий. Для решения этих задач располагают данными о запасах влаги в расчетном слое, их изменении (или необходимости их изменения до определенного уровня) за данный промежуток времени и набором приходных и расходных статей за исключением одной, искомой. Далее составляется уравнение водного баланса, в котором разница приходных и расходных статей, включая искомую, приравнивается к изменению запасов влаги за определенный период в конкретном почвенном слое.

Пример 2. Транспирация, измеренная методом быстрого взвешивания срезанных побегов, составила в среднем за сутки 20 мг/г мин. Рассчитать транспирацию в мм в. сл. за 1 сутки., если биомасса растений составляет 10 ц/га.

Решение. Транспирация в указанном выражении означает, что испаряется 20 мг воды в минуту с 1 г растения. За сутки испарится $20 \text{ мг/г мин} \cdot 1440 \text{ мин} = 28800 \text{ мг/г} = 28,8 \text{ г/г} = 28,8 \text{ кг/кг} = 28800 \text{ см}^3/\text{кг}$. При биомассе растений 10 ц/га или 1000 кг/га количество транспирированной воды с 1 га составит $28800 \text{ см}^3/\text{кг} \cdot 1000 \text{ кг/га} = 28800000 \text{ см}^3/\text{га}$.

1 га-это $100 \text{ м} \cdot 100 \text{ м} = 10000 \text{ м}^2 \cdot 10000 = 10^8 \text{ см}^2$.

Для расчёта транспирации в см водного слоя надо количество транспирированной воды в см отнести к площади, выраженной также в см^2 , т. е. $2,88 \cdot 10^7 \text{ см}^3 : 10^8 \text{ см}^2 = 0,288 \text{ см водного слоя./сут.}$

Влажность почвы, W, обычно определяют как отношение массы воды в образце к массе абсолютно сухой почвы данного образца,

$$W, \% = (M_{\text{вл}} - M_{\text{сух}}) / M_{\text{сух}} \cdot 100 \quad (1)$$

Такое выражение носит название массовой влажности, или влажности в массовых (уст. — весовых) процентах. Оно обозначает, что масса воды составляет определенный процент от массы абсолютно сухой почвы. Влажность обычно определяют так называемым термовесовым методом. В этом методе в алюминиевый стаканчик помещают образец исследуемой на влажность почвы, взвешивают, сушат его до абсолютно сухого состояния и вновь взвешивают. Отдельно взвешивают и стаканчик. Если известны массы: масса стаканчика (M_1), масса стаканчика с влажной почвой (M_2) и масса стаканчика с абсолютно сухой почвой (M_3), то влажность рассчитывают по формуле:

$$W = (M_2 - M_3) / (M_3 - M_1) \cdot 100\% \quad (2)$$

Пример 3. Рассчитать влажность почвы, если масса стаканчика 22,5 г, масса стаканчика с влажной почвой - 65,4 г, а после сушки - 55,1 г.

Решение. Используем формулу (2): $65,4 - 55,1 / 55,1 - 22,5 = 31,6 \%$.

Указывать более одного знака после запятой для термовесового метода нецелесообразно, а иногда даже ошибочно.

Нередки случаи, когда приходится решать и иные задачи, связанные с определением не только влажности, но и массы абсолютно сухой почвы, массы воды в образце и др. Например, часто для экспериментальных работ бывает необходимо рассчитать количество добавляемой в почву воды для поддержания влажности или создания в почве влажности, близкой к какой-либо величине. Рассмотрим несколько конкретных примеров решения подобных задач.

Пример 4. В специальном опыте с почвенным монолитом размерами $10 \cdot 10 \cdot 20$ см необходимо создавать влажность, близкую к наименьшей влагоемкости (НВ) = 17 %. Сколько необходимо прилить воды, если начальная влажность монолита 5 %, а его масса – 2,7 кг?

Решение. Рассчитаем количество воды, содержащееся в монолите перед поливом. Для этого сначала необходимо рассчитать массу абсолютно сухой почвы. Это можно сделать на основании некоторой трансформации вышеприведенной формулы (1): $2,7 \cdot 100/105 = 2,57$ кг.

Рассчитываем количество воды в монолите: $M_{\text{воды}} = M_{\text{вл}} - M_{\text{сух}} = 0,13$ кг. Рассчитаем количество воды в монолите при НВ = 17 %. Зная абсолютно сухую массу почвы, это нетрудно сделать (см. формулу 1): $M_{\text{сух}} \cdot 17 / 100 = 0,44$ (кг). Следовательно, количество воды для создания влажности, равной НВ, должно составить: $0,44 - 0,13 = 0,31$ кг.

Возможны задачи подобного типа, связанные со специальными экспериментами, в которых необходимо рассчитать последовательно меняющуюся влажность почвы, если известны конечная влажность и количество вытекающей (испаряющейся) из почвенного образца воды. Решение этих задач иногда называют "методом обратного пересчета", этот метод широко используется в гидрофизических исследованиях.

Пример 5. При дренировании почвенного образца, сначала, на первом этапе, вытекло 5 мл, а затем, на втором при более высоком разрежении – 1,5 мл. Конечная влажность почвы и масса образца составили 23 % и 500 г. Определить влажность почвы на первом и втором этапах дренирования, а также начальную влажность.

Решение. Рассчитаем массу абсолютно сухого образца почвы
$$(M_{\text{вл}} \cdot 100) / (100 + W) = 500 - 100 / (100 + 23) = 406,5 \text{ г}$$

Количество воды в образце в конце эксперимента составит $500 - 406,5 = 93,5$ г. Количество воды в почве после второго этапа дренирования $93,5 + 1,5 = 95$ г, влажность после первого этапа (или перед вторым этапом): $95 / 406,5 \cdot 100 = 23,4$ %.

Точно так же можно определить сначала количество воды, а затем и влажность в начале эксперимента: количество воды $95 + 5 = 100$ г, влажность $W = 100 / 406,5 = 24,6$ %.

В целом можно отметить, что задачи подобного типа, свойственные в основном лабораторным экспериментам, связаны с последовательным определением массы воды, массы влажной почвы или массы абсолютно сухой почвы по известной влажности почвы и одной из перечисленных масс.

