

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Гаффарова Л.Г., Миникаев Р.В., Сержанова А.Р.

«Методы почвенных исследований»

Учебное пособие

Казань, 2020

УДК 631.42 (571.14)
ББК 40.3973

Рекомендовано методической комиссией агрономического факультета Казанского ГАУ (протокол № 8 от 28 апреля 2020 г.) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение».

Рекомендовано методической комиссией Казанского ГАУ (протокол № 5 от 07 мая 2020 г.) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение».

Методы почвенных исследований: учебное пособие / Л.Г. Гаффарова, Р.В. Миникаев, А.Р. Сержанова. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2020. – 100 с.

Рецензенты:

Кандидат биологических наук, заведующий кафедрой почвоведения ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доцент Смирнова Е.В.

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Трофимов Н.В.

Учебное пособие по курсу «Методы почвенных исследований» предназначено для студентов очного и заочного обучения агрономического факультета по направлениям 35.03.03.- Агрохимия и агропочвоведение, профиль «Агроэкология» (бакалавриат), 35.04.03. – Агрохимия и агропочвоведение, профиль «Воспроизводство плодородия почв в условиях усиления антропогенной нагрузки» (магистратура), 35.06.01 – Сельское хозяйство, профиль «Агрохимия» (аспирантура).

Учебное пособие содержит теоретический материал по данному курсу, методы лабораторных исследований, ситуационные задачи и тестовые вопросы.

Цель пособия - закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по лекционному курсу «Методы почвенных исследований».

© Гаффарова Л.Г., Миникаев Р.В., Сержанова А.Р., 2020
©Казанский государственный аграрный университет, 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

Почвенный покров и его экологические возможности неодинаковы в различных регионах нашей страны и зависят от природно-климатических условий, топографии, геологического строения и исторического развития.

В тоже время, эффективное сельскохозяйственное производство должно основываться на глубоких исследованиях почвенных ресурсов. Чем более интенсивная нагрузка осуществляется на почвенный покров, тем более точной должна быть оценка почв и методы ее улучшения.

Учебное пособие по курсу «Методы почвенных исследований» для студентов агрономических специальностей обусловлена необходимостью восполнить нехватку соответствующей учебной и методической литературы, а также способствовать возрастанию интереса к проведению лабораторных исследований почв и оценки их ресурсного потенциала. Кроме того, учебное пособие предусматривает совершенствование методического обеспечения учебного процесса с применением современных технологий, модернизации и обновлении приборной базы. Наряду с теоретической основой дисциплины в пособие включены методика выполнения лабораторных работ и практические задания.

В целях углубления регионального компонента использованы имеющиеся по республике Татарстан литературные данные, а также результаты научных исследований ведущих ученых республики. Отдельной главой представлены данные агрохимического мониторинга почв республики, в том числе и показатели содержания тяжелых металлов, предельно-допустимые их концентрации и методы определения вредных веществ.

Для закрепления полученных теоретических и практических знаний по каждой теме составлены вопросы для самоконтроля и задачи для самостоятельного анализа тех или иных процессов и свойств почв. Представленные тестовые вопросы знаний студентов можно применять в компьютерных технологиях обучения.

Учебное пособие подготовлено преподавателями кафедры агрохимии и почвоведения Казанского государственного аграрного университета на основании рабочей программы дисциплины и с учетом опыта преподавания на агрономическом факультете.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЫ, КАК ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ В ПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

С появлением земледелия человек ввел в свой обиход представление о почве как об относительно землистом слое, что служит субстратом для произрастания корневой системы зеленых растений и предметом земледельческой обработки. Понятие почва и земля считались тождественными, приравнивались к участку земной поверхности. Такое представление о почве продолжалось в течение тысячелетий. Обострение Продовольственной проблемы, пути ее решения привели к зарождению новой науки на рубеже 20 века – почвоведения. Таким образом, почвоведение возникло в ответ на практические запросы бурно развивающего земледелия в эпоху индустрии.

К 1883 году под почвой рассматривали лишь пахотный слой, то есть почву отождествляли с пахотным слоем. Основное внимание уделялось на вещественный его состав – смеси минеральных и органических соединений.

В.В. Докучаев опроверг такое определение и дал свое: «Почвой следует назвать дневные или наружные горизонты горных пород (все равно каких), естественно измененные совместным воздействием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых».

В 1901 году («Лекции о почвоведении») Докучаев писал, что почва «есть функция (результат) от материнской породы (грунта), климата, организмов, помноженная на время».

Из определения исходит:

1. Почва – самостоятельное природное тело.
2. Почва – тело историческое (возраст и история).
3. Связь почвы с другими компонентами экосистемы.

Почвоведение создавалось благодаря творческим работам трех ученых – В.В. Докучаева, Н.М. Сибирцева, П.А. Костычева (1845-1895).

Именно П.А. Костычев дает другое определение почве, с акцентом на свойство почвы – плодородие по отношению к зеленым растениям. Это направление было развито далее В.Р. Вильямсом (1863-1939). «Когда мы говорим о почве, мы разумеем, рыхлый поверхностный горизонт суши земного шара, способный производить урожай растений...»

В современном почвоведении определение звучит так: «Почва – это обладающая плодородием сложная полифункциональная и поликомпонентная открытая многофазная структурная система в поверхностном слое коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени».

Почва – особое природное тело. Все тела природы делятся на живые и косные (неживые). После определения почвы – появляется третья группа – биокосная (В.И. Вернадский). Почва состоит из минеральных веществ, органи-

ческих соединений. Кроме них в ней имеется живое вещество – микроорганизмы. Поэтому почву относят к биокосным телам.

Любая почва состоит из генетических горизонтов, которые образовались в результате преобразования (изменения) горной породы в процессе почвообразования. Вертикальная последовательность горизонтов образует почвенный профиль.

Почвенный индивидуум. Почва - трехмерное природное тело. Оно имеет свое положение в пространстве. Выделяют нижнюю, верхнюю и боковые границы.

Определение П.С. Коссовича: «Нижняя граница почвы определяется глубиной, на которую произошло изменение исходной породы в ходе почвообразования».

В.В. Докучаев: «Нижняя граница почвы определяется максимальной глубиной прокрашивания гумусом породы. При индексации почвы горизонтами АВС, под почвой понимается сочетание горизонтов А и В».

Г.Н. Высоцкий: «Нижнюю границу почвы определял с глубиной ежегодного промачивания почвы» [5].

В настоящее время правильным считается определение нижней границы по П.С. Коссовичу - Докучаеву. В состав почвы включаются горизонты О, А, В и их дериваты (Е, Т, G). Нижележащие горизонты С, D, R относятся к подпочве.

Верхняя граница почвы - это поверхность раздела между почвой и атмосферой либо гидросферой для подводных почв (мангровые, плавневые, маршевые, затопленные рисовые и т.д.).

Боковые границы почвы более трудно определяемы из-за постепенного (диффузного) перехода почвы. Боковые границы почвы – это вертикальные поверхности раздела между соседствующими почвенными индивидуумами.

Почва представляет собой сложную систему, соответственно характеризуется определенной неоднородностью.

Почвенный индивидуум – это минимальный объем почвы, горизонтальные размеры которого достаточно большие, чтоб иметь полный спектр вариативности соотношений генетических горизонтов, почвенных свойств.

По Ф.И. Козловскому размер почвенного индивидуума для дерново-подзолистых почв составил $1,75 \text{ м}^2$, для чернозема типичного Курской области – 28 м^2 . Реальная форма почвенного индивидуума - гексагональная, округлая, овальная, ветвистая и амебовидная. Ряд одинаковых почвенных индивидуумов дают элементарный почвенный ареал (ЭПА). По школе США – полипедон, по Э. Эвальду – педотоп, по Ж. Буллену – женон.

Место и роль почвы в природе. Относительно Земного шара почвенный покров представляет тоненькую пленку, формирует особую оболочку геосферы – педосферу, является составной частью биосферы.

Главные функции почвы.

1. Обеспечение существования жизни на Земле. Основная биомасса - то есть органическое вещество создается растениями, обитающими на почве. Ежегодно формируется около $2,32 \cdot 10^{17}$ г биомассы на Земле.

2. Обеспечение большого геологического и малого биологического круговорота на земной поверхности.

3. Регулирование химического состава атмосферы и гидросферы.

4. Регулирование биосферных процессов. В частности, регулирование плотности живого вещества, в том числе и населения.

5. Аккумуляция активного органического вещества и связанного с ним химической энергии.

Место и роль почвы в жизни и деятельности человека. Главная масса пищи, потребляемая человеком, создается при непосредственном участии почвы. Почва – это основное средство производства, относится к невозобновляемым природным ресурсам.

Почва относительно общества является экономической основой, средством производства, с одной стороны, жизненным пространством и физической средой, с другой.

Различают понятия почва и земля. Они имеются у всех народов. Англичане - soil –land; pedon - chthon (латин.); sol-terrain - (французы); boden – land (немцы) и т.д.

1.1. Методология в почвоведении

Основатели почвоведения и их последователи на протяжении золотого тридцатилетия (1880-1910) разработали главные положения генетического почвоведения, что составляет фундамент методологических подходов. Главные методологические принципы включают следующие концепции:

1. Почва, как самостоятельное естественноисторическое тело, формируется на поверхности Земли под воздействием факторов, ведущими среди которых являются живые организмы.

2. Почва представляет единое природное тело, выраженное в совокупности почвенных горизонтов. Именно профильный метод исследования является основным в изучении почв.

3. Факторы почвообразования - взаимосвязанный, взаимозависимый комплекс природных явлений. В последнее время в этот комплекс входит деятельность человека.

4. Почвообразовательный процесс представляет сложную систему процессов, состоит из элементарных почвенных процессов. Эти процессы представляют синтез, разложение, миграцию органических и минеральных веществ.

5. Историзм почвообразования и сукцессий (последовательность смен) стадий почвообразования и эволюции почв.

6. Типы и подтипы почв – представляют стадию процесса почвообразования и эволюции почв.

7. Современный почвенный покров - стадия процесса в историческом аспекте, то есть во времени.

8. Типы почв – главная форма существования почвенного тела.

9. Почвенный режим – главная форма проявления динамики почвообразовательного процесса.

10. Почвенные зоны и зональные почвенные типы почв - основная форма организации почвенного покрова Земли.

11. Систематика и классификация почв – это отражение реально существующих в природе генетических и географических связей и различий между различными почвами.

12. Непрерывность почвенного покрова – это отражение непрерывно варьирующих факторов почвообразования.

13. Почвенный индивидуум - реально существующее природное тело в трехмерном пространстве.

14. Плодородие – главная функция почвы, призванной обеспечить жизни на земле.

15. Педосфера - специфическая геосфера, обеспечивает связь между другими оболочками.

Концептуальные подходы в почвоведении.

Почва представляет собой сложную систему. Это означает, что воздействуя на единичный фактор, недопустимо коренным образом изменить все почвенные свойства. Исходя из этого сформулировано представление об иерархических уровнях структурной организации почвы. Это имеет важное методологическое значение.

Согласно этой концепции признаются следующие структурно-организационные уровни:

1. Атомарный.
2. Молекулярный (кристалло-молекулярный).
3. Уровень элементарных почвенных частиц.
4. Агрегатный уровень.
5. Почвенные горизонты.
6. Почвенный профиль.
7. Почвенный покров.

Важное значение имеет разработанная В.В. Докучаевым, концепция почвы как зеркало ландшафта. В современных почвах сочетаются признаки: а) унаследованные от материнской породы; б) унаследованные от прошлых стадий почвообразования; в) являющиеся результатом современного процесса почвообразования.

Почва и почвенный покров являются компонентом биосферы. Это направление разработано В.А. Ковдой и его учениками. Накоплен материал о биологическом круговороте веществ (Б.Б. Полынов, Н.П. Ремезов, С.В. Зонн, Н.И. Базилевич).

1.2. Методы почвоведения

В почвоведении широко используются многочисленные методы:

1. Профильный метод В.В. Докучаева. Почва изучается не в виде отдельных фрагментов (пахотного слоя и горизонтов), а в сочетании всех генетических горизонтов почвенного профиля.
2. Сравнительно-географический метод. Сущность метода состоит в тесной взаимосвязи между строением, составом и свойствами почв, а также особенностями факторов почвообразования разных природных зон.
3. Сравнительно-исторический метод. В основу метода положен принцип актуализма, при котором исследуя реликтовые свойства (горизонты) современных почв, оставшихся в них от предыдущего процесса почвообразования и их связи с современными факторами почвообразования. Используется в изучении палеопочв.
4. Метод почвенных ключей. Этот метод основан на детальном генетико-географическом анализе небольших репрезентативных участков – ключей и интерполяции полученных данных на крупные территории с однотипной структурой почвенного покрова, позволяет экономить время и материальные ресурсы.
5. Метод почвенных монолитов. Исследования экспериментальные по изучению свойств почв проводятся на монолитах (1—1,5 м) ненарушенной почвы.
6. Метод почвенных лизиметров. Сущностью метода является изучение состава почвенных растворов, внутрипочвенного и поверхностного стока, собираемых с определенного объема или площади за определенное время.
7. Метод режимных наблюдений. Сущность его заключается в изучении почвенных режимов: водного, теплового, солевого, газового, реакции среды, окислительно-восстановительных условий, биологической активности и др.
8. Балансовый метод. Применяется для изучения кинетики почвообразования, а также проводят расчеты в почве запасов различных веществ.
9. Метод почвенных вытяжек. Основан метод на способности веществ (вода, растворы органических и неорганических кислот, щелочи, органические растворители – спирт и т.д.) экстрагировать из почвы различные соединения.
11. Метод моделирования. Сущность метода заключается в проведении экспериментов различных явлений и процессов, воспроизводимых в полевых или лабораторных условиях, а также создание их математических моделей.
12. Аэрокосмические методы. Применяются аэро- и космические снимки для изучения земной поверхности и свойств.
13. Радиоизотопные методы. Применяются в почвоведении для изучения процессов миграции почвенных элементов и их соединений в экосистемах на основе меченых атомов (радиоактивных изотопов), определения возраста почв.
14. Физические, физико-химические, химические, биологические, аналитические методы. Они заимствованы из соответствующих научных дисциплин.