Для выражения влажности в объемных процентах или нахождения объемной влажности, объем воды относят к объему почвы:

$$O, \% = (\text{объем воды} / \text{объем почвы}) \cdot 100\%.$$

Объемная влажность обозначает, что в рассматриваемом объеме почвы вода занимает определенный процент этого объема; остальной объем почвы занят воздухом и твердой фазой. Для того, чтобы перейти от массовых к объемным процентам надо массу воды и абсолютно сухой почвы разделить на соответствующие плотности воды и почвы (ρ_w и ρ_n), так как для большинства естественных ρ_w можно принять близкой к 1 г/см^3 , то $O_{\text{вл}} = (M_{\text{воды}}/1) / (M_{\text{сух}}/\rho_n) \cdot 100 = W \cdot \rho_n$ т. е. для перевода массовой влажности в объемную необходимо массовую влажность в процентах умножить на плотность почвы (в г/см^3).

Относительная влажность: процентное отношение массовой (объемной) влажности к массовой (объемной) влажности при НВ, выраженных в процентах. Например, реальная влажность составляет 22 %, влажность при НВ 28 %, тогда относительная влажность равна $22 : 28 = 78,6 \%$. Величины относительной влажности используются в мелиорации в качестве характерных, практически независимых от вида почвы значений, при которых следует начинать полив - предполивных порогов. К примеру, при орошении наиболее часто принимают в качестве предполивного порога относительную влажность 70 %, что означает, что при достижении в почве относительной влажности 70 % необходимо начинать полив и продолжить его до тех пор, пока относительная влажность почвы не достигнет 100 %.

Запасы влаги (ЗВ) – балансовое выражение количества воды в определенном слое почвы (мм водного слоя, $\text{м}^3/\text{га}$). Чаще всего исходной информацией для расчета запасов служит массовая влажность. Для расчета запасов используют уравнение

$$\text{ЗВ, мм водного слоя.} = W \cdot \rho \text{ (г/см}^3\text{) } h \text{ (см) } / 10 \quad (3)$$

$$1 \text{ мм водного слоя} = 10 \text{ м}^3/\text{га}$$

При расчете запасов влаги в заданной толще почвы нередки случаи, когда рассматриваемая толща почвы состоит из нескольких горизонтов (слоев), отличающихся по мощности и плотности почвы. Для расчета запасов влаги в этом случае необходимо иметь для каждого горизонта (слоя) рассматриваемой толщи влажность в данный момент времени и плотность почвы, желательно для данной влажности почвы. По указанным выше формулам рассчитывают запасы для каждого горизонта (слоя), а затем их суммируют и определяют запасы воды во всей рассматриваемой толще.

Пример 7. Рассчитать запасы влаги в 150-сантиметровой толще почвы, если влажность слоев 0–10, 10–20, 20–50, 50–100, 100–150 см составляют 15, 17, 20, 22 и 18 %, а их плотность – 1,11, 1,21, 1,34, 1,36, 1,30 г/см^3 .

Решение. Рассчитаем запасы влаги для каждого слоя в отдельности.

$$\text{Для слоя 0–10: } \text{ЗВ (1)} = 15 \cdot 1,11 \cdot 10/10 = 16,50 \text{ (мм водного слоя)}$$

$$\text{Для слоя 10–20: } \text{ЗВ (2)} = 17 \cdot 1,1 \cdot 10/10 = 20,57 \text{ мм}$$

$$\text{Для слоя 20–50: } \text{ЗВ (3)} = 20 \cdot 1,34 \cdot 30/10 = 80,4 \text{ мм}$$

$$\text{Для слоя 50–100: } \text{ЗВ (4)} = 22 \cdot 1,36 \cdot 50/10 = 149,6 \text{ мм}$$

$$\text{Для слоя 100–150: } \text{ЗВ (5)} = 18 \cdot 1,30 \cdot 50/10 = 117,0 \text{ мм}$$

Запасы влаги в 150-сантиметровой толще почвы составляют:

$ЗВ(1) + ЗВ(2) + ЗВ(3) + ЗВ(4) + ЗВ(5) = 16,50 + 20,57 + 80,40 + 149,6 + 117,0 = 384,07$ мм водного слоя.

Задача 1 (1.1 и 1.2). Рассчитать, используя данные соответствующего варианта таблицы, массу образца абсолютно сухой почвы, если известна масса воды в образце и начальная влажность (задача 1.1), либо масса образца и начальная влажность (задача 1.2):

Вариант	Задача 1.1		Задача 1.2	
	Масса воды в образце, г	Начальная влажность, %	Масса образца, кг	Начальная влажность, %
1	42	15	3,0	7
2	35	14	2,9	8
3	32,5	13	2,8	9
4	30	12	2,7	10
5	33	11	2,6	11
6	29	10	3,0	12
7	27	9	2,9	13
8	22	8	2,8	14
9	28	7	2,7	15
10	18	6	2,6	16

Задача 2 (2.1 и 2.2). Рассчитать, используя данные соответствующего варианта таблицы, количество воды, необходимое для достижения влажности 20 % образцом почвы размерами 15 • 15 • 10 см, если известны плотность образца почвы и начальная влажность (задача 2.1) либо масса образца и начальная влажность (задача 2.2):

Вариант	Задача 2.1		Задача 2.2	
	Плотность почвы, г/см ³	Начальная влажность, %	Масса образца, кг	Начальная влажность, %
1	1,4	15	3,0	7
2	1,5	14	2,9	8
3	1,3	13	2,8	9
4	1,2	12	2,7	10
5	1,2	11	2,6	11
6	1,3	10	3,0	12
7	1,4	9	2,9	13
8	1,5	8	2,8	14
9	1,5	7	2,7	15
10	1,2	6	2,6	16

Задача 3. Рассчитать величину поверхностного стока за двухдекадный период по данным соответствующего варианта таблицы

Вариант	Осадки, мм	Транспирация, мг/г мин.	Биомасса растений, ц/га	Интенсивность физического испарения, м ³ /га в сутки	Внутрипочвенный сток, мм
1	20	0,32	7	1,6	5
2	24	0,30	8	1,4	6
3	28	0,28	9	1,2	7
4	32	0,26	10	1,0	8
5	36	0,24	11	U	9
6	33	0,25	12	1,3	5
7	30	0,27	13	1,5	6
8	27	0,29	14	1,7	7
9	24	0,31	15	1,9	8
10	21	0,33	16	1,5	9

Задача 4. Транспирация за вегетационный период (4 месяца) при благоприятной влагообеспеченности составляет 400 мм. Необходимо ли дополнительное орошение в данных условиях (таблица)? Если да, то какова норма полива?

Вариант	Осадки, мм	Суммарное испарение с поверхности почвы, м ³ /га	Запасы воды в пахотном слое в начале периода, мм	Запасы воды в пахотном слое в конце периода, мм
1	420	25	400	250
2	240	15	390	220
3	280	17	380	240
4	240	18	320	170
5	220	16	300	180
6	160	21	290	200
7	140	20	280	200
8	350	16	400	260
9	370	14	440	300
10	240	15	330	210

Задача 5. Рассчитать, используя данные соответствующего варианта таблицы, внутрипочвенный сток за пределы метровой толщи почвы за весенний период (50 сут).