15. Стационарные методы. Многолетние режимные наблюдения за различными свойствами почв, осуществляемые путем отбора и анализа почвенных образцов стационара.

16. Экосистемный подход и метод - изучаются все компоненты системы (растения, породы, животный мир, вода, почва и т.д.)

17. Системный методический подход. Почва рассматривается как сложная и целостная система.

Контрольные вопросы.

1. В чем отличие определений В.В. Докучаева и П.А. Костычева?
2. Какова естественная форма почвенного индивидуума?
3. В чем особенность концептуальных подходов в почвоведении?
4. Какие признаки сочетаются в современных почвах?
5. В основе какого метода заложен принцип актуализма?
6. Каким методом можно определить возраст почв?
7. С помощью какого метода изучаются почвенные режимы?

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ

Почва является четырехфазной системой, состоящей из твердой, жидкой, газообразной и живой. Химический состав почвы в основном отражает твердую фазу, частично живое вещество, ее микробную массу.

Почва является самой верхней частью коры выветривания литосферы, наследует ее химический состав от почвообразующей породы. Вместе с тем, почва приобретает существенные отличия. Главные особенности химического состава почвы – присутствие органического вещества, природа которого специфична, разнообразие форм соединений отдельных элементов и динамичность химического состава во времени.

2.1. Химический состав почвы

К общим особенностям химического состава почвы и литосферы относятся: наличие в почве всех химических элементов таблицы Д.И. Менделеева, значительное преобладание кислорода и кремния, суммарное их содержание составляет до 75 - 82%, а также присутствие четырех основных элементов – кислорода, кремния, алюминия, железа.

К отличиям химического состава почвы и породы является то, что в почвах наблюдается завышенное количество нескольких биофильных элементов – углерода до 20 раз и азота до 10 раз, что безусловно, связано с жизнедеятельностью организмов, в которых содержится 18% углерода и 0,3 % азота (Виноградский, 1952). Кроме того, в почвах 4,5 раза меньше содержится наиболее подвижного элемента – хлора, соответственно 0,045% и 0,01% в литосфере и почве.

К элементам, аккумулирующимся в почвах, относится - кислород, кремний, углерод, азот. В одинаковом количестве находятся - фосфор, цинк, молибден.

Несмотря на высокую миграционную способность в литосфере и почвах содержание серы и марганца характеризуются близкими цифрами – 0,09% в литосфере и 0,08% в почвах, что является следствием биофильности этих элементов[6].

В целом, химический состав почвы зависит от характера почвообразующей породы. Основная масса почв формируется на рыхлых породах, в результате выветривания магматических, метаморфических и осадочных пород. Химический состав почвообразующих пород зависит от их генезиса, то есть от того из каких пород они формировались. Так, магматические породы богаты такими элементами как кальций, фосфор, калий, полуторные оксиды, а кремнезема в них содержится несколько ниже. Поэтому, продукты выветривания основных магматических пород будут обогащены этими элементами. Продукты выветривания также претерпевают изменения во времени и переоткладываются. Прежде всего, здесь происходит их сортировка по гранулометрическому составу. Так, в песчаных породах более 90% содержится SiO_2 , в то время как суглинистые и глинистые отложения содержат 50-70% оксида кремния. Содержание оксидов Al_2O_3 и Fe_2O_3 имеет иное распределение. В песчаных и супесчаных породах они содержатся в меньшем количестве, чем в суглинистых и глинистых породах – до 3-5 и 10-12%. Отмеченные особенности представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание основных компонентов в разных типах литологических морен Белорусского Полесья
(в % на прокаленную навеску, по Б.И. Лукашеву, 1966)

Литологический тип морены	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	K_2O
Глина	73,3	3,8	11,3	0,8	3,8
Супесь	83,7	2,5	7,2	0,3	2,2
Песок	94,2	0,5	4,0	Сл.	0,1

Содержание основных химических элементов резко отличается. Контрастность в содержании этих элементов еще больше проявляется при сопоставлении результатов валового химического состава. Рассмотрим на примере данных таблицы 2.

Наибольшее количество кремния в обогащенных обломочным материалом фракциях размером более 0,25 мм, в более тонких фракциях увеличивается доля полевых шпатов, других первичных минералов и растет содержание полуторных оксидов.

Резкая смена минералогического состава в илистой фракции, отчасти в тонкопылеватых фракциях, где преобладают богатые алюминием и железом глинистые минералы, соответственно отражается и на валовом составе этих

фракций. Здесь доля окислов кремния уменьшается до 50,8%, а доля оксида алюминия возрастает до 29%, железа – 12,5%. Участие оксидов магния и калия в илистой фракции достигают до 2,5-2,6%.

Таблица 2 - Валовой состав гранулометрических фракций песчаного подзола севера Русской равнины, % на прокаленную почву (по В.Д. Тонконогову, 1971)

Литологический тип морены	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
Порода 170-180 см					
1-0,25	96,9	3,1	0,4	0,2	0,7
0,25-0,1	89,6	7,0	0,6	0,0	1,8
0,1-0,01	83,5	10,6	1,6	0,1	2,1
0,01-0,001	63,8	22,4	7,3	2,2	1,9
Меньше 0,001	50,8	29,0	12,5	2,5	2,6
Почва, 2-10 см					
1-0,25	96,9	1,7	0,3	0,0	0,5
0,25-0,1	93,0	4,7	0,4	0,0	1,3
0,1-0,01	87,7	7,9	1,2	0,0	1,5
0,01-0,001	74,1	17,6	1,4	0,1	3,4
Меньше 0,001	61,3	27,4	3,5	0,5	3,7

Вторая часть таблицы характеризует почву (песчаный подзол). Содержание оксидов рассматриваемых элементов имеет аналогичное распределение: содержание оксидов кремния уменьшается по мере возрастания дисперсности минералов. Вместе с тем, показатели основных компонентов несколько другие. Так, под влиянием оподзоливания в почвах по сравнению с породой содержание оксидов кремния во всех фракциях увеличивается, алюминия, железа и магния уменьшается. Тонко пылеватая и илистая фракция обогащается калием за счет избирательного его поглощения растениями.

Приведенный пример ярко иллюстрирует роль процесса почвообразования в дифференциации химического состава почв.

Почва наследует геохимические черты исходного материала почвообразующих пород: богатство породы кремнеземом сказывается на его содержании в почве, развивающиеся на карбонатной породе – лессе имеют и больше кальция, засоленные породы – источник засоления почвы. В зависимости от типа почвообразования происходят изменения в содержании и распределении по профилю почвы различных химических элементов. Каждый тип почвы приобретает характерную дифференциацию на горизонты с определенным химическим составом. В сравнении с почвообразующей породой верхние горизонты подзолистых почв обогащены кремнеземом, меньше содержат оксидов алюминия и железа. Состав преобладающих оксидов для черноземов остается почти неизменным. В отличие от пород для всех почв характерно накопление орга-

нического вещества в верхних горизонтах, с которыми связана биологическая аккумуляция важных элементов – углерода, азота, серы и кальция.

В зонах хвойных лесов (таежная зона), смешанных, широколиственных и лесостепи широко распространены почвы с элювиально-иллювиальным дифференцированным профилем. Элювиальный горизонт обедняется окислами Al_2O_3 , Fe_2O_3 , обогащается SiO_2 ; иллювиальный горизонт (В) накапливает Al_2O_3 , Fe_2O_3 и относительно обедняется SiO_2 . В такой дифференциации почвенного профиля участвуют несколько процессов.

1. Подзолистый (оподзоливание). Происходит разрушение минералов тонкодисперсной фракции преимущественно в кислой среде под влияние гумусовых кислот и продукты разрушения (Al_2O_3 , Fe_2O_3) выносятся в иллювиальный горизонт В или за пределы профиля.

2. Процесс обезыливания (иллимеризация, партлюовация, лессивирование). Суть процесса – вынос тонких частиц в иллювиальный горизонт без их разрушения.

3. Процесс отбеливания – снятие железистых пленок с крупных частиц в верхних горизонтах и вынос соединений железа в иллювиальную часть профиля.

4. Процесс осолодения – разрушение минералов в щелочной среде и вынос продуктов разрушения в иллювиальный горизонт;

5. Глее-иллювиальный процесс – разрушение минералов в восстановительных условиях и вынос продуктов разрушения в иллювиальную часть профиля [5].

Эти процессы могут быть в единственном числе или в сочетании друг с другом. Определить участие каждого из перечисленных процессов можно в результате чтения данных анализов или профиля почв.

Валовой химический состав почв чаще выражают в виде процентов содержания окислов – SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O и т.д. Это делается для проверки результатов анализа, сумма окислов должна составить близкую величину к 100% (при 5% точности анализов). Однако конкретные формы соединений элементов в почве разнообразны (например, железо в 2-3 валентных формах, тоже марганец и сера). Таким образом, такая форма выражения – условна. Более достоверно выражать валовой химический состав в процентном содержании элементов. Для этого находят коэффициент: $28,09:60,06 = (\text{Si}: \text{SiO}_2) = 0,468$. Отсюда, $77,85 \times 0,468 = 36,43\%$.

Результаты анализов выражают на безгумусную, бескарбонатную, а также на прокаленную почву.

Чаще применяются расчет на бескарбонатную и прокаленную почву. Эти расчеты удобны для сравнения органоаккумулятивных и минеральных горизонтов, особенно илстой фракции, богатой гумусом и прочносвязанной водой.

Более точное представление содержания того или иного элемента в форме запасов в определенных слоях. Такой расчет применяется при резкой

дифференциации плотности почвы. При этом следует использовать данные, пересчитанные на сухую массу, так как плотность определяется на сухую массу.

$$S = A \times V \times H \times 100,$$

где S- запас (гумуса), A-содержание вещества, %, V – плотность, г/см³, H-слой, см.

2.2. Химические элементы и их соединения в почвах

Кремний. Содержание кремния главным образом определяется присутствием кварца и в меньшей мере – первичных и вторичных силикатов, алюмосиликатов. В ряде случаев содержание кремния обусловлено присутствием фитолитариев, скелетов диатомовых водорослей, кремнезема в виде опала или халцедона, или гидрогенными (окремнение почв) процессами. Валовое содержание SiO₂ колеблется 40-70% (глинистые почвы) – 90-98% (песчаные почвы).

Алюминий. Его содержание обусловлено присутствием полевых шпатов, глинистых минералов, первичных минералов – слюд, эпидотитов, граната, корунда. Может присутствовать свободный глинозем в виде разнообразных гидроксидов алюминия – диаспор, бемит, гидрааргиллит. Валовое содержание окиси алюминия колеблется от 1-2 до 15-20%, а в ферралитных почвах тропиков может превышать и 40%.

Железо. Этот элемент присутствует как в составе первичных минералов, так и в составе вторичных- магнетит, гематит, титаномагнетит, глауконит, роговая обманка, пироксен, биотит, хлорит, глинистые минералы.

Много в почвах содержится аморфных соединений железа, особенно гидроксидов – гетит, гидрогетит. Общее содержание варьирует от 0,5- 1,0 (кварцевые пески) до 3-5% в почвах на лессах, 8-10% - в почвах, формирующихся на элювии феррамагнезиальных пород, 20-30 – в ферралитных и латеритных почвах.

Кальций. Содержание CaO составляет 1-3% в бескарбонатных суглинистых почвах. Присутствует в глинистых минералах и в составе гумуса. В крупных фракциях встречается в виде обломков горных пород, извести, гипса, основных плагиоклазов. В почвах сухих степей и аридной зоны обусловлено накоплением вторичного кальцита, гипса. Кальций может накапливаться гидрогенным путем – известковые коры, гипсовые коры.

Магний. Валовое содержание магния близко к содержанию кальция и обусловлено присутствием глинистых минералов монтмориллонита, вермикулита, хлорита. Обломки пород и минералов – это доломиты, оливин, роговая обманка, пироксен. Аккумулируется в засоленных почвах.

Калий. Содержание окиси калия равно 2-3%. Присутствует в глинистых минералах и первичных – биотит, мусковит, полевые калиевые шпаты, Калий относится к биофильным элементам.

Натрий. Валовое содержание в почве оксида натрия составляет 1-3%. Источником натрия являются полевые шпаты. Соответственно высокое содержание натрия в крупных фракциях – более 0,001 мм. В отдельных фракциях его содержание может достигать 5-6%, а в илистой фракции составляет всего 0,5-1,0%. В засоленных почвах натрий входит в состав солей – NaCl, Na₂SO₄ и поглощающий комплекс. В почвах не наблюдается дефицита натрия. Наличие в поглощенном комплексе натрия обуславливает солонцеватость и неблагоприятные физические свойства.

Титан. Его содержание TiO₂ обычно не превышает нескольких десятых долей процента - $n \times 0,1$. Присутствует в составе первичных минералов, устойчивых к выветриванию – ильменит, рутил, сфен. При выветривании происходит накопление в илистой фракции почвы.

Марганец. Содержание Mn в почве составляет $n \times 0,1\%$, обусловлено присутствием конкреций марганца, образующихся в результате микробиологической деятельности. В рассеянном виде Mn входит в состав некоторых минералов – оливин, пироксен, эпидот.

Сера. Содержание S в почве обычно не превышает $n \times 0,1\%$. В почве сера присутствует в форме органических соединений растительного и животного происхождения. В засоленных почвах содержание серы возрастает до нескольких %, форма SO₄⁻². Возрастает по мере загрязнения почв промышленными отходами, поступает через осадки. В крупных фракциях гранулометрического состава более 0,001 мм присутствует в минералах – пирит (сульфид), гипс, во вторичных соединениях железа биогенного происхождения.

Углерод. Содержится в составе гумуса, растительных остатков, микробных масс. Много углерода в составе карбонатов. Его содержание варьирует $n \times 0,1\%$ до 10% (подзол, черноземы, торфяные почвы). Пахотные почвы нуждаются во внесении органических удобрений. Почвенное органическое вещество – это энергетическая база.

Азот. Имеет в основном живое происхождение и варьирует от 0,05 до 0,4%. Его содержание составляет от 1/10 до 1/20 части гумуса и органических остатков. Подвижные формы азота из пахотных почв отчуждаются урожаем. Азот в почву также поступает во время грозы с осадками и за счет фиксации атмосферного азота микроорганизмами.

Фосфор. В почвах его может доходить до 1 %. Такие почвы приурочены к местам выхода фосфоритовых руд. Фосфор присутствует в составе гумуса, органических остатков, микробной массы. В минеральной части - в составе апатита, вторичного болотного минерала – вивианита.

Микроэлементы. В почве присутствуют в небольших количествах $n \times 0,001\%$, - $n \times 0,0001\%$. Они, как правило, рассеяны, но важны для жизни растений и животных. Валовое их содержание связано с количеством первичных минералов, частично органического вещества и глинистых минералов.

Приуроченность рассеянных элементов и микроэлементов к первичным минералам:

Ni, Co, Zn – авгит, биотит, ильменит, магнетит, роговая обманка;
Cu – авгит, апатит, биотит, гранаты, полевые шпаты, плагиоклазы.
V – авгит, биотит, ильменит, мусковит, роговая обманка, сфен;
Pb – авгит, апатит, биотит, калиевые шпаты, мусковит;
Li – авгит, биотит, роговая обманка, турмалин;
B – турмалин;
Zn – циркон.
Редкоземельные элементы – эпидот, монацит.

В изменении химического состава почв играют следующие процессы:

1. Переход элементов из одних соединений в другие в связи с минеральными преобразованиями.
2. Поступление элементов из атмосферы с осадками и импактизацией.
3. Вынос элементов нисходящим движением в грунтовые воды, в речную сеть и океаны.
4. Принос элементов с грунтовыми водами.
5. Циклические вовлечения элементов в биологический круговорот.

2.3. Методы химического анализа почвы

Все методы химического анализа можно условно разделить на 2 группы (Л.А. Воробьева, 1998): классические химические (весовые, объемные) и инструментальные (спектроскопические – атомно – эмиссионная, атомно – флуоресцентная, рентгено-флуоресцентная, атомно-абсорбционная, спектрофотометрия и др., а также электрохимические – потенциометрия, полярография и др.)

Хотя классические химические методы позволяют получить наиболее точные результаты анализа (погрешность опыта 0,1 – 0,2 %), но менее производительны. Таким образом, инструментальные методы уступают химическим по точности опыта (погрешность – 2- 3%), но превосходят по производительности. Исходя их применяемых методов в исследованиях и их погрешностей приняты следующие допустимые расхождения между результатами параллельных определений:

- гумус по Тюрину в модификации Симакова – 10 %;
- гидролитическая кислотность по Каппену, поглощенные основания, ЕКО – 10 %.
- P_2O_5 – фотоэлектроколориметрически – 10 – 20 %;
- K_2O на пламенном фотометре – 10 – 15 %;

Валовой состав минеральной части почв определяют путем сплавления почвы при температуре 700 – 900 ° С в муфельной печи, добавляя углекислые и сернокислые соли K и Na, далее образованные соли растворяют в HCl и анализируют одним из названных методов.

2.4. Валовой химический состав почв и интерпретация результатов анализа

Валовой анализ предусматривает определение химического состава твердой фазы почвы в виде оксидов- SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO , P_2O_5 и др.

Валовой состав минеральной части почв принято выражать в виде процентного содержания оксидов на сухую, прокаленную, безгумусную и бескарбонатную навески. Пересчеты на безгумусную, бескарбонатную и прокаленную почву необходимы для суждения о перераспределении элементов, о миграции и аккумуляции элементов питания в почве под воздействием почвообразовательного процесса. Для правильного понимания процессов почвообразования студент должен научиться интерпретировать результаты валового химического анализа почвы [8].

В таблицах 3 и 4 приводятся результаты анализа валового состава почв лесостепи Поволжья, выполненный химическим и рентген – флуоресцентным методами (Винокуров и др., 1962; Гайсин, Муртазина, 1991).

Таблица 3 - Валовой химический состав почв лесостепи Поволжья

Гиг- роскоп. влага	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	CaO	MgO	SO_3	Cl	Na_2O	K_2O	LiO_2	MnO	Гумус	N
*Дерново-подзолистая														
1,9	77,5	8,9	2,4	0,23	1,2	0,9	0,03	0,002	0,8	2,3	0,7	0,08	2,9	0,15
*Серая лесная														
1,9	75,3	9,6	2,8	0,18	1,4	0,9	0,11	0,001	1,2	2,2	0,7	0,09	3,4	0,23
*Темно-серая лесная														
2,9	77,0	10,5	2,8	0,25	1,5	1,1	0,21	0,02	0,8	2,2	0,7	0,11	5,2	0,28
**Чернозем выщелоченный (Винокуров и др, 1962)														
5,2	75,5	14,3	4,6	0,25	2,7	1,5	н.о	н.о	0,7	2,1	н.о	0,11	9,2	0,52

Примечание: *анализы выполнены рентген - флуоресцентным методом. (Гайсин И.А., Муртазина С.Г., 1991).

**анализы выполнены химическими методами (Винокуров М.А. и др., 1962).

Таблица 4 - Молекулярные отношения в почвах лесостепи Поволжья

$\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2 / \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$
Дерново-подзолистая			
12,6	14,7	84,7	5,7
Серая лесная			
11,2	13,3	70,3	5,5
Темно-серая лесная			
10,8	12,8	72,2	5,7
Чернозем выщелоченный			
7,5	9,0	43,7	4,9

Контрольные задания.

1. Построить круговую диаграмму содержания оксидов химических элементов по таблице 3.
2. Описать генетические различия валового химического состава подтипов почв.
3. Объяснить различия в содержании оксидов, гигроскопической влаги и гумуса в различных подтипах почв.
4. По вычисленным молекулярным отношениям сделать заключение о наличии или отсутствии процессов разложения минералов.
5. Установить различия в накоплении щелочных и щелочноземельных оснований, а также полуторных окислов.
6. Объяснить причину снижения показателей молекулярных отношений в ряду почв дерново-подзолистые, серые лесные и черноземы.
7. Сделать предварительное заключение о потенциальном плодородии, о содержании гумуса, азота, фосфора и калия в различных типах почв.

3. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (ТМ) В ПОЧВАХ

3.1. Градация содержания в почве тяжелых металлов

В условиях усиления антропогенного, техногенного воздействия на агроландшафты становится актуальной сохранение экологической чистоты почв, водных и растительных ресурсов и в целом получаемой растениеводческой и животноводческой продукции. Наиболее опасными тяжелыми металлами по токсичности и способности к биоаккумуляции считаются ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, олово, мышьяк. Центр Агрохимической службы (ГЦАС) «Татарский» за последние 26 лет с 1994 года ведет постоянные наблюдения и обследование земель по изучению и мониторингу

микроэлементов (МЭ) и тяжелых металлов (ТМ): меди, цинка, свинца, ртути и кадмия [4, 13]. Экологическая оценка производится по содержанию валовых и подвижных форм ТМ (табл. 5, 6, 7).

Таблица 5 - Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов (Ринькис, 1963)

Степень обеспеченности	B	Mo	Cu	Mn	Zn	Co
Низкая	< 0,2	< 0,1	< 2,0	< 20	< 1,0	< 1,0
Средняя	0,2 – 0,6	0,1 – 0,3	2,0 – 3,5	20 – 60	1,0 – 3,0	1,0 – 3,0
Высокая	> 0,6	> 0,3	> 3,5	> 60	> 3,0	> 3,0

Таблица 6 - Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК), валовое содержание, мг/кг

Группа почв	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
Кислые суглинистые и глинистые pHс <5,5	40	66	110	5	1,0	65
Близкие к нейтральным суглинистые и глинистые pHс >5,5	80	132	220	10	2,0	130

Таблица 7 - Шкала экологического нормирования тяжелых металлов в почве (Покровская, 1988)

Содержание	Pb	Cd	Zn	Cu
Очень небольшое	< 5	< 0,05	< 15	< 5
Небольшое	5 – 10	0,05 – 0,10	15 – 30	5 – 15
Среднее	10 – 35	0,10 – 0,25	30 – 70	15 – 50
Увеличенное	35 – 70	0,25 – 0,50	70 – 100	50 – 80
Большое	70 – 100	0,50 – 1,0	100 – 150	80 – 100
Очень большое	100 – 150	1 – 2	150 – 200	100 – 150
Умеренное загрязнение	150 – 500	2 – 5	200 – 500	150 – 250
Высокое загрязнение				
Очень высокое загрязнение	500 – 1000	5 – 10	500 – 1000	250 – 500
	> 1000	> 10	> 1000	> 500

Обеспеченность микроэлементами и содержание тяжелых металлов в пахотных почвах Республики Татарстана представлена в таблицах 8 и 9.

**Таблица 8 - Содержание микроэлементов в пахотных почвах
Республики Татарстан на 1.01.2020 г (мг/кг).**

Почвенно-климатические зоны		Средневзвешенное содержание, мг/кг						
		B	Mo	Mn	Cu	Zn	Co	S
Предкамье и Закамье По республике		0,8	0,14	54,1	4,3	2,2	1,5	6,1
		1,4	0,1	-	0,2	0,5	0,3	5,3
		1,1	0,13	-	2,0	1,2	0,8	5,6
Обеспеченность (По Предка- мью)	низкая	<	<0,1	<30	<1,5	<2,0	<1,0	<6,0
	средняя	0,34- 0,7	0,11- 0,22	31-70	1,6- 3,3	2,1- 5,0	1,1- 2,2	6,0- 12,0
	высокая	>	>0,22	>70	>3,3	>5,0	>2,2	>12,0
Обеспеченность (По Закамью)	низкая	-	-	-	<0,20	-	<0,15	-
	средняя	-	-	-	0,21- 0,50	-	0,16- 0,30	-
	высокая	-	-	-	>0,50	-	>0,30	-

**Таблица 9 - Содержание солей тяжелых металлов (ТМ) в пахотных почвах
Республики Татарстан на 1.01.2020 г.**

Почвенно- климатические зо- ны	Формы ТМ	Средневзвешенное содержание, мг/кг				
		Cu	Zn	Pb	Hg	Cd
Предкамье и Закамье По республике	валовое	15,6	33,5	9,3	0,019	0,24
	валовое	22,4	46,1	10,3	0,024	0,29
	валовое	19,2	40,5	9,9	0,022	0,27
ПДК	валовое	55	100	32	2,1	3,0
	подвижное	3,0	20	6,0	-	-

Контрольные задания.

1. Согласно ОДК, ПДК и шкале экологического нормирования оценить содержание тяжелых металлов (ТМ) в пахотных почвах Республики Татарстан.
2. Какова обеспеченность почв биогенными микроэлементами в пахотных почвах Республики Татарстан (табл. 9)?
3. Назвать причины различного содержания ТМ в Предкамье и Закамье (табл. 8).

3.2. Эколого-токсикологическая оценка содержания тяжелых металлов в системе почва – растение

Не менее важный научный и практический интерес представляет содержание ТМ в растительной продукции, куда они попадают из загрязненной почвы, воздуха вместе с удобрениями и ядохимикатами, а также в составе техногенных выбросов.

Контрольные задания.

В длительном опыте (12 лет) с минеральными удобрениями изучали изменение содержания ТМ в системе почва - растение (табл. 10, 11).

1. Исходя из данных таблиц 9-11, дать эколого-токсикологическую оценку содержания ТМ в агроценозе.

2. Как изменяется содержание ТМ в серой лесной почве в результате интенсивного применения удобрений?

3. Как влияют высокие дозы удобрений на содержание ТМ в зерне яровой пшеницы?

4. Какие биогенные ТМ являются дефицитными в зерне пшеницы и с чем это связано?

Таблица 10 - Изменение содержания тяжелых металлов в системе почва – растение в севообороте под влиянием удобрений (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Среднее содержание, мг/кг				
	меди	цинка	свин-ца	кадмия	ртути
Серая лесная почва					
Контроль	16,0	40,7	5,5	0,50	0,01
N60P60K40	25,0	56,7	6,5	0,49	0,01
N120P60K120	18,5	51,0	5,91	0,55	0,02
N180P60K40	19,3	52,0	5,8	0,52	0,02
N180P60K200	24,7	42,2	6,8	0,56	0,03
ПДК для почвы	55,0	100,0	30,0	1,0	1,0
Яровая пшеница					
Контроль	1,25	37,8	н.о.	0,30	0,0025
N60P60K40	1,25	38,1	н.о.	0,32	0,0025
N120P60K120	1,50	40,2	н.о.	0,30	0,005
N180P60K40	1,60	42,2	н.о.	0,30	0,005
N180P60K200	1,63	44,5	н.о.	0,37	0,0025
ПДК для зерна	10,0	50,0	н.о.	0,30	0,1

Таблица 11 - Группировка по содержанию тяжелых металлов в растениеводческой продукции

Варианты	Cu	Zn	Pb	Cd
Недостаточное	< 30	< 10		

Избыточное	>50	> 30	>5	>0,3
------------	-----	------	----	------

Ситуационные задачи

1. Определить почвообразовательный процесс в почве по данным валового химического состава в % на бескарбонатную почву (табл.1).