Вариант	Осадки, мм	Суммарное испарение с поверхности, мм/сут	Поверхностный сток, мм	Запасы воды в метровом слое в начале периода, мм	Запасы воды в метровом слое в конце периода, мм
1	160	0,28	10	400	320
2	150	0,32	и	390	310ч
3	140	0,34	12	380	300
4	130	0,36	13	320	260
5	120	0,38	14	300	250
6	145	0,40	15	290	240
7	135	0,36	16	280	230
8	125	0,28	17	400	330
9	155	0,36	18	440	350
10	140	0,30	19	330	250

Задача 6. Рассчитать по данным своего варианта таблицы водного баланса за вегетационный сезон (120 дней). Горизонтальный поверхностный и внутрипочвенный стоки не наблюдались. Чем обусловлена невязка?

Вариант	Осадки, мм	Среднее значение эвапотранспирации, мм/сут	Запасы воды в метровом слое в начале периода, мм	Запасы воды в метровом слое в конце периода, мм
1	260	1,2	240	180
2	270	1,15	230	180
3	260	1,0	220	150
4	300	1,05	210	140
5	240	1,0	200	160
6	210	0,95	190	120
7	180	0,9	180	160
8	170	0,85	170	150
9	350	1,0	250	130
10	370	1,0	260	200

2.3. Расчет глубины проникновения осадков, подъема грунтовых вод, поливной и оросительной норм

В почвоведении нередко задачи, когда требуется определить мощность промоченной после осадков (орошения) толщи почвы или вычислить, на сколько поднялись фунтовые воды при проникновении в них некоторого количества инфильтрационной влаги. По сути, эти задачи являются обратными по отношению к ранее рассматриваемым задачам по определению запасов влаги. Если в задачах по определению запасов влаги исходными параметрами служили влажность плотность почвы и мощность слоя, то в задачах по определению мощности промоченного слоя, напротив, должны быть известны запасы воды до и после осадков (или изменение запасов воды), влажность и плотность почвы.

К примеру, известны осадки (O_c , мм), плотность почвы (ρ , г/см³) и исходная, до выпадения осадков, влажность почвы (W , %). Требуется определить увлажненную толщу почвы (h , см), или иначе говоря, толщу почвы, которая

после выпадения осадков приобрела влажность, равную НВ. Решение такого рода задач состоит в следующем. При увеличении влажности почвы от исходной до НВ запасы воды (ЗВ) в толще должны увеличиться на $(НВ - W) * p/10 * h$

В данном случае увеличение ЗВ целиком обусловлено осадками, т.е.

$$O_c = (НВ - W) * p/10 * h \quad (4)$$

В этом уравнении неизвестно лишь h , относительно которого его и нетрудно решить в общем виде (если осадки выражены в мм)

$$h = O_c * 100 / [(НВ - W) * p], \text{ см} \quad (5)$$

Решение подобных задач для реальных условий осложняется природным распределением исходной влажности почвы и различием почвенных слоев по плотности почвы и величинам НВ. В этом случае, последовательно решают задачи заполнения различных почвенных слоев до величин НВ, вплоть до некоторого конечного слоя.

Известно, что величина НВ – количество воды, которое почва в состоянии удержать своими сорбционно-капиллярными силами. Если в слой почвы поступило такое количество воды, что запасы воды в этом слое превысили запасы при НВ, то избыток влаги сверх запасов при НВ перетечет в нижележащий слой. Понятно, что этот избыток равен разности количества воды, поступившей в слой (в балансовых единицах), и запаса воды в слое при НВ. Рассмотрим задачу такого рода в общем случае. В почве имеется 3 слоя с влажностями W_1, W_2, W_3 , плотностями ρ_1, ρ_2, ρ_3 и НВ: $НВ_1, НВ_2, НВ_3$. Мощности этих слоев h_1, h_2, h_3 . Необходимо рассчитать мощность промоченного до НВ слоя при выпадении осадков O_c (см). Рассчитаем количество влаги, необходимое для доведения влажности в 1-м слое от W_1 до НВ, (задачу решаем в размерности см водного слоя.):

Предположим, что в данном случае количество осадков значительно превысило $ЗВ_1$, $O_c > ЗВ_1$. Это означает, что осадки промочили первый слой и проникли глубже. Тогда необходимо посчитать и ЗВ для второго слоя:

$$\Delta ЗВ_2 = (НВ_2 - W_2) * \rho_2 * h_2 * 100$$

Аналогично рассчитываются запасы влаги и для третьего слоя.

Предположим, что в этом случае, количество воды, оставшейся после промачивания первого и второго слоев меньше $ЗВ_3$: $O_c - ЗВ_1 - ЗВ_2 < ЗВ_3$. Это говорит о том, что фронт увлажнения находится в третьем слое почвы. Можно рассчитать, на какую глубину проникла поступившая в третий слой вода. Как и в предыдущем примере по формуле (5) можно рассчитать глубину проникновения фронта увлажнения по известным $НВ_3, \rho_3, W_3$:

$$h = (O_c - ЗВ_1 - ЗВ_2) * 100 / (НВ_3 - W_3) * \rho_3, \text{ см}$$

В результате мощность промоченного слоя после выпадения осадков O_c составит $h_1 + h_2 + h$, т.е. осадки увлажняют до НВ первый слой мощностью h_1 , второй слой мощностью h_2 , а в третьем слое увлажняют лишь прослойку толщиной h .

Пример 8. Почва состоит из гор. Ап, А_в В. Мощности этих горизонтов 20, 12, и 16 см, плотности в них 1,15; 1,33 и 1,36 г/см³, влажности 17, 21 и 24%, а НВ – 21, 24 и 26 %. На почву поступило 1,5 см осадков. Рассчитать глубину промачивания.

Решение. Изменение запасов влаги в гор. Ап при увлажнении его от исходной влажности до НВ составил $\Delta ZB = (21 - 17) \cdot 1,15 \cdot 20 = 0,92$ (см водного слоя).

Количество осадков значительно больше, они проникли глубже горизонта Ап. Для гор. A_1 : $\Delta ZB = (24-21) \cdot 1,33 \cdot 12 = 0,479$ см водного слоя И в этом случае сумма запасов влаги в горизонтах Ап и A_1 , (1,399 см) меньше, чем количество выпавших осадков. Значит, осадки проникли в гор. В. Необходимо посчитать и изменение ZB в гор. В (ΔZB): $(26-24) \cdot 136 \cdot 16 / 100 = 0,435$ (см водного слоя).