Таблица 1 – Результаты валового анализа

Глубина образца, см	Гумус, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
4-14	0,4	88,2	7,8	1,2
20-30	0,3	87,9	8,4	1,4
35-45	0,1	84,7	9,8	3,9
60-70	0,1	80,4	12,6	4,5
90-100	-	78,9	12,1	4,6

2. Определить почвообразовательный процесс в почве по данным валового химического состава в % на прокаленное вещество (табл.1).

Таблица 1 – Результаты валового анализа

Глубина, см	Гигроскопическая вода	Потеря при прокаливании	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
0-20	1,53	5,94	84,71	9,30	2,82
30-38	0,64	1,92	87,73	7,00	2,29
55-65	4,26	4,99	77,07	14,35	4,82
95-105	2,83	3,47	83,80	10,28	3,68

3. Определить тип почвообразования по данным валового химического состава в % на прокаленное вещество (табл.1).

Таблица 1 – Результаты валового анализа

Глубина, см	Гумус, %	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
0-10	10,53	73,35	3,59	10,70
10-20	6,98	72,57	3,84	11,20
36-46	4,55	74,61	3,74	10,87
60-70	3,36	74,52	3,39	11,86
100-110	1,57	73,66	3,59	11,17

4. Определить тип почвообразования по данным валового химического состава в % на прокаленное вещество (табл.1).

Таблица 1 – Результаты валового анализа

Глубина, см	Гумус, %	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
0-10	9,75	67,41	6,46	13,50
10-20	8,98	67,39	6,29	13,78
26-36	6,40	66,59	6,04	14,54

51-61	3,00	67,65	5,48	14,46
96-106	-	69,51	6,44	14,64

5. Определить тип почвообразования по данным валового химического состава в % на прокаленное вещество (табл.1).

Таблица 1 – Результаты валового анализа

Глубина, см	Гумус, %	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
0-7	1,72	76,50	4,21	13,30
7-17	1,59	65,62	6,29	17,47
30-40	0,47	70,83	4,39	12,19
60-70	-	72,00	4,67	12,12

4. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЧВ

4.1. Минералогический состав

Основную долю вещественного состава рыхлых почвообразующих пород составляют минеральные частицы. Исключение представляют торфяные отложения. Минеральные частицы разделяются на две группы. Одну из них представляют зерна первичных минералов, другую – частицы вторичных глинистых минералов, что является продуктом трансформации первичных минералов или результатом выветривания и почвообразования (табл. 12) .

Таблица 12 - Минералогический состав земной коры по А.Е.Ферсману.

Группа минералов	Содержание, %
Полевые шпаты	55,0
Мета- и ортосиликаты	15,0
Кварц, опал, холцедон	12,0
Вода свободная и поглощенная	9,0
Слюды	3,0
Магнетит, гематит	3,0
Гидраты окислов железа	0,3
Кальцит	1,5
Доломит	0,1
Глины – вторичные ферри и алюмосиликаты	1,5
Сульфиды	Менее 0,3
Фосфаты	0,75
Хлористые соединения	0,30
Фтористые соединения	0,20

Полевые шпаты, силикаты, кварц, карбонаты, слюды составляют 85% минерального фонда земной коры. Эти же минералы преобладают в почвах, особенно в составе их крупных фракций.

Все породы по генезису делятся на три группы – магматические, метаморфические и осадочные.

Магматические породы или изверженные представляют силикатные расплавы (магму), застывшие в глубине земной коры (интрузивы), или излившиеся на поверхность Земли магму (эффузивы). Породы имеют кристаллическое или скрытокристаллическое строение. В литосфере магматические породы составляют до 95%, но в почвообразование их участие незначительное.

Метаморфические породы – это вторичные образования, массивнокристаллического строения. Материалом служат осадочные и магматические породы, что под глубоким воздействием в недрах Земли изменяется и приобретает новые свойства. К ним относятся гнейсы, сланцы. Удельный вес в качестве почвообразующих пород незначительный.

Осадочные породы – отложения продуктов выветривания массивнокристаллических пород или остатков различных организмов. Они подразделяются на обломочные, химические и биогенные. Среди последних двух карбонатные отложения имеют высокий удельный вес в качестве почвообразующих пород.

По соотношению содержания главнейших групп породообразующих минералов рыхлые почвообразующие породы имеют следующие отличительные свойства:

1. Обогащены устойчивым к выветриванию минералом кварца;
2. Они обеднены не устойчивыми к выветриванию минералами – полевыми шпатами, пироксенами, амфиболами, слюдами, карбонатами.

Дифференциация содержания первичных минералов наблюдается от гранулометрического состава. Так, первичные минералы в мелкоземе песков составляют 90-98%, суглинков – 50-80%, глин – 10-12%.

В отличие от рыхлых пород магматические породы более богаты неустойчивыми первичными минералами.

В химическом составе устойчивые минералы в основном состоят из окислов кремния и для почв представляют балластный минерал. Неустойчивые минералы разнообразны по химическому составу, в них сосредоточены основные запасы макро- и микроэлементов питания – фосфор, калий, кальций, магний, сера, медь, бор и т.д.

Группы минералов по мере возрастания их устойчивости.

1. Карбонаты – кальцит, доломит.
2. Оливин.
3. Пироксены моноклинные – авгит, диопсид.
4. Пироксены ромбические – гиперстен, актинолит, тремолит, биотит, хлориты.
5. Эпидоты.
6. Плаггиоклазы средние и основные – анартит, лабрадор, битовнит.
7. Плаггиоклазы кислые (альбит, олигоклаз).
8. Калиево-натриевые полевые шпаты - ортоклазы, микроклин.
9. Апатит.

Из перечисленных из-за неустойчивости к выветриванию редко и в небольшом количестве встречаются - оливин, ромбические пироксены, средние и основные плагиоклазы.

Из минералов фосфором богаты апатиты, калием – биотит, калиевые полевые шпаты, кальцием – карбонатные минералы, средние и основные плагиоклазы. Присутствие в почвах минералов группы железа может затушевывать проявление подзолистого горизонта A_2 (E). Подзолообразование сдерживается карбонатной породой, здесь формируются рендзины или дерново-карбонатные почвы. В условиях РТ они занимают значительные территории.

К группе устойчивых к выветриванию породообразующих минералов относится ряд каркасных и кальциевых силикатов, а также минералы оксидов железа, титана и некоторых других групп: кварц, анатаз, гранаты, ильменит, магнетит, монацит, мусковит, рутил, ставролит, сфен, турмалин, шпинель, циркон.

Минералы этой группы за исключением кварца, содержатся в почве в очень небольших количествах, однако диагностическая их роль довольно существенна. Видовой набор таких минералов служит в качестве критерия оценки однородности почвообразующей породы.

По содержанию минералов этой группы можно судить о степени выветривания первичных минералов в профиле почв. Например, применяется коэффициент устойчивости, представляющий отношение суммы устойчивых минералов к сумме неустойчивых. Понятие устойчивости введено в геологии и рассматривается в отношении к химическому выветриванию. Общепринятые схемы устойчивости относительно к условиям почвообразования, видимо, претерпевают изменения и соответственно требуется корректировка. Например, микроклин, ортоклаз, кислые плагиоклазы, относимые к группе устойчивых, претерпевают существенные педогенные (почвенные) изменения, могут быть источниками калийного питания.

К настоящему времени накоплен фактический материал о том, что в зависимости от кислотно-щелочной обстановки изменяется устойчивость отдельных минералов. Например, кварц наиболее устойчив в кислой среде. По мере подщелачивания среды кварц становится менее устойчивым.

4.2. Способы изучения первичных минералов

Основной способ изучения первичных минералов почв является их оптическая диагностика с помощью поляризационного микроскопа и бинокулярной лупы. Методы изучения заимствованы из геологии.

Подготовка образцов имеет большое значение. Можно изучать первичные минералы на шлейфах, подготовленных для микроморфологии. Однако при этом, из-за преобладания первичных минералов кварца, полевых шпатов, точность определений уменьшается. В глинистых почвах плазма состоит из глинистых частиц, первичные минералы единичны.

Другой способ предусматривает выделение фракции 0,25-0,05 и 0,05-0,01 мм. Далее разделение производят бромформой – (плотность 2,8-2,9 г/см³) на легкие – кварц, полевые шпаты, карбонаты и тяжелые минералы. Доля тяжелых минералов служит диагностическим показателем почв. Она колеблется от десятых долей до 5-10%.

4.3. Минералогический состав почвообразующих пород

Первичные минералы полностью наследуются почвами от почвообразующих пород. Наибольшие различия имеются между почвами, развитых на рыхлых и плотных породах.

На территории северного полушария наиболее распространенными почвообразующими породами служат: моренные отложения, лессы, покровные и лессовидные суглинки, флювиогляциальные пески и супеси. Вместе с тем, рыхлые ледниковые отложения разных регионов отличаются по минералогическому составу. В западной половине преобладают роговые обманки, биотит, в восточной части – эпидот, что отражает источник поступления материала (Балтийский щит, северный Урал и т.д.). При продвижении с севера на юг Русской равнины в почвообразующих породах и почвах заметно уменьшается содержание полевых шпатов, неустойчивых к выветриванию тяжелых минералов. Это указывает на увеличение степени выветривания минералов в этом направлении.

Почвы на элювии плотных пород характеризуется уменьшением доли кварца в составе минералов, а количество полевых шпатов возрастает. Вместе с тем, минералогический состав почв зависит от генезиса плотных пород. Породы основного состава – базальты, диориты, туфы обуславливают преобладание средних основных плагиоклазов, пироксенов, вулканического стекла в составе почв.

В почвах на элювии магматических кислых пород (граниты, гранодиориты) в составе первичных минералов преобладают полевые шпаты, кварц, биотит, роговая обманка.

В почвах на элювии кристаллических сланцев в составе первичных минералов преобладают слюды и хлориты.

Первичный профиль дифференцируется по минералогическому составу первичных минералов, особенно тяжелых. Верхняя часть профиля, как правило, обедняется тяжелыми минералами.

В пределах типов почвообразования также наблюдается дифференциация. В частности, в подзолистых почвах содержание тяжелых минералов намного меньше, чем в черноземах.

4.4. Вторичные минералы

Вторичные минералы практически целиком сосредоточены в тонкодисперсных гранулометрических фракциях менее 0,001 мм и представлены глинистыми минералами, минералами оксидов железа, алюминия, аллофонами и минеральными солями.

Основное свойство вторичных минералов – их поглощательная способность и наряду с гумусом являются основным источником поступления элементов питания в растения.

Главные глинистые минералы в почве: группа минералов каолинита, гидрослюд, монтмориллонита, смешаннослойных минералов и хлорита. Они имеют слоистое кристаллическое строение, высокую дисперсность и поглощательную способность.

Минералы группы каолинита – относятся к диоктаэдрическим слоистым алюмосиликатам, имеющим жесткую кристаллическую решетку. Емкость поглощения не превышает 25 мг/экв. на 100 г, минерал не впитывает воду в межпакетное пространство, не набухает.

Почвы со значительным содержанием каолинита имеют небольшую емкость из-за слабой набухаемости почвы хорошо водопроницаемы. Каолинитом богаты тропические и субтропические почвы, в условиях подзолистого типа почвообразования его содержание незначительное.

К группе минералов каолинита относится галлуазит, он имеет значительное количество межслоевой воды, емкость поглощения доходит до 40-60 мг/экв на 100 г.

Минералы группы гидрослюд или минералы группы иллита представляют собой трехслойные алюмосиликаты с нерасширяющейся решеткой. Емкость поглощения равна 45-50 мг/экв. Гидрослюды содержат значительное количество калия – 6-8%. Минералы этой группы широко распространены в осадочных породах, присутствуют почти во всех почвах, особенно часто в подзолистых почвах и сероземах. Минералы монтмориллонитовой группы или минералы группы смектита – имеют трехслойную кристаллическую решетку (при увлажнении она расширяется), значительно поглощают влагу, набухают. Гидрофильность также, обусловлена высокой дисперсностью. Содержание фракции 0,2-0,3 мкм достигает до 40-50% от общего количества частиц менее 0,001 мм. Емкость поглощения равна 100-120 мг/экв. Имеются изоморфные представители - бейделлит, где кремний замещен на алюминий и нонтронит, где часть алюминия замещена железом.

Группа минералов монтмориллонита чаще встречается в почвах с нейтральной и слабощелочной средой – черноземы, каштановые почвы, солонцы, и их много в слитых почвах.

Группа смешаннослойных минералов широко представлены в почвах умеренного и холодного гумидного, арктического поясов. Смешаннослоистые минералы состоят из слоев различных индивидуальных минералов, что отражается в названиях: гидрослюда-монтмориллонит, хлорит-вермикулит. По-

этому они имеют разнообразные свойства, показатели широко варьируют от состава слоев.

Минералы группы хлорита нередко встречаются в почвах, по генезису могут быть как первичными, так и вторичными. Кристаллическая решетка последних представлена чередованием слоев слюдяного и бруситового типов.

Закономерность распределения глинистых минералов в почвах и породах не наблюдается, что говорит о сложном их генезисе и процессах новообразования, трансформации в почвах.