В этом случае, ΔZB в верхних трех горизонтах (1,834 см водного слоя.) превышает количество выпавших осадков (1,5 см). Это означает, что фронт увлажнения находится в гор. В. Можно рассчитать и слой, который промочили поступившие в гор. В осадки: количество поступившей сюда воды составляет. $1,5 - 1,399 = 0,101$ см водн. сл. Толщина промачиваемого слоя в гор. В составит $0,101 \cdot 100 / [(26-24) \cdot 1,36] = 3,7$ см.

Общая мощность промоченного слоя после выпадения 15 мм осадков составит $20+12+3,7 = 35,7$ см.

Следующими задачами подобного типа являются задачи по наполнению порового пространства до водовместимости, в частности, расчет подъема уровня грунтовых вод при проникновении в них некоторого количества воды. Должны быть известны:

- 1) количество воды, проникшее в грунтовые воды;
- 2) водовместимость почвы (породы) на уровне грунтовых вод, принимаемая обычно равной общей пористости (но с учетом того, что пористость, рассчитанная по плотности почвы и твердой фазы, выражена в объемных единицах, а требуется выражение ПВ в массовых %, необходим пересчет) и ее плотность;
- 3) исходная влажность (распределение влажности) в почве (породе) в зоне над грунтовыми водами. Обычно в зоне капиллярной каймы влажность можно принять равной НВ. Тогда количество влаги, поступившее в грунтовые воды увеличивает влажность от НВ до водовместимости, поднимая, таким образом, уровень грунтовых вод на высоту h . А это уже известная нам задача по расчету глубины промачивания, в которой все сводится к применению формулы, аналогичной (5);

$$h, \text{ см} = Q \cdot 100 / (ПВ - НВ) \cdot \rho$$

где Q – количество воды, поступившее в грунтовые воды, см водного слоя; ПВ – полная влагоемкость, массовые %.

Пример 9. После выпадения осадков в грунтовые воды проникло $Q = 10$ мм водн. сл. воды. Супесчаный грунт на уровне грунтовых вод характеризуется НВ 12 %, $\rho = 1,45$ г/см³ и ПВ = 45,7 %. Определив, на какую высоту поднимутся грунтовые воды после выпадения осадков.

Решение. Используем вышеприведенную формулу по расчету высоты капиллярного подъема уровня грунтовых вод (учитывая, что 1 см водного слоя = 10 мм водного слоя):

$$h = 1 - 100 / [(45,7 - 12) \cdot 1,45] = 2,05 \text{ см}$$

Таким образом, грунтовые воды поднялись на высоту около 2 см при проникновении в них 10 мм влаги.

В природных условиях осадки выпадают, как правило, на ненасыщенную влагой почву, насыщая почву до НВ и стекая вниз по профилю, проникают в грунтовые воды. В этом случае, чтобы рассчитать поднятие уровня грунтовых вод необходимо определить, какое количество из поступивших на поверхность почвы осадков ушло на насыщение толщи почвы от поверхности до капиллярной каймы до величины НВ. Оставшееся количество проникло в грунтовые воды и увеличило их уровень. Таким образом, подобные задачи являются общими для двух рассмотренных типов. Решение их аналогично.

Пример 10. До выпадения осадков супесчаная почва имела влажность в слоях 0–10 см – 5 %, 10–25 см – 9 %, грунтовые воды находились на глубине 50 см, высота их капиллярного поднятия 25 см. Порозность и плотность почвы равны соответственно 45,7 % и 1,45 г/см³, НВ = 12 %. На поверхность почвы выпало 100 мм осадков. На какую высоту поднимутся грунтовые воды?

Решение. Для данного типа расчетов с некоторым приближением можно считать распределение влажности в пределах капиллярной каймы равномерным и равным НВ. Осадки, прежде чем проникнуть в капиллярную кайму, должны насытить слой почвы 0–25 см до НВ. Определим, какое количество вод пойдет на это; рассчитываем по формуле $(НВ - W) \cdot h \cdot \rho$

Для слоя 0–10 см ЗВ (1) = $(12-5) \cdot 10 \cdot 1,45 = 1,015$ см,

для слоя 10–25 см ЗВ (2) = $(12-9) \cdot 15 \cdot 1,45 = 0,653$ см.

Таким образом, на насыщение верхней 25-сантиметровой толщи, т. е. до уровня капиллярной каймы, ушло $1,015 + 0,653 = 1,668$ (см). В грунтовые воды проникло $10 - 1,668 = 8,332$ (см). Осталось рассчитать повышение уровня грунтовых вод, учитывая, что в грунтовые воды проникло 8,332 см вода. сл. $h = Q \cdot 100 / [(НВ - W) \cdot \rho] = 8,332 \cdot 100 / [(45,7 - 12,0) \cdot 1,45] = 17,05$ см.

Вариант	Начальная влажность в слое (см), %					Конечная влажность в слое (см), %				
	0–10	10–20	20–40	40–60	60–100	0–10	10–20	20–40	40–60	60–100
1	27,0	26,5	26,0	25,5	25,0	26,0	25,5	25,0	23,5	23,5
2	26,5	26,0	26,0	25,0	23,0	25,0	25,0	24,0	23,0	21,0
3	26,0	25,0	25,0	24,0	24,0	24,0	24,0	23,0	22,0	21,0
4	18,0	17,0	17,0	16,0	14,0	17,0	15,0	14	13	12
5	15,0	14	14	12	14	14	12	12	11	12
6	16,0	15	13	12	12	14	14	12	11	10
7	27,0	25	26	24	24	25	24	24	22	21
8	18,0	17	17	16	14	16	15	14	13	12
9	13,0	12	12	10	9	12	11	10	8	8
10	16	16	15	13	12	14	14	13	12	10

Вариант	Плотность в слое (см), г/см ³					Осадки мм	Испарение мм	Транспирация м ³ /га
	0–10	10–20	20–40	40–60	60–100			
1	1,15	1,19	1,32	1,45	1,56	18	5	310
2	1,20	1,24	1,36	1,48	1,60	20	6	300
3	1,36	1,38	1,45	1,50	1,56	22	6	360
4	1,30	1,32	1,38	1,40	1,58	12	3	350
5	1,34	1,33	1,41	1,42	1,66	16	5	340
6	1,30	1,33	1,40	1,40	1,60	18	8	320
7	1,26	1,28	1,42	1,52	1,59	30	10	360
8	1,21	1,23	1,36	1,38	1,52	32	10	360
9	1,09	1,12	1,36	1,37	1,46	14	7	240
10	1,40	1,41	1,43	1,56	1,70	15	8	230

Задача 9. Рассчитать, используя данные соответствующего варианта таблицы, на какую глубину промочат почву осадки конкретного размера при данной НВ; плотность и конечную влажность взять из предыдущей задачи.

Вариант	Плотность в слое (см), г/см ³					Осадки мм	Испарение мм	Транспирация м ³ /га
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-100			
1	1,15	1,19	1,32	1,45	1,56	18	5	310
2	1,20	1,24	1,36	1,48	1,60	20	6	300
3	1,36	1,38	1,45	1,50	1,56	22	6	360
4	1,30	1,32	1,38	1,40	1,58	12	3	350
5	1,34	1,33	1,41	1,42	1,66	16	5	340
6	1,30	1,33	1,40	1,40	1,60	18	8	320
7	1,26	1,28	1,42	1,52	1,59	30	10	360
8	1,21	1,23	1,36	1,38	1,52	32	10	360
9	1,09	1,12	1,36	1,37	1,46	14	7	240
10	1,40	1,41	1,43	1,56	1,70	15	8	230

Отметим, что такого рода расчеты, основанные на использовании балансовых соотношений и гидрологических констант (НВ, ПВ), не дают высокой точности. Они не учитывают ряда явлений, таких как распределение влажности в пределах капиллярной каймы, длительности инфильтрации влаги и протекающего в это время испарения с поверхности почвы, сложность природы (а нередко и непостоянство) величины НВ, процессы набухания и усадки и пр.

Более строгие расчеты возможны с применением термодинамического аппарата гидрофизики почв. Однако и приведенный выше балансовый под ход может быть использован в различных почвенно-гидрологических, генетических, а также в прикладных, мелиоративных исследованиях. До настоящего времени эти расчеты лежат в основе определения важнейших параметров оросительных систем, таких как норма полива и др.

Расчеты запасов влаги в конкретной толще почвы лежат в основе определения нормы полива. Напомним, что норма полива (или поливная норма) - это количество поливной воды, выраженное в балансовых единицах (мм вода, сл., м³/га), необходимое для покрытия дефицита влаги в расчетном слое почвы.

Дефицит влаги – разница запасов воды в рассматриваемом слое почвы при данной влажности и при НВ. Иначе говоря, норма полива – количество поливной воды, необходимое для увлажнения почвы от данного состояния по влажности до НВ в рассматриваемом слое почвы. Расчет нормы полива (НВ) ведут по формуле:

$$\text{НП} = (\text{НВ} - W) \cdot p \cdot h \cdot 0,1 \text{ мм водного слоя или } \text{НП} = (\text{НВ} - W) \cdot p \cdot h, \text{ м}^3/\text{га}$$

Если почва сложена из различающихся по своим свойствам горизонтов, расчет ведут для каждого горизонта в отдельности, а суммирующую норму полива определяют сложением полученных дефицитов влаги для всех рассматриваемых слоев.

Пример 11. Требуется полить кальцисоль. Расчетный слой 100 см, в котором имеются слои с различными плотностями почвы: 0–40 см = 1,1 г/см³, 40–80 см = 1,34 и 80–100 см = 1,41 г/см³. Текущие (предполивные) влажности этих слоев 15, 20 и 18 %, а НВ соответственно 28,26 и 24 %. Определить норму полива.

Решение.

Дефицит влаги в 1-м слое (0—40 см): $(28 - 15) \cdot 1,1 \cdot 40 = 57,2$ мм,

во 2-м слое (40–80 см) $(26 - 20) \cdot 1,34 \cdot 40 = 32,16$ мм,

в 3-м (80–100 см) $(24 - 18) \cdot 1,41 \cdot 20 = 16,92$ мм.

Норма полива будет являться суммой дефицитов всех слоев и равна $57,2 + 32,16 + 16,92 = 106,28$ мм водного слоя или около 1063 м³/га.

Для большинства сельскохозяйственных культур предполивной порог принимают равным 70–75 % (в единицах относительной влажности). Контроль за приближением текущей влажности к предполивному порогу осуществляется режимными наблюдениями за влажностью почвы, давлением влаги (тензиометрами), за физиологическими показателями состояния растений. Величина расчетного слоя изменяется в зависимости от свойств почвы, вида сельскохозяйственных культур, способа орошения и т. п. Например, для условий гумидной зоны при дождевании расчетный слой принимают для трав и поливных культур при развитой корневой системе 0,3–0,5 м, для садов 0,4–0,6 м.

В рассмотренном выше примере рассчитывалась поливная норма нетто, т.е. норма полива без всякого рода потерь (на испарение, транспирацию, поверхностный сток). В действительности, за время полива происходят потери на испарение и транспирацию, которые следует добавить к норме полива. При наличии поверхностного стока учитывают и эти потери. Кроме того, в регионах, где возможна реставрация засоления заведомо увеличивают норму полива для отмывки солей из корнеобитаемого слоя в дренажные воды. Это увеличение нормы полива вводится обычно при помощи коэффициента, устанавливаемого экспериментально. С учетом всех потерь, а также возможных осадков за период полива рассчитывают норму полива брутто. Фактически расчет нормы полива брутто является сведением водного баланса для расчетного слоя почвы за период полива.

Пример 12. Дождеванием требуется полить поле люцерны. Расчетный слой 80 см, предполивной порог 70 % НВ, НВ и плотность почвы для слоя 0–40 см 29 % и 1,2 г/см³, а для слоя 40–80 см – 25 % и 1,36 г/см³. Определить поливную норму брутто, если испарение с поверхности почвы составляет 2,5 мм/сут, испарение поливной воды при поливе 0,6 мм/сут., транспирация воды люцерной 8 мм/сут. Полив 2 суток. Решение. Рассчитаем поливную норму нетто.

Для 1-го слоя (0–40 см) предполивной порог в массовом выражении составит $0,7 \cdot 29 = 20,3$ %, а норма полива $(29,0 - 20,3) \cdot 1,2 \cdot 40 = 41,76$ мм водн.сл,

для 2-го слоя (40–80 см) предполивной порог составит $25 \cdot 0,7 = 17,5$ %, а норма полива $(25,0 - 17,5) \cdot 1,36 \cdot 40 = 40,8$ мм водного слоя.