Выделяют два пути образования глинистых минералов.

Первый путь – наблюдается при выветривании полевых шпатов, ортосиликатов, вулканических стекол, где исходные минералы полностью разрушаются и происходит синтез новых из этих продуктов.

Процесс образования вторичных минералов зависит от условий увлажнения и теплообеспеченности. Так, в тундре этот процесс замедлен, а зоне тропиков несколько ускорен.

Н.И. Горбуновым на элювии вулканов тропической зоны 300-1000 летнего возраста были отмечены группы минералов гидрослюд и монтмориллонита, хотя и в небольших количествах.

Почвенная минералогия, в частности вторичных минералов, очень молода, соответственно еще не имеет точных количественных методов определения.

4.5. Минералы гидрооксидов железа и алюминия

Наибольшее значение имеют гетит и гематит из группы минералов железа, гиббсит – из группы минералов алюминия. Минералы этих групп встречаются в иллювиальных горизонтах подзолистых почв, желтоземов и красноземов. Встречаются в форме пленок на поверхности первичных минералов и агрегатов, влагоемки, поглощают фосфорную кислоту.

Аллофоны образуют самостоятельную группу вторичных минералов. Формирование может быть обусловлено взаимодействием кремнекислоты и гидроксидов алюминия. Они гидрофильны, набухаемы, липки, имеют поглотельную способность.

Минералы – соли встречаются преимущественно в почвах аридных и семиаридных зон. Они могут быть первичными и вторичными (табл.13, 14).

Кальцит- CaCO_3

Доломит- $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$

Сода – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Трона - $\text{NaHCO}_3 \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$

Гипс- $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$

Полугидрат – $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$

Ангидрит – CaSO_4

Мирабиллит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$

Тенардит – Na_2SO_4

Галлит –NaCl, CaCl, MgCl₂.

Таблица 13 - Химический состав морены Белорусского Полесья
(в % на прокаленную навеску, по Б.И.Лукашеву, 1966)

Литологический тип морены	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O
Глина	73,3	3,8	11,3	0,8	3,8
Супесь	83,7	2,5	7,2	0,3	2,2
Песок	94,2	0,5	4,0	Сл.	0,1

Таблица 14 - Валовой состав гранулометрических фракций песчаного подзола Русской равнины, % на прокаленную почву
(по В.Д. Тонконогову, 1971)

Литологический тип морены	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
Порода 170-180 см					
1-0,25	96,9	3,1	0,4	0,2	0,7
0,25-0,1	89,6	7,0	0,6	0,0	1,8
0,1-0,01	83,5	10,6	1,6	0,1	2,1
0,01-0,001	63,8	22,4	7,3	2,2	1,9
Меньше 0,001	50,8	29,0	12,5	2,5	2,6
Почва, 2-10 см					
1-0,25	96,9	1,7	0,3	0,0	0,5
0,25-0,1	93,0	4,7	0,4	0,0	1,3
0,1-0,01	87,7	7,9	1,2	0,0	1,5
0,01-0,001	74,1	17,6	1,4	0,1	3,4
Меньше 0,001	61,3	27,4	3,5	0,5	3,7

4.6. Электронно-микроскопический метод

Данный метод получил широкое распространение в различных областях науки и техники, в том числе в почвоведении, мелиорации, агрохимии.

Современные электронные микроскопы позволяют увидеть не только молекулы веществ и микроорганизмы, но даже отдельные атомы тяжелых металлов.

В настоящее время получили распространение два типа электронных микроскопов:

1. Просвечивающие электронные микроскопы, в которых исследуемый объект просвечивается пучком электронов, создающим затем на экране или фотопластине соответствующее изображение.
2. Растровые (сканирующие) электронные микроскопы, в которых изображение создается вторичными электронами, испускаемыми исследуемой поверхностью при облучении её пучком первичных электронов.

Электронные микроскопы просвечивающего типа отличаются более высокой разрешающей способностью, однако они пригодны лишь для изучения очень тонких поверхностей (до 500 Å). Поэтому в почвоведении чаще всего применяют сканирующие электронные микроскопы, которые характеризуются большей глубиной резкости, широким полем зрения и большим диапазоном увеличений.

Наша отечественная промышленность также выпускает два типа растровых электронных микроскопов – РЭМ- 200 и РЭМ- 100.

Подготовка образцов для РЭМ включает в себя ряд операций – дегидратацию и высушивание образцов без нарушения морфологической структуры, а затем напыление их поверхности тяжелыми металлами. Подготовка образцов сложна в выполнении и значительно зависит от квалификации специалиста [24].

Напыление образцов почвенных минералов осуществляется термическим испарением минерала в вакууме. Толщина пленки не должна превышать 100–150 Å. Более толстое покрытие нежелательно, так как оно может сгладить поверхность исследуемого образца. В качестве напылителей используют смесь углерода, золота или платины. Напыление проводят в вакуумной установке или на установке фирмы «Хитачи».

После этого образец помещают под электронный микроскоп, детально его рассматривают и нужные минералы фотографируют. Затем фотографии сравнивают с фотографиями специальных альбомов и определяют минерал.

4.7. Рентгенографический метод

Рентгенографическим методом изучаются коллоидные и илистые фракции почв. С помощью данного метода решается несколько задач, но одна из важнейших заключается в определении минералов, которые присутствуют в высокодисперсной части почв.

Рентгеновские лучи были открыты в конце XIX в. и вскоре нашли широкое применение в различных областях науки, а в 30-е годы XX в. – в почвоведении. В зависимости от длины волны различают мягкие (длина волны 15–6 Å), средние (6–0,6 Å) и жесткие (0,6–0,06 Å) рентгеновские лучи. В практике рентгенографического анализа используется излучение со средней длиной волны.

Сущность рентгенографического метода определения минералов основана на том, что каждый минерал имеет свойственную только ему кристаллическую решетку. В кристаллическом виде все атомы, ионы и молекулы расположены упорядоченно и в целом образуют пространственную решетку.

Решетка имеет три измерения. Дифракцию рентгеновских лучей можно представить как результат их отражения от узловых плоскостей. Отраженные лучи действуют на фотопленку, на которой образуются симметрично расположенные линии, дуги или кольца, каждые из которых соответствуют отражению лучей известной длины волн (001). В результате рентгенографического анализа

получают рентгенограммы, представленные в таблице, на которой видны длины волн.

Для проведения рентгеновского анализа илистой фракции почв применяют аппараты различной конструкции, но чаще всего УРС- 55 А. Он занимает мало места, удобен в управлении и использовании. На нем можно проводить одновременно анализ двух образцов[12].

Контрольные вопросы.

1. Назовите особенности минералогического строения земной коры.
2. В чем заключаются особенности состава рыхлых почвообразующих пород?
3. Каковы основные способы изучения первичных минералов?
4. В чем отличие ледниковых отложений различных регионов?
5. Охарактеризуйте основные группы глинистых минералов.
6. Какие типы электронных микроскопов применяются в изучении минералов?
7. Какие фракции частиц почвы изучают рентгенографическим методом?

5. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ВОДНОГО РЕЖИМА

5.1. Изменение водопроницаемости во времени

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

Выделяется два этапа:

1. Поглощение воды почвой и прохождение ее от слоя к слою в ненасыщенной почве.
2. Фильтрация воды сквозь толщу насыщенную водой почвы.

Первый этап характеризуется коэффициентом впитывания. Вторым этапом – это собственно фильтрация. Интенсивность прохождения воды в почвенно-грунтовой толще, характеризуется коэффициентом фильтрации. Границей между впитыванием и фильтрацией считают момент установления постоянной скорости фильтрации.

Водопроницаемость почв находится в зависимости от гранулометрического состава, химических и физико-химических свойств, структурного состояния, плотности, порозности, влажности и длительности увлажнения. В почвах тяжелого гранулометрического состава она всегда меньше. Чем в легких. Сильно уменьшают водопроницаемость поглощенные катионы - натрий, магний из-за диспергирующего действия их на почву.

Водопроницаемость почвы измеряется объемом воды, который проходит через единицу площади поперечного сечения в единицу времени. Водопроницаемость почв величина динамичная, варьирует как профилем почв, так и в

пространстве. Водопроницаемость определяется в 1 час впитывания при напоре воды 5 см температуре воды 10°C (табл.15).

Таблица 15 - Водопроницаемость почв по шкале Н.А. Качинского (1970)

Водопроницаемость в первый час впитывания, мм вод.ст.	Оценка
> 1000	Провальная
1000-500	Излишне высокая
500-100	Наилучшая
100-70	Удовлетворительная
<30	Неудовлетворительная

5.2. Водоподъемная способность почвы

Водоподъемная способность почв - свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней воды за счет капиллярных сил.

Высота подъема воды в почвах, скорость ее передвижения в основном определяется гранулометрическим составом, структурным состоянием и порозностью почвы.

Чем тяжелее почва и менее структурна, тем больше потенциальная высота подъема воды, а скорость подъема меньше (табл.16).

Таблица 16 - Водоподъемная способность почвы и гранулометрический состав

Гранулометрический состав	Водоподъемная способность почвы, м
Крупный песок	0,5
Средний песок	0,5-0,8
Супесь	1,0-1,5
Пылеватая супесь	1,5-2,0
Средний суглинок	2,5-3,0
Тяжелый суглинок	3,0-3,5
Тяжелая глина	4,0-6,0
Лесс	4,0-5,0

Чем тяжелее почва по гранулометрическому составу, тем меньше скорость движения, но высота капиллярного подъема увеличивается по мере утяжеления гранулометрического состава.

Водоподъемная способность грунтов и почв в зависимости от гранулометрического состава можно представить следующей схемой:

- 1 – глина
- 2- лессы
- 3- суглинки
- 4- супеси

Объем капиллярно-проводимой воды, а следовательно и капиллярного движения пропорциональны четвертой степени радиуса капилляров, обратно пропорциональны вязкости жидкости. Пуазелем получена следующая формула:

$$Q = \frac{\pi \times G \times h \times \rho \times t \times R^4}{8 \times \eta \times L}, \text{ где}$$

Q – объем жидкости; T – время; π - 3,14; G – ускорение силы тяжести; ρ – плотность жидкости; η – вязкость жидкости; R – радиус трубки; L – длина трубки.

Однако эта формула применима лишь правильным цилиндрическим трубкам. Схема трубок капиллярного диаметра мало приложима к почвам и грунтам, которые имеют крайне сложную размерность и тип строения. Согласно формуле Л.М. Пуазеля в однородных грунтах подъем воды может достигать до 7,5 м и более.

При утяжелении гранулометрического состава почв водоподъемная сила сначала будет расти до определенного предела, а затем она начнет уменьшаться. Это объясняется тем, что капиллярная вода передвигается не во всем объеме пор, а лишь в действующем просвете.

Капиллярные силы увеличиваются по мере уменьшения диаметра капилляров. При этом кривизна менисков увеличивается. Этот процесс идет до определенного диаметра пор. При этом всасывающая сила менисков уравнивается с силами трения о стенки пленочной воды. Подъем воды прекращается. Передвижение воды происходит для пленочной воды, а ее скорость очень низка.

На скорость подъема воды оказывает влияние степень минерализации грунтовых вод. Высокоминерализованные воды характеризуются меньшей высотой и скоростью подъема.

5.3. Поведение и состояние воды в почве

Поведение воды в почве, ее физическое состояние, передвижение в профиле по вертикали и горизонтали, ее доступность растениям подчиняется сложным и очень сложным закономерностям статистического характера. Они описываются следующими методологическими подходами:

1. Водобалансовый подход.

2. Гидродинамический подход.

Водобалансовый подход. Водный баланс характеризует приход влаги в почву и расход из нее. Баланс влаги выражается формулой.

$$W_0 + W_{ос} + W_{г} + W_{к} + W_{пр} - W_{б} = E_{исп} + E_{т} + W_{и} + W_{п} + W_{с} + W_{л};$$

Приходная статья баланса:

W₀ – запас влаги в начале наблюдения;

W_{ос} – сумма осадков за период наблюдения;

W_г – количество влаги, поступающей из грунтовых вод;

W_к – количество влаги, конденсирующейся из паров воды;

Впр – количество влаги, поступающей за счет бокового притока почвенных и грунтовых вод.

Расходная статья:

Еисп – количество влаги, испарившейся с поверхности почвы за период наблюдения, т.е. физическое испарение.

Ем=Ет – количество влаги, расходуемой на транспирацию (десукция).

Ви – количество влаги, теряющаяся в результате поверхностного стока.

Вс – влага, теряющаяся за счет бокового внутрипочвенного стока.

В1 – запас влаги в конце наблюдения.

Всю совокупность явлений (процессов) поступления влаги в почву, ее передвижения, удержания в почвенных горизонтах и расхода из почвы называют водным режимом. Количественно водный режим выражают через водный баланс. В нем присутствует расходная и приходная статьи.

Водный баланс, как правило, рассматривают за определенный отрезок времени. Так, В.А. Ковда предлагает различать следующие формы водного баланса:

1. Вековой водный баланс. Необходимость его вызвана с геологической продолжительностью формирования геоморфологии местности.
2. Периодический водный баланс. Отрезок времени здесь составляет 11-25 лет и обусловлен цикличностью Солнечной активности.
3. Годичный водный баланс связан с годичным циклом водного баланса.
4. Межполивной период водного баланса. Охватывает короткие отрезки времени между поливами.

Кроме этих основных форм водного баланса можно выделять периоды, связанные с отрезками времени, с фазами развития культур: посев, всходы, кущение, восковая спелость, уборка. Можно провести баланс за весь период вегетации.