Поливная норма нетто в этом случае составит $40,8 + 41,76 = 82,56$ (мм водного слоя). За время полива на испарение с поверхности почвы затрачено $2,5$ мм/сут $\cdot 2$ сут = 5 мм, на испарение поливной воды $0,6 \cdot 2 = 1,2$ мм, а на транспирацию – 8 мм/сут $\cdot 2$ сут = 16 мм водного слоя. Эти потери необходимо прибавить к поливной норме нетто для расчета поливной нормы брутто: $82,56 + 1,2 + 5,0 + 16 = 104,75$ мм или около 1050 м³/га. Подобный тип задач является характерным для водобалансовых мелиоративных расчетов.

Следует четко различать норму полива и норму орошения (оросительную норму). Норма орошения нетто – это сумма норм полива нетто за весь период, а норма орошения брутто – количество воды, забираемое из источника орошения за весь период. Обычно норму орошения нетто рассчитывают также водобалансовым методом:

$$M_n = E - O_c - 3B - G_p,$$

где M_n – норма орошения нетто, E – эвалотранспирация, O_c – осадки, $3B$ – внутрипочвенные используемые запасы и G_p – грунтовый приток.

При норме орошения брутто учитывают потери воды непосредственно на орошаемом поле (на испарение с поверхности почвы и при поливе) и при доставке воды от источника до поля. Первый вид потерь учитывается при помощи введения коэффициента потерь (P всегда больше 1), второй и – за счет КПД водопроводящей части оросительной системы (всегда меньше 1). А рассчитывается поливная норма брутто (M_b) по формуле

$$M_b = M_n \cdot \beta / \eta,$$

где β – коэффициент потерь, η – КПД подводящей системы. Величина нормы орошения брутто используется при проектировании оросительных систем.

Пример 13. В года со средней обеспеченностью водопотребление сельскохозяйственных культур за вегетационный сезон составляет 400 мм, осадки – 120 мм, запасы в расчетном слое уменьшаются от 105 до 85 мм, а грунтовый приток -150 мм вода сл. Рассчитать норму орошения брутто при КПД водопроводящей системы η 0,95 и коэффициенте потерь β 1,15.

Решение. Определяем норму орошения нетто, составляя балансовое уравнение

$$M_n = 400 - 120 - (105 - 85) - 150 = 110 \text{ мм водного слоя}$$

$$M_b = 110 \cdot 1,15 / 0,95 = 133,2 \text{ мм водного слоя.}$$

Задача 10. Полив в течение 2 суток промочил почву до глубины 50 см. Рассчитать норму полива (брутто), если эвапотранспирация с поверхности почвы составила 5 мм/сут. За исходное состояние почвы принять условия соответствующего варианта из задачи 8, а НВ – из задачи 9.

Задача 11. В специальном лабораторном опыте необходимо поддерживать влажность, равную НВ. Рассчитайте, используя данные соответствующего варианта таблицы, сколько необходимо прилить воды, чтобы достичь влажности, соответствующей НВ?

Какова должна быть масса образца почвы при НВ?

Вариант	W,%	НВ, %	Масса образца, г	Вариант	W,%	НВ, %	Масса образца, г
1	6	27	60	6	6	17	42
2	7	26	56	7	7	16	40
3	8	25	52	8	8	15	38
4	9	24	48	9	9	14	36
5	10	23	44	10	10	13	100

Задача 12. После снеготаяния грунтовые воды поднялись с глубины 80 до 60 см. Рассчитать количество талой воды, поступившей на поверхность почвы, если высота капиллярного подъема – 40 см, а плотность твердой фазы почвы в среднем для профиля – 2,65 г/см³.

Вариант	Начальная влажность в слое (см), %				НВ в слое (см), %					Плотность, г/см ³	
	0 - 10	10- 25	25- 40	40- 60	0- 10	10- 25	25- 40	40- 60	60- 100	слой 0- 25 см	слой 25-100 см
1	14	15	16	21	17	18	19	21	22	1,3	1,5
2	15	13	12	12	16	14	13	12	12	1,2	1,6
3	16	14	13	16	19	18	16	16	16	1,2	1,5
4	18	18	16	16	22	21	20	16	15	1,1	1,6
5	15	15	11	16	20	19	16	16	14	1,1	1,5
6	13	15	12	16	18	18	16	16	15	1,3	1,6
7	12	14	9	13	16	16	14	13	13	1,3	1,5
8	11	11	8	12	15	14	13	12	11	1,4	1,6
9	9	9	7	10	13	12	11	10	10	1,2	1,5
10	10	10	8	16	15	14	13	16	17	1,1	1,6

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 Перечень тестов и контрольных заданий

Тесты и контрольные задания проводятся в течение первого семестра по следующим темам:

1. История развития педофизических и педобиологических знаний
2. Плотность почвы
3. Порозность и ее значение для почвообразования и роста растений
4. Удельная поверхность
5. Фазовый состав почвы
6. Поглонительная способность почв
7. Формы воды в почве
8. Физические свойства почв Беларуси
9. Капиллярные явления в почвах
10. Типы водного режима почв
11. Водно-физические свойства
12. Почвенная биота и ее структура
13. Бактерии, грибы, актиномицеты
14. Почвенные млекопитающие
15. Биологическая активность почв

Примеры тестовых заданий по отмеченным темам:

1. Свойство почвы сорбировать парообразную влагу называется _____
2. При переувлажнении в окраске минеральной почвы усиливаются тона: Красные синие черные белые
3. По классификации, разработанной А. А. Роде, в почве выделяют категорий воды: 3 4 5 6 7
4. Физически связанная вода удерживается в почве силами: гравитации; сорбции; осмотическими; капиллярными
5. Может передвигаться в почве вода:
Прочносвязанная пленочная капиллярная гравитационная
6. Вне влияния сорбционных и капиллярных сил почвы находится влага: гравитационная пленочная подперто-подвешенная кристаллизационная
7. Подвижная вода появляется в почве при влажности выше влагоемкости: Максимальной молекулярной; наименьшей; максимальной адсорбционной; капиллярной
8. Наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, называется _____
влагоемкость

9. Расставьте эти категории влагоемкости по количеству соответствующей им влаги в дерново-подзолистой почве, начиная с самого низкого содержания влаги

	НВ		КВ		ММВ		МАВ		ПВ
--	----	--	----	--	-----	--	-----	--	----

10. Восходящее передвижение капиллярно-подвешенной воды прекращается при влажности, соответствующей

ВЗ МГ ВРК КВ НВ

11. На каких из почв при влажности 8% растения не будут испытывать дефицита влаги?

Песчаная Суглинистая Глинистая Торфяная

12. водоподъемная способность 4–5 м характерна для почв

песчаных супесчаных суглинистых глинистых

Напишите основные закономерности обменного поглощения катионов

1)

2)

3)

4)

13. Эквивалентно влажными следует считать почвы с одинаковым: содержанием влаги; рF; ВЗ

14. Транспирационный коэффициент большинства растений – величина: Однозначная двухзначная трехзначная четырехзначная

15. Весьма труднодоступная влага соответствует влажности ниже: ВЗ НВ ВРК МГ МАВ

16. В зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения к приемам улучшения водного режима можно отнести

Бороздование снегозадержание дренаж планировку поверхности

17. Масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении, называется

1) плотность сложения 2) удельная масса

3) удельная поверхность 4) удельная плотность

18. В кг/см² измеряется показатель 1) удельное сопротивление 2) удельная поверхность 3) удельная масса 4) липкость

19. Основная функция межагрегатного пространства: хранилище основных запасов; проведение потоков веществ; трансформация органических соединений

20. Наиболее агрономически ценными считаются агрегаты размером 1) менее 0,25 мм 2) более 0,25 мм 3) 0,25–10 мм 4) более 1 мм

21. Минимальная величина плотности сложения в почвах: дерново-подзолистых; черноземах; торфяно-болотных
18. Большая водопроницаемость характерна для почв: Более плотных; С большим количеством набухающих коллоидов типа Na^+ ; С более легким гранулометрическим составом; Более оструктуренных;
19. водоподъемная способность 2–4 м характерна для почв песчаных супесчаных суглинистых глинистых
20. Благоприятным с точки зрения плодородия является наличие в почве воды: Капиллярно-подвешенная; капиллярно-подпертая; стыковая; гравитационная просачивающаяся
21. Коэффициентом по Селянинову называется коэффициент: транспирационный, гидротермический; увлажнения; фильтрационный
22. В г/см^3 измеряются показатели 1) удельное сопротивление 2) удельная поверхность 3) плотность 4) липкость
23. способность не разрушаться при увлажнении называется 1) связность 2) водопрочность 3) твердость 4) крепкость
24. Послепосевное прикатывание почвы делается для Ускорения испарения снижения испарения снижения влагоемкости усиления капиллярного подъема влаги
25. Понятие физическая спелость связано с таким физико-механическим свойством, как 1) липкость 2) набухание 3) усадка 4) твердость 5) пластичность 6) связность

3.2 Вопросы к экзамену по дисциплине

1. Предмет и задачи биофизики.
2. История развития науки.
3. Вклад белорусских ученых в развитие научных основ улучшения физических свойств в сельском хозяйстве.
4. Гранулометрический состав почв: классификация, методы определения.
5. Основные группы гумусовых веществ, их особенности и роль в почвообразовании, показатели гумусового состояния основных типов почв.
6. Гранулометрический состав почв: влияние на удельную поверхность, химический состав и свойства.
7. Биофизика почв и продукционный процесс растений.
8. Структура почв, ее типы, роль в плодородии.

9. Почва как биокосное тело. Фазовый состав почв. Модель функционирования почвы как физической биокосной системы.
10. Удельная поверхность почв и ее значение.
11. Основные законы продукционного процесса растений
12. Общие физические свойства. Значение плотности сложения почв для формирования почвенного плодородия. Плотность твердой фазы.
13. Солнечная радиация и продукционный процесс
14. Порозность, ее виды, роль.
15. Физика продукционного процесса в растениях. Фотосинтез и дыхание растений.
16. Физико-механические свойства. особенности физико-механических свойств почв разного гранулометрического состава.
17. Влагообеспеченность растений и ее прогнозирование.
18. Цвет почв
19. Минеральные вещества и фотосинтез
20. Тепловые свойства и тепловой режим почв. Значение теплового баланса в формировании почв различных зон.
21. Физические условия развития корней
22. Основные теплофизические характеристики почв. Теплообмен в почве.
23. Температурный режим и его влияние на почвообразование и плодородие почв. Мерзлотные явления в почвах.
24. Почва как среда обитания
25. Физика почв – предмет, методы изучения, фундаментальные и прикладные задачи
26. Влияние отдельных фаз почв и температуры на микроорганизмы
27. Вода и ее роль в почве
28. Процессы переноса веществ, энергии в почве. Механизмы переноса: диффузия, конвекция, таксис и др.
29. Жидкая фаза почвы. Формы (категории) почвенной влаги.
30. Свет как фактор роста растений
31. Водные свойства почв.
32. Почвенная биота и ее структура
33. Влагоемкость почв и ее виды.
34. Высшие растения и их роль в педогенезе. Особенности влияния отдельных видов растительности (хвойной, лиственной, кустарниковой, травянистой, моховой) на процесс почвообразования.
35. Поведение и состояние воды в почве. Потенциал почвенной воды
36. Почвенные водоросли
37. Гидрологические константы. Капиллярные явления в почвах.
38. Почвенные животные. Общая характеристика. Простейшие
39. Доступность почвенной влаги.
40. Черви в почве
41. Водный режим и его типы. Приемы улучшения в разных почвенно-климатических зонах.
42. Моллюски и членистоногие в почвах

43. Почвенный воздух, его состав, формы и динамика. Воздухоёмкость и воздушный режим почв.
44. Млекопитающие почв
45. Аэрация. Конвективный и диффузионный перенос газов в почвах.
46. Почвенные грибы
47. Состояние, компоненты и динамика органического вещества в почве. Источники органического вещества почв.
48. Лишайники
49. Понятие о минерализации и гумификации. Влияние внешних условий на процессы трансформации органического вещества.
50. Прокариоты
51. Растворение газов. Динамика кислорода и CO₂. Дыхание почв

3.3 Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа ведется на основании Положения о самостоятельной работе студентов (курсантов, слушателей), утвержденном Министром образования Республики Беларусь от 06 апреля 2015 г.

По изучаемой дисциплине планируется:

- выполнение творческих, исследовательских заданий;
- работа с литературными источниками, в том числе с научными статьями;
- изучение тем и проблем, не выносимых на лекции;
- научные доклады;
- написание тематических докладов и эссе на проблемные темы.

Перечень рекомендуемых средств диагностики

- коллоквиумы;
- электронные тесты;
- проверка расчетно-графических работ;
- оценивание на основе модульно-рейтинговой системы;
- оценивание на основе проектного метода.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положение о рейтинговой системе БГУ;
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

3.4. Перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов

УСР 1. Определение гранулометрического состава почв

Форма контроля – Аналитический отчет по открытому эвристическому заданию когнитивного типа.

УСР 2. Определение доз полива

Форма контроля – Аналитический отчет по открытому эвристическому заданию когнитивного типа.