Проанализируем приведенную формулу:

1. Для склоновых элементов рельефа боковой приток равен боковому стоку влаги. $\underline{Вб=Вс}$;
2. Содержание конденсирующей влаги, как правило, незначительно:
3. $Вк \rightarrow 0$. В практических расчетах его можно исключать.

$$В_0 + В_{ос} + В_г + В_к + В_{пр} = Е_{исп} + Е_т + В_и + В_п + В_1$$

При многолетних наблюдениях $В_0 = В_1$. Тогда формула упрощается.

$$В_{ос} + В_г + В_к + В_{пр} = Е_{исп} + Е_т + В_и + В_п$$

Запасы влаги, статьи прихода и расхода вычисляются в м³/га или мм.

$$1 \text{ мм} = 10 \text{ м}^3/\text{га} = 10 \text{ т}/\text{га}.$$

Запасы влаги в почвах вычисляют в отдельных горизонтах:

$$В = a \times V \times H,$$

где В – запаса влаги в м³/га, а – полевая влажность, Н – мощность горизонта в см.

Различают: ОЗВ – общий запас влаги – суммарное количество воды различных категорий влаги; ПЗВ – суммарное количество продуктивной влаги или

доступной растениям влаги в толще почвогрунта. ЗТВ – это количество влаги при влажности устойчивого завядания растений. Отсюда полезный запас влаги равен (табл.16):

$$\text{ПЗВ} = \text{ОЗВ} - \text{ЗТВ}$$

Таблица 16 - Оценка запасов полезной влаги или продуктивной влаги производится по шкале Вадюниной и Корчагиной (1986)

Запас влаги, мм	Оценка
Слой 0-20 см (пахотный горизонт)	
Больше 40	Хорошее
40-20	Удовлетворительное
Меньше 20	Неудовлетворительное
Слой 0-100 см	
Больше 160	Очень хорошее
160-130	Хорошее
130-90	Удовлетворительное
90-60	Плохое
Меньше 60	Очень плохое

В различных почвенно-географических зонах и отдельных участках водный баланс складывается по-разному. Практически водный режим почв определяется соотношением количества среднесезонных осадков и испаряемостью за год.

Испаряемость – это наибольшее количество влаги, которое может испариться с открытой водной поверхности или с поверхности постоянно переувлажненной почвы в данных климатических условиях за определенный промежуток времени, выражается в мм.

Отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости называют коэффициентом увлажнения – Ку. В различных почвенно-климатических зонах Ку варьирует от 3 до 0,1. Именно Ку является критерием выделения типов водного режима. Изучению водного режима посвящали труды многие ученые (Г.Н. Высоцкий, А.А. Роде).

Г.Н. Высоцкий установил 4 типа водного режима – промывной, непромывной, выпотной, периодически промывной.

А.А. Роде выделил 6 типов водного режима, подразделив их на подтипы:

1. Мерзлотный тип. Имеет место в регионах распространения многолетней мерзлоты. Мерзлый слой почвогрунта является местным водоупором, обуславливает формирование надмерзлотной верховодки. Верхняя часть оттаявшей почвы в течение вегетационного периода насыщена влагой.
2. Промывной тип (Ку больше 1). Преобладает в природных зонах, где сумма осадков больше величины испаряемости, нисходящие токи преобладают над восходящими. Весной и осенью почвенно-грунтовая толща подвергается сезонному промачиванию до грунтовых вод, наблюдается интенсивное выщелачи-

вание продуктов почвообразования. В таких условиях формируются почвы подзолистого типа, красноземы, желтоземы. Грунтовые воды залегают близко к дневной поверхности почвы и почвообразующей породы, слабопроницаемы. Формируются подзолисто-болотные и болотные почвы.

3. Периодически промывной тип ($K_u=1$) K_u варьирует от 0,8 до 1,2. В сухие годы наблюдается ограниченное промывание почвенно-грунтовой толщи, а во влажные – сквозное промачивание (серые лесные, черноземы оподзоленные и, выщелоченные). Водообеспеченность почв неустойчивая.

4. Непромывной тип (K_u меньше 1). Этот тип распространен там, где осадки достаточны для промачивания верхних почвенных горизонтов. Связь между атмосферной и грунтовой водой в почве осуществляется через слой почв, где влажность близка к ВЗ. Обмен влагой осуществляется через парообразную форму влаги.

Такой водный режим характерен для степных почв – черноземов, каштановых, полупустынных – бурых и серо-бурых почв. K_u уменьшается от 0,7-0,6 до 0,1. Годовым влагооборотом охватывается от 4 до 1 м.

В степных почвах осенне-весенние запасы влаги интенсивно используются на транспирацию и физическое испарение, поэтому здесь преобладают восходящие потоки влаги над нисходящими. Земледелие без орошения возможно на черноземах и каштановых почвах, а на бурых и серо-бурых почвах необходимо орошение.

5. Выпотной тип (K_u меньше 1) проявляется в степной, особенно полупустынной и пустынной зонах. Обязательным условием является близкое залегание грунтовых вод. Преобладают восходящие потоки влаги в почве за счет капиллярного подтягивания от грунтовых вод. При минерализации грунтовых вод происходит засоление почв, особенно поверхностных горизонтов.

6. Ирригационный тип. Создается при дополнительном увлажнении почвы оросительными водами. В разные периоды при орошении создаются различные типы водного режима. При орошении, поливе формируется промывной тип, между поливами – непромывной, даже выпотной тип. Периодически меняются нисходящие токи с восходящими.

Гидродинамический методологический подход рассматривает скорость и плотность водных потоков в почве. Этот подход больше применяется в почвенно-мелиоративных исследованиях. В последнее время широко внедряется термодинамический подход, базирующийся на оценке сил взаимодействия между водой и твердой фазой почвы. Измеряется эта сила взаимодействия инструментальными методами, что позволяет разрабатывать автоматизированную систему управления водным режимом в условиях орошения и осушения.

5.4. Потенциал почвенной воды

Почвенная вода находится под воздействием нескольких сил – адсорбционных, капиллярных, осмотических, гравитационных. Для характеристики суммарного действия и оценки энергетического состояния введено понятие термодинамического или полного потенциала почвенной влаги.

Потенциал почвенной воды – величина отрицательная, поскольку необходима работа по ее преодолению, измеряется в паскалях.

Потенциальной почвенной воды величина суммарная и равна частям потенциалов, связанных с силовыми полями. Различают адсорбционный, капиллярный, осмотический, гравитационный потенциалы почвенной влаги.

5.5. Сосущая сила в почве

В почве, насыщенной влагой, но не содержащей солей, давление равно нулю. При снижении влажности оно приобретает отрицательные значения.

По мере иссушения у почвы появляется способность при соприкосновении с водой поглощать ее. Такая способность почвы получила название сосущей силы почвы. Она установлена В.Г. Корнеевым (1924). Сосущая сила или всасывающая сила численно равна давлению почвенной воды, но выражается положительной величиной. Она измеряется в паскалях, атмосферах, сантиметрах водного столба или в барах.

1 паскаль = 1Па = 10^{-5} бар = $9,87 \cdot 10^{-6}$ атм. = $7,5 \cdot 10^{-3}$ мм р.ст. = 0,102мм водного столба.

Всасывающая сила сухой почвы приближается к 10^7 см водн. столба или 10^9 Па. Р.К. Скофилд (1935) предложил выражать всасывающее давление почвы не числом сантиметров водного столба, а десятичным логарифмом этого числа рF. Так, 10^3 Па = рF=1; 10^5 Па = рF=3 (табл.17).

Сухая почва имеет максимальное значение давления: 10^9 Па и рF=7.

Таблица 17 - Категории влаги и значения рF

Влажность	рF
Максимальная гигроскопичность	4,5
Влажность завядания	4,2
Наименьшая влагоемкость (тГМС)	2,7-3,0
Наименьшая влагоемкость (сГМС)	2,5
Наименьшая влагоемкость (пГМС)	2,0
Прочносвязанная вода	5.0-7,0
Капиллярная вода	3,5-5,0
Свободная вода	1,75-3,5
Гравитационная вода	1,75

5.6. Доступность воды для растений

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 влаги (воды). Транспирационный коэффициент колеблется в пределах 400-600, иногда достигает 1000. Это означает, что на создание 1 т сухого вещества биомассы расходуется 400-600 т воды.

Доступность почвенной воды растениям в основном определяется гидрофизической характеристикой – потенциалом (давлением) почвенной воды, то есть коэффициентом влагопроводности. Интенсивность потока влаги к корням растений будет тем больше, чем больше разность потенциалов воды в корне и почве и чем выше коэффициент влагопроводности.

По доступности растениям почвенная вода подразделяется на следующие категории по А.А. Роде:

1. Недоступная для растений. Эта вся прочносвязанная вода и представляет мертвый запас воды. В данном случае всасывающая сила корней намного меньше сил, которые удерживают эту воду на поверхности почвенных частиц. Мертвый запас воды в почвах соответствует приблизительно максимальной адсорбционной влагоемкости или немного превышает ее.

2. Весьма труднодоступная для растений вода. Эта категория представлена в основном рыхлосвязанной (пленочной) водой. Трудная доступность влаги связана с низкой подвижностью воды, в силу чего вода не успевает подтекать к корневым волоскам. 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. Растения здесь существуют, но продуктивность резко снижается. Критерием является снижение продуктивности, а не внешний вид растения – завядание.

4. Среднедоступная вода отвечает диапазону влажности от влажности разрыва капилляров до наименьшей влагоемкости. Вода в значительной степени подвижна, растение снабжается водой. Продуктивность растений возрастает особенно по мере приближения к НВ. Легкодоступная, переходящая в избыточную воду отвечает диапазону от НВ до полной влагоемкости. За исключением песчаных и супесчаных почв воду свыше НВ следует считать избыточной.

5.7. Вода в почвах. Категории почвенной влаги

В природе вода имеет следующие функции:

1. Активная физико-химическая система, обеспечивающая множество физических, химических, а также биологических процессов.
2. Мощная транспортная геохимическая система, обеспечивающая перемещение веществ в пространстве;
3. Компонент для создания органического вещества при фотосинтезе зеленых растений.

Велика роль воды в почвообразовании. Процессы выветривания, новообразования минералов, гумусообразование, химические реакции совершаются в водной среде. Формирование почвенного профиля, генетических горизонтов и все биологические почвенные процессы связаны с наличием воды.

Состояние воды в почве, законы ее передвижения, доступность растениям, водно-физические свойства, водный режим почв привлекало внимание многих ученых почвоведов. Среди них А.А. Измаильский (1851-1914), Г.Н. Высоцкий (1865-1940), А.Ф. Лебедев (1882-1936), А.Г. Дояренко (1874-1958), С.И. Долгов (1905-1977), Н.А. Качинский (1894-1976), А.А. Роде (1897-1979).

Вода в почве неоднородна. Соответственно выделяются категории и формы почвенной воды. Они представляют порции почвенной влаги, обладающие одинаковыми свойствами. Последняя классификация почвенной воды разработана А.А. Роде (1965).

1. Твердая вода – лед. Ее наличие зависит от температуры – сезонной или многолетней (вечная мерзлота). Лед может перейти в пар или жидкость. Температура замерзания почвенной влаги ниже 0° , так как содержит растворенные вещества.

2. Химически связанная вода (включает конституционную и кристаллизационную). Первая представлена гидроксильной группой ОН химических соединений – Fe, Al, Mn, органические и органо-минеральные соединения, глинистые минералы. Вторая группа – целые молекулы воды в составе солей – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ – полудрат; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гипс; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – мирабилит.

3. Парообразная вода. Данная вода содержится в поровом пространстве в составе воздуха в виде пара. Переходы из пара в жидкость совершаются при изменении температуры. Понижение температуры ведет к насыщению парами и конденсации пара. Повышение температуры ведет к обратному процессу, жидкая фаза переходит в парообразную. Передвижение парообразной влаги совершается под действием упругости пара – от высокой упругости к низкой. Пассивная форма движения – вместе с потоком воздуха.

4. Физически связанная вода или сорбированная вода. К этой категории относится вода сорбированная на поверхности почвенных частиц за счет сил притяжения. Силы притяжения имеют различную природу. Вокруг почвенных частиц формируется пленка. Молекула воды энергетически не нейтральна, мо-

лекулы представляют диполи H^+ и OH^- , то есть частицу с двумя полюсами. Таким образом, все молекулы пленочной воды ориентированы.

Молекулы наиболее прочны вблизи частиц, по мере удаления прочность притяжения уменьшается. В пределах этой категории влаги выделяются прочносвязанная и рыхлосвязанная вода.

Прочносвязанная вода может формироваться за счет поглощения парообразной воды. Свойство почвы сорбировать парообразную воду называют гигроскопичностью почвы, поглощенную таким образом воду – гигроскопической (Г). Гигроскопическая вода удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением - $1 \cdot 10^9$ Па, образует тончайшую пленку. Плотность этой категории воды 1,5-1,8 г/см³. Она не замерзает, не растворяет соли, не доступна растениям. Количество сорбированной влаги зависит от относительной влажности воздуха. При низкой относительной влажности (20-40%) вокруг частиц формируется из одной или двух молекул. При относительной влажности, близкой к 100% (94-98%), количество сорбированной влаги достигает максимума и ее называют максимальной гигроскопичностью (МГ). Толщина пленки из 3-4 молекул. Количество пленочной воды зависит дисперсности минеральной части и содержания органического вещества. Чем больше илистой фракции, тем больше и гигроскопичность (табл.18).

Таблица 18 - Максимальную гигроскопичность различных фракции покровных глин.