УСР 3. Определение глубины проникновения воды в почву

Форма контроля – Аналитический отчет по открытому эвристическому заданию когнитивного типа.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Практические занятия (ЛО)	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Всего по дисциплине	36	8	2		4	4	
1	Основы биофизики почв.	4						опрос
1.1	Понятия, методы, межпредметные связи. Предмет биофизики..	2						Тестирование опрос
1.2	Почва как биокостное тело	2						Тестирование опрос
2	Живая фаза и органическое вещество почв	6						
2.1	Мезофауна и микробиота почв, влияние растительности	2						Тестирование опрос
2.2	Состояние и динамика органического вещества в почве	2						Тестирование опрос
2.3	Источники и показатели состояния органического вещества почв	2					2	Тестирование опрос
3	Физика почв	16	6					
3.1	Физическая организация почвы как биокостной системы	2	2					Тестирование опрос
3.2	Газообразная фаза почв. Почвенный воздух, его состав и динамика	2						Тестирование опрос

3.3	Физические свойства почв. Общие физические свойства	4	2					Тестирование Проверка расчетных работ
3.4	Жидкая фаза почвы. Формы (категории) почвенной влаги	8	2	2			2	Аналитический отчет по открытому эвристическому заданию когнитивного типа; Проверка расчетных работ, тестирование
4	Тепловые, магнитные свойства и радиоактивность почв	4	2			2		Коллоквиум
5	Прикладные аспекты биофизики	6				2		Тестирование опрос

4.2. Рекомендуемая литература

Основная

1. Кузнецов, М.В. Эрозия и охрана почв 3-е изд., испр. И доп./ М. Кузнецов, Г. Глазунов Учебник для вузов. М., 2019. 382 с.
2. Клебанович, Н.В. Гидрофизика почв: учеб. материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1-01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович Минск: БГУ, 2016. – 40 с.
3. Клебанович, Н.В. Биология почв: учеб. материалы по спецкурсу «Биофизика почв» для студентов специальности 1–01 02 01 «География» / Н.В. Клебанович, И.А. Ефимова, Д.А. Чиж, Минск: БГУ, 2018. –46 с.

Дополнительная

1. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 259 с.
2. Бабьева, И. П. Биология почв: учебник / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова [под ред. Д.Г. Звягинцева]. – М: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
3. Березин П.Н. Физическая деградация почв: параметры состояния // Почвоведение, 1994, № 11, с.67–70.
4. Блэк, К.А. Растение и почва./ К.А. Блэк. – М., 1973. – 503 с.
5. Вадюнина А.Ф. Методы изучения физических свойств почв и грунтов./ А.Ф.Вадюнина, З.А. Корчагина, – М: Изд. 3-е,1986, 416 с.
6. Воронин, А.Д. Основы физики почв./ А.Д. Воронин,. М.: Изд-во МГУ, 1986, 243 с.
7. Воронин, А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв./ А.Д. Воронин – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
8. Глобус, А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. / А.М. Глобус – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 356 с.
9. Гордеев, А.М. Биофизические основы эколого-адаптивного земледелия (введение в агробиофизику) / А.М. Гордеев - Смоленск.- 1999.- 316с.
10. Звягинцев, Д.Г. Биология почв: учебник. /Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова – М: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
11. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение./ Л.О. Карпачевский – М, 2005.
12. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов./ В.В. Медведев – М.: Агропромиздат. – 1988. – 159с.
13. Нетрусов, А. И. Экология микроорганизмов: учеб. для бакалавров / А. И. Нетрусов [и др.]. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2015. –267 с.
14. Поздняков, А.И., Стационарные электрические поля в почвах./ А.И Поздняков, Л.А. Позднякова, А.Д. Позднякова – М., 1996. – 360 с.
15. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств почв, Под ред. Е.В. Шеина. М., 2001. 200 с.
16. Практикум по биологии почв: учеб. пособие / Г.М. Зенова [и др.]. –М.: Изд-во МГУ, 2002. – 120 с.
17. Растворова, О.Г. Физика почв. Практическое руководство. / О.Г Растворова. – Л.: ЛГУ, 1983, 191 с.

18. Клебанович, Н.В. Физика почв: учебные материалы по дисциплине «Биофизика почв» для студентов спец. 1–01 02 01 «География» / Н. В. Клебанович Минск: БГУ. 2015. – 47 с.
19. Роде, А.А. Избранные труды. Т. 3. Основы учения о почвенной влаге./ А.А Роде. – М. 2008. – 664 с.
20. Роде, А.А. Избранные труды. т. 4. Проблемы гидрологии почв./ А.А.Роде – М. 2008. 596 с.
21. Роуэлл, Д.Л. Почвоведение. Методы и использование./ Д.Л.Роуэлл – М., 1998.
22. Теории и методы физики почв. / Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с.
23. Томпсон, Л.М. Почвы и их плодородие / Л.М. Томпсон, Ф.Р. Троу – М., 1982. – 456 с.
24. Физические и водно-физические свойства почв. Сост. В.А. Рожков и др. М: Изд. Моск. гос. университета леса. 2002. 74.с.
25. Шеин, Е.В. Курс физики почв./ Е.В. Шеин, – М., 2005. – 432 с.
26. Bardget, R. The Biology of soil. Oxford, 2005. 242 p.
27. Chesworth, W. Encyclopedia of soil science. Published by Springer. Dordrecht, 2008. – 902 p.
28. Foth, H.D. Fundamentals of soil science. 1990. 8th ed. 382 p.
29. Gee G.W., and Or D. Particle-size analysis. // Dane, J.H., and Topp, G.C., co-eds., Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods. Madison, WI: Soil Science Society of America, 2002. pp. 255–293.
30. Hillel, D. Environmental soil physics. 1998. 801 p.
31. Koorevaar, P., Menelik G., Dirksen C. Elements of soil physics. – Amsterdam, The Netherlands. 1999. 229 p.
32. Lal R., Shukla M.K. Principles of soil physics. – 2004. 699 p.
33. Koorevaar, P., Menelik G., Dirksen C. Elements of soil physics. Amsterdam, The Netherlands. 1999. 229 p.
34. Lal R., Shukla M.K. Principles of soil physics. 2004. 699 p.

4.3. Электронные ресурсы

1. Образовательный портал БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dl.bsu.by>. – Дата доступа: 12.02.2020.
2. Электронная библиотека БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by>. – Дата доступа: 12.02.2020..
3. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gismap.by/>. – Дата доступа 23.01.2020.
4. Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gki.gov.by/ru/>. – Дата доступа 23.01.2020.