Частицы	Мг, %
0.01-0.005	0.4
0.005-0,004	1.1
0.004-0,003	1.5
0,003-0,002	1.9
0.002-0,001	5.1
0,001-0,0005	25.4

Гумус увеличивает МГ, соответственно в торфах она может достигать 30-50%. В почвах МГ варьирует от 0,5% до 15-16%.

Рыхлосвязанная (пленочная) вода. Сорбционные силы почвенных частиц полностью не насыщаются даже при МГ. Почва не может поглощать из парообразного состояния сверх максимальной гигроскопической влаги. Вместе с тем жидкая вода может сорбироваться и в большем количестве.

Вода, удерживаемая в почве сорбционными силами сверх МГ, - это рыхлосвязанная или пленочная вода. Сила удерживающая измеряется меньшим давлением – $1 \cdot 10^5$ Па. Толщина пленочной воды может достигать нескольких десятков и даже сотен молекул. Она находится в вязкожидкой форме и занимает промежуточное положение между прочносвязанной и свободной. Пленочная вода может передвигаться от толстых пленок к тонким в жидкой форме. Скорость медленная – несколько десятков сантиметров в год. Для большинства

почв варьирует в пределах 7-15%. В глинистых почвах – 30-35%, в песчаных – 3-5%.

Свободная вода. Вода, которая содержится в почве сверх рыхлосвязанной, находится вне действия сил притяжения и является свободной. Свободная вода присутствует в капиллярной и гравитационной формах.

Капиллярная вода. Она удерживается в почвах в порах малого диаметра – капиллярах, под действием капиллярных или менисковых сил. В основе капиллярной силы лежит поверхностное притяжение или поверхностное давление (давление Лапласа, которое представляет разницу между атмосферным давлением и давлением жидкости).

Поверхностное давление 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 формуле Лапласа, когда давление жидкости меньше атмосферного и поверхность имеет форму вогнутого мениска, поверхностное давление (P_1) будет иметь меньше нормального (P_0):

$$P_1 = P_0 - \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Где α - поверхностное натяжение, равное для воды $75,6 \times 10^{-3}$ Н/м при 0° ; R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхности жидкости.

Капиллярные силы выражены в порах, где диаметр от 8 мм до 3 мкм. Поры мельче 3 мкм заняты связанной водой. Капиллярные силы обеспечивают подъем воды.

Капиллярная вода жидкая, свободно растворяет вещества, потребляется растениями, испаряется. Она транспортирует коллоиды по почвенному профилю.

Капиллярная вода подразделяется на виды: капиллярно-подвешенная, капиллярно-подпертая, капиллярно-посаженная.

Капиллярно-подвешенная вода заполняет поры при поступлении влаги сверху (полив, дождь). При этом под промоченным слоем всегда имеется сухой слой. Вода не «стекает», а висит. Капиллярно-подвешенная влага удерживается за счет разности давления в менисках верхней и нижней поверхности.

Капиллярно-подвешенная вода передвигается как в нисходящем, так и восходящем направлениях. При активном восходящем движении наблюдается накопление растворенных веществ на поверхности. Поэтому верхние слои орошаемых почв содержат больше солей.

Количество капиллярно-подвешенной влаги четко коррелирует с гранулометрическим составом почв. Оно достигает до 40% в почвах тяжелого гранулометрического состава, а в супесях и песках минимальны – до 25%.

Разновидностью капиллярно-подвешенной воды является стыковая капиллярно-подвешенная. Она преобладает в песчаных почвах, где поры превышают размер капилляров. Вода присутствует в виде разобщенных скоплений на стыке твердых частиц в форме двояковогнутых линз – «манжетов».

Капиллярно-подпертая вода формируется при подъеме воды снизу от горизонта грунтовых вод. Слой почвы или грунта, содержащий капиллярно-подпертую воду непосредственно над водоносным слоем (горизонтом), называют капиллярной каймой. В почвах тяжелого гранулометрического состава она составляет 2-6 м, в песках – 40-60 см.

Капиллярно-подвешенная вода (подперто-подвешенная) формируется в слоистой толще. Это обуславливает на контакте слоев различного гранулометрического состава повышение влажности.

Гравитационная вода. Основным свойством свободной гравитационной воды является ее передвижение под действием силы тяжести, то есть она находится вне влияния в жидком состоянии, обладает высокой растворяющей способностью, переносит соли, коллоидные растворы, тонкие суспензии. Гравитационная вода делится на: просачивающуюся гравитационную и воду водоносных горизонтов.

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 воды, почвенно-грунтовые и почвенные (почвенная верховодка). При этом все поры заполнены водой, за исключением пор с заземленным воздухом. При наличии свободной гравитационной влаги развиваются анаэробные и глеевые процессы. Рекомендуется осушительная мелиорация[5,6].

5.8. Водоудерживающая способность и влагоемкость почвы

Водными (водно-физическими и гидрофизическими) свойствами называют совокупность свойств почвы, которые определяют поведение почвенной воды в ее толще. Наиболее важными водными свойствами являются:

1. Водоудерживающая способность почвы;
2. Влагоемкость;
3. Водоподъемная способность;
4. Потенциал почвенной влаги;
5. Водопроницаемость.

Водоудерживающая способность – способность почвы удерживать содержащуюся в ней влагу от стекания под влиянием силы тяжести. Водоудерживающая способность количественно характеризует влагоемкость.

Влагоемкость почвы – способность поглощать и удерживать определенное количество воды. Выделяют следующие виды влагоемкости, что соответствует определенным формам воды:

1. Максимальная адсорбционная;
2. Максимальная молекулярная;
3. Капиллярная;
4. Наименьшая или полевая;

5. Полная.

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

Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) (по А.Ф. Лебедеву) – характеризует верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной (пленочной) воды, то есть воды, удерживаемой силами молекулярного притяжения на поверхности почвенных частиц.

ММВ коррелирует с удельной поверхностью частиц и определяется гранулометрическим составом. В глинистых почвах ММВ равна 20-30%, песчаных 5-7% ММВ является показателем оценки водообеспеченности влагой растений. При ММВ запасы доступной влаги ничтожны.

Капиллярная влагоемкость (КВ) – наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, находящееся в капиллярной кайме. КВ зависит от глубины зеркала грунтовых вод. При большом залегании грунтовых вод (1,5-2,0 м) капиллярная кайма наибольшая, смачивает толщу почвы до поверхности в суглинистых почвах.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – наибольшее количество капиллярно-подвешенной влаги, которое почва может удерживать после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод.

Термину НВ соответствуют термины полевая влагоемкость (ПВ), общая влагоемкость (ОВ), предельно-полевая влагоемкость (ППВ). Последний ППВ широко используется в агрономической, полевая влагоемкость – в иностранной литературе. НВ зависит от гранулометрического состава и структуры почвы. В тяжелых почвах НВ составляет 30-35%, в песках не превышает 10-15%. Важная гидрологическая характеристика, по величине НВ рассчитываются поливные нормы. Оптимальная влажность – 70-100% от НВ.

Дефицит влаги – представляет собой величину, равную разности между НВ и фактической влажностью почвы.

Полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения всех ее пор, за исключением с заземленным воздухом. Заземленный воздух, как правило, не более 5-8% от общей порозности. ПВ колеблется в пределах 40-50%, в отдельных случаях может возрасти до 80%, или понижаться до 30%. ПВ – характерна для горизонтов грунтовых вод.

5.9. Почвенно-гидрологические константы

По степени однородности свойств и доступности почвенной влаги растениям выделяют почвенно-гидрологические константы. Граничные значения влажности, при которых количественные изменения в подвижности воды пе-

переходят в качественные отличия, называют почвенно-гидрологическими константами. Основные гидрологические константы:

1. Максимальная гигроскопичность;
2. Влажность завядания;
3. Влажность разрыва капилляров;
4. Наименьшая влагоемкость;
5. Полная влагоемкость.

Максимальная гигроскопичность (МГ) – характеризует предельно возможное количество парообразной воды, которое почва может поглощать из насыщенного паром воздуха. Это мертвый запас влаги. По МГ рассчитывают нижнюю границу физиологически доступной для растений воды.

Влажность устойчивого завядания или влажность завядания (ВЗ) – влажность, при которой растения проявляют признаки устойчивого завядания.

$$ВЗ = 1,5МГ$$

ВЗ иногда называют коэффициентом завядания. ВЗ в глинистых почвах - 20-30%; суглинках - 10-12%; песках - 1-3%; торфяниках и торфах - 60-80%.

Влажность разрыва капилляров (ВРК) – капиллярно-подвешенная вода при испарении передвигается в жидком состоянии к испаряющей поверхности. Но при определенной влажности передвижение прекращается или резко затормаживается, происходит разрыв капиллярной воды в порах. Эту критическую величину М.М. Абрамова назвала влажностью разрыва капилляров (ВРК). ВРК также называют критической влажностью, при влажности ниже ВРК рост растений замедляется, их продуктивность резко снижается.

ВРК – варьирует в зависимости от типа почв и гранулометрического состава, в среднем равна 50-60% от наименьшей влагоемкости. Почвенно-гидрологические константы, как и влагоемкость, выражаются в процентах от массы или объема почвы[3].

5.10. Определение максимальной гигроскопичности почвы (МГ) и влажности завядания растений (ВЗР)

Максимальная гигроскопичность – это наибольшее количество гигроскопической воды, которое может поглотить почва из воздуха, имеющего относительную влажность, близкую к 100 %, так как всасывающая сила корней меньше силы, удерживающей воду на поверхности частиц, используют для расчета ВЗР, запасов продуктивной и недоступной влаги в почве.

Ход работы: Отдельно взятую навеску (10 г.) в стаканчике ставят в эксикатор, на дно которого налит насыщенный раствор K_2SO_4 , на 3-4 дня. После насыщения взвешивание нужно проводить через каждые 2-3 дня до постоянного веса. Далее сушат почву в термостате при температуре 105°.

Максимальную гигроскопичность вычисляют по той же формуле, что и содержание гигроскопической влажности и выражают в %. Результаты анализа записывают в таблицу 19 и вычисляют Максимальную гигроскопичность (МГ) по формуле:

$$МГ, \% = m1 \cdot 100 / m,$$

где $m1$ – масса испарившейся влаги (г),

m – масса сухой почвы, г.

Таблица 19 - Результаты анализа

№ бюкса	Масса пустого бюкса, г	Масса бюкса с почвой, г		Масса испарившейся воды, г	Масса сухой почвы, г	МГ, %
		после насыщения	после сушки			

Влажность завядания растений вычисляют по формуле:

$$ВЗР, \% = 1,5МГ$$

где, МГ – максимальная гигроскопичность, %.

5.11. Определение капиллярной влагоемкости почвы

Полевые методы изучения водных свойств трудоемки, поэтому с определенными ограничениями можно применять лабораторные методы, хотя по объективности результатов они уступают полевым.

Крышки с цилиндра для определения плотности почвы снимают, с нижней стороны одевают крышку с сетчатым дном, цилиндр набивают почвой. Помещают его в емкость с водой, после насыщения почвы влагой, цилиндр взвешивают и вычисляют капиллярную влагоемкость (КВ) по формуле:

$$КВ = (m1 - m - mвз) \times 100 / m,$$

где КВ – капиллярная влагоемкость, %

$m1$ – масса почвы в цилиндре после насыщения водой, г

m – масса сухой почвы в цилиндре, г

$mвз$ – масса воды, соответствующая влажности завядания, г

Масса сухой почвы m (в г) вычисляют по формуле:

$$m = Мп \times 100 / 100 + W,$$

где $Мп$ – масса почвы в цилиндре при полевой влажности, г.

W – полевая влажность, %.

Массу воды, соответствующую влажности завядания (ВЗР), определяют по формуле:

$$mвз = m \times ВЗР / 100,$$

где $mвз$ - масса воды, соответствующая влажности завядания, г

m – масса сухой почвы в цилиндре, г

ВЗР – влажность завядания растений, %

5.12. Определение полной влагоемкости почвы

После определения капиллярной влагоемкости цилиндр ставят в сосуд на стеклянные палочки, наливают воду до верхнего уровня цилиндра с почвой, через час добавляют воду до уровня, на 1-2 см превышающий прежний уровень, через 10 минут цилиндр сверху накрывают крышкой и переворачивают, не вынимая из воды., снимают сетчатое дно, одевают вторую крышку, взвешивают и проводят расчет:

$$ПВ = (m_1 - m) \times 100 / m,$$

где ПВ – полная влагоемкость, %;

m_1 – масса почвы в цилиндре после насыщения, г;

m – масса сухой почвы, г.

5.13. Определение наименьшей влагоемкости почвы

После определения полной влагоемкости нижнюю крышку с цилиндра снимают, вместо нее надевают крышку с сетчатым дном, переворачивают и ставят в сосуд без воды на палочки и снимают верхнюю крышку. После стекания гравитационной воды (примерно 1- 3 часа для легких почв, 6- 15 часов для тяжелых) одевают крышки, взвешивают, и проводят расчет:

$$ПВ = (m_1 - m) \times 100 / m,$$

где ПВ – полная влагоемкость, %;

m_1 – масса почвы в цилиндре после насыщения, г;

m – масса сухой почвы, г;

5.14. Определение полевой влажности почв

В зависимости от задач исследования почву берут буром или лопатой с разной глубины в 3-х кратной повторности в алюминиевые стаканчики массой 10-20 г, высушивают в термостате при 100- 105 °С до постоянного веса. Полевую влажность определяют по формуле.

$$W = m_1 \times 100 / m,$$

где W – полевая влажность, %;

m_1 – масса испарившейся влаги, г;

m – масса сухой почвы, г;

Коэффициент пересчета результатов анализа влажной почвы (K_w) на сухую проводят по формуле:

$$K_w = (100 + W) / 100$$

Контрольные вопросы.

1. Какие свойства почв влияют на водопроницаемость?
2. Как определяют водопроницаемость почв?

3. При каком гранулометрическом составе водоподъемная способность выше?
4. Чем характеризуется приходная статья водного баланса?
5. Какие формы воды в почве существуют?

6. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

Органическое вещество почвы – это совокупность живой массы и органических остатков растений, животных, микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных веществ почвы – гумуса.

Источниками почвенного органического вещества являются компоненты биоценоза. Среди них наибольший вес имеют зеленые растения – автотрофы. Наземная и подземная масса (корневая система) и продукты метаболизма растений имеют наибольший удельный вес в формировании органического вещества почвы. Масса почвенной фауны и флоры составляют около 5% в составе органического вещества. Благодаря присутствию азотосодержащих веществ их роль заметно повышается. Средний состав органического вещества почвы представлен 85% гумусом, 10 % растительными остатками и 5% почвенной фауной и флорой.

Так например, запасы фитомассы в ландшафтах тундровой зоны изменяются от 150 до 2500 г/м². При этом корневая масса превышает надземную в 3-4 раза.

$$150 \text{ г/м}^2 = 150 \times 10000 \text{ г/м}^2 = 1,5 \text{ т/га}; 2500 \text{ г/м}^2 = 25 \text{ т/га}.$$

Биомасса микроорганизмов 10-15 г/м² = 0,1-0,15 т/га. Почвенные беспозвоночные животные - 1-3 г/м², наземные позвоночные животные – 0,01 г/м².

В таежно-лесной зоне (подзолистые и дерново-подзолистые почвы) запасы фитомассы высокобонитетных лесов составляют 25-40 тыс. г/м² или 250 т/га, при этом корневая масса ниже 3-5 раз. Масса микроорганизмов до 0,3 т/га, среди них доминируют грибы, масса беспозвоночных животных – 2-3 г/м² (подзолистые), 7-12 г/м² (дерново-подзолистые), до 90 г/м² (серые лесные почвы).

Травянистая растительность степной зоны имеет фитомассу до 1200-2500 г/м² (12-25 т/га), корневая масса в 3-6 раз больше - 36-75 т/га (72-150 т/га). Количество беспозвоночных – 12-16 г/м².

В пустынной зоне фитомасса уменьшается до 0,1-0,5 т/га. При этом корневая масса возрастает до 8-10 раз.

В агроэкосистемах в почву поступает от 2-3 т/га (пропашные культуры) до 7-9 т/га в год (многолетние травы) органические остатки.

Фитомасса и зоомасса, особенно их мертвые остатки, представляют материальную основу для образования гумусовых веществ в почве. Кроме того любая материя является носителем энергии. Именно органические остатки представляют пищу, то есть обеспечивают энергией почвенную микрофауну. При этом происходит распад органических остатков. По современным пред-

ставлениям распад органического вещества – это процесс частичного или полного превращения сложноорганизованных структур молекул в более простые, в том числе в продукты полной минерализации – CO_2 , NH_3 , H_2O и др.

Исследования органических остатков в почвах с целью познания путей формирования гумуса развивались по трем направлениям:

1. Главное внимание уделялось изменению химизма растительных остатков, как главного источника гумуса (И.В. Тюрин, С. Ваксман, М.М. Кононова, Л.Н. Александрова, А.Д. Фокин).
2. Исследование морфологии и скорости трансформации опада и подстилок (главным образом лесных) - Р.Е. Мюллер, Е. Раманн, Н.П. Ремезов, В.С. Шумаков.
3. Исследование организмов, участвующих в разложении растительных остатков и продуктов их переработки - П.А. Костычев, Н.М. Чернова, Б.Р. Стриганова.

6.1. Группы организмов в процессах трансформации органического вещества в почве

В почвах обитают и участвуют в распаде органических веществ, следующие группы организмов:

1. Бактерии – активно участвуют в трансформации органических веществ, остатков. Они способны разлагать почти все органические соединения. За счет своих экзоферментов как источник энергии и пищи используют – белок, простые сахара, крахмал, органические кислоты, спирты, альдегиды, разлагают клетчатку, имеют преимущество в разложении углеводов. Каждая группа бактерий имеют свой узкий спектр ферментов, что ведет к ускорению процессов разрушения.

2. Актиномицеты также активно участвуют в разложении органического вещества. Они используют углеводы – маннаны, ксиланы, пектиновые вещества, целлюлозу, кератин, хитин, разрывают цепи жирных кислот, углеводов, утилизируют азот гетероциклов. Актиномицеты – многочисленная группа микроорганизмов, но активно действуют в узком интервале влажности – 91-99%, минимальная температура – 5-10° С. роль их хорошо проявляется в черноземах.

3. Грибы – имеют большой спектр ферментов, но процесс разложения имеет меньшую скорость, чем у бактерий. Ароматические соединения, лингганы, танины расщепляются под их воздействием. Одновременно продукты их жизнедеятельности служат пищей для других микроорганизмов. Это означает, что для полного разрушения органических остатков нужен полный состав микробиоценоза. Грибы также минерализуют почвенный гумус. Медленнее разрушается целлюлоза, особенно лингин.

4. Почвообитающие водоросли – автотрофы обитают в верхнем горизонте почв. Биомасса составляет 0,05-0,2% от запаса органических веществ.

Прижизненные выделения водорослей служат пищей для грибов, бактерий, а сами поедаются почвенными простейшими – инфузорией, амебами, нематодами, клещами. Водоросли также выделяют биологически активные вещества.

5. Почвенные беспозвоночные животные - выполняют механическое раздробление растительных остатков, что в последующем используется грибами и бактериями. Благодаря симбиозу с микроорганизмами беспозвоночные животные разлагают почти все химические компоненты, действуя широким набором ферментов микроорганизмов. Кроме того, экскременты беспозвоночных служат точкой повышенной биологической активности.

6. Почвенные животные составляют не более 2% общей зоомассы, но продукты их метаболизма могут играть заметную роль в превращении органического вещества почвы[2].

6.2. Почвенные ферменты

Процессы трансформации органического вещества происходят при активном участии ферментов. Ферменты – самый крупный и высокоспецифичный класс белковых молекул с молекулярной массой от 10 000 до нескольких миллионов. Ферменты осуществляют катализ за счет разнообразных функциональных групп.

Почвенные ферменты вырабатываются почвенными микроорганизмами - бактериями, актиномицетами, беспозвоночными и растениями (корнями). Течение биохимических реакций под воздействием фермента ускоряются до миллионов раз. В настоящее время ферментативную активность почв изучает особый раздел почвоведения и большой вклад внес профессор Ф.Х. Хазиев.

Большую долю почвенного органического вещества составляет гумус, полностью утративший черты анатомического строения организмов. Органическое вещество почвы делится на две большие группы:

1. Неспецифические органические соединения;
2. Специфические гумусовые соединения.

Неспецифические органические соединения составляют 10-15% от общего количества почвенного органического вещества. Среди них выделяются азотосодержащие вещества. Они представлены белками и аминокислотами. Белки – полимеры, состоящие из аминокислотных остатков, соединенных амидной связью. В составе имеется азот до 15-19%; P_2O_5 – 0,5-0,8%; Сера – 0,3-2,4%. При их разложении образуются аминокислоты, содержащие по крайней мере одну аминогруппу. Наиболее типичны – глицин, аланин, серин, цистин, треонин, валин, метионин.

Углеводы – один из самых важнейших источников энергии для микроорганизмов, беспозвоночных. Углеводы представлены моносахаридами (глюкоза, фруктоза, манноза, галактоза, арабиноза, рибоза, ксилоза и др.) олигосахаридами, состоящими из 2-4-10 моносахаридных звеньев, полисахаридами, состоящими из 11 и более моносахаридных звеньев. К полисахаридам относятся

пентозаны (полимер пентоз), гексозаны (полимеры гексоз). К гексозанам относятся крахмал, изолихенин, целлюлоза, полифруктозаны, полигалактаны, полиманнаны. Гетерополисахариды – сополимеры различных полисахаридов.

Липиды – (жиры) делятся на омыляемые и неомыляемые. К омыляемым относятся нейтральные жиры (эферы глицерина и жирных кислот), фосфолипиды.

К неомыляемым жирам относят жирные кислоты, стероиды, изопреноиды, каратиноиды. К этой группе также относят воск, кутин, суберин, спорполенин.

Ароматические соединения и их производные включают моноциклические арены и их полимеры, которые имеют одно бензольное кольцо и карбоксильную группу. К полимерам аренов также относят танины (дубильные вещества), лингины (полимер из нескольких фенилпропановых единиц).

6.3. Специфические гумусовые вещества

История изучения почвенного гумуса, возможно, начинается с работы М.В. Ломоносова «О происхождении перегноя» (1761), где он писал, что почвы произошли «от согнития животных и растущих тел со временем». Далее П.А. Костычев экспериментально доказал, что почвенное органическое вещество является продуктом жизнедеятельности микроорганизмов, растительности и животных.

В исследованиях С.П. Кравкова и А.Г. Трусова показана роль микроорганизмов. Легкоусвояемые органические кислоты, поглощаясь микроорганизмами, превращаются в плазму. Трудноусвояемые вещества – лингин, дубильные вещества, ароматические соединения окисляются, конденсируются и превращаются в темноокрашенные гумусовые вещества.

Работами В.Р. Вильямса образование гумуса рассматривается как процесс синтеза и разложения органического вещества микроорганизмами. Так, под деятельностью грибов, актиномицетов и анаэробных бактерий синтезируются апокреновые кислоты (фульвокислоты), они растворимы в воде и активно участвуют в подзолообразовании. Луговая травянистая растительность, аэробные и анаэробные микроорганизмы формируют ульминовые кислоты (бурые гуминовые); степная травянистая растительность в комплексе с аэробными микроорганизмами образуют гуминовые кислоты.

Исследователи химии угля и торфа – Фишер, Шрадер, Фукс – полагали, что лингин растительных остатков оставляет основу почвенного гумуса. С. Ваксман в дальнейшем создал теорию образования гумуса, как лингино-протеинового комплекса.

В теорию гумусообразования внес большой вклад И.В. Тюрин и его ученики. Он долгое время работал в Казани, возглавляя Казанскую кафедру почвоведения и агрохимии в КГУ. И.В. Тюрин гумусообразование рассматривал как сочетание противоречивых процессов разрушения и синтеза. Под влия-

янием почвенных организмов, микроорганизмов органические остатки разлагаются, формируется микробная плазма, соединения циклического ряда, полимеризация которых с участием катализаторов дают устойчивые специфические гумусовые соединения. Аналогичных представлений придерживалась и М.М. Кононова, крупный специалист по гумусу.

Французские исследователи считают, в том числе и Ф. Дюшафур, что гумификация представляет совокупность процессов, ведущих к образованию органоминерального коллоидного комплекса. По мнению Ф. Дюшафура процесс имеет две стадии:

1. Биологическая, где микроорганизмы и их ферменты образуют молодой гумус с незрелыми связями с минеральной частью почвы.

2. Фаза созревания – климатическая. Контрасты климата завершают созревание гумуса.

Большой вклад внесла Л.Н. Александрова. Ее схема гумусообразования включает процессы распада органических остатков, микробный синтез, гумификацию и взаимодействие с минеральной массой. Она дала характеристику основных типов гумификации органических остатков в почве: фульватный, гуматно-фульватный, фульватно-гуматный и гуматный.

Д.С. Орлов ввел понятие глубины гумификации (Н):

$$H = f(Q, I, t),$$

где Q – масса органических остатков ежегодно поступающих в почву, I – интенсивность их трансформации, t – биологическое активное время.

Гумусовые вещества представляют гетерогенную полидисперсную систему высокомолекулярных азотосодержащих ароматических соединений кислотной природы. Они представлены гумусовыми кислотами – гуминовыми, фульвокислотами и негидролизуемым остатком или гумином.

Такое деление основано на способе их выделения из почвы. Исследованиями И.В. Тюрина, М.М. Кононовой, С.С. Драгунова, Л.Н. Александровой, Д.С. Орлова и других выявлены основные их свойства, состав.

Гумусовые кислоты – органические соединения с переменным составом. Они подразделяются на фульвокислоты и гуминовые кислоты. Обе кислоты имеют общий принцип строения. Они высокомолекулярны, что соответственно обуславливает практическую независимость физических и химических свойств от небольших изменений в их составе.

Гуминовые кислоты – хорошо растворяются в щелочных растворах. Осаждаются растворами минеральных кислот, двух-, трехвалентными катионами (Ca, Mg, Fe, Al). В сухом виде имеют темнокоричневый или черный цвет, средняя плотность 1,6 г/см³. Элементный состав гуминовых кислот: C – 50-62; H – 2,8-6,6; O – 31-40; N – 2-6%.

Содержание углерода в составе гуминовых кислот максимально в черноземах и уменьшается в сторону более гумидных и аридных почв. Насыщенность углеродом определяет свойства гуминовых кислот. С количеством угле-

рода 40-42% гуминовые кислоты называются черными (серыми), с количеством – 37-38% - бурыми. Ядро молекулы ГК – бензолполикарбоновые кислоты, ароматические и гетероциклические кольца типа бензола, фурана, пиридина, индола. Связь между ними углеродная или через кислородные, азотные, водородные и углеводородные мостики. По мере насыщенности ароматическими компонентами нарастает зрелость ГК, уменьшается подвижность. На периферии ароматического ядра имеются углеводные, аминокислотные и углеводородные компоненты. Они обуславливают способность адсорбции, набухаемости. Ядро обладает гидрофобными свойствами, а периферические структуры - гидрофильными.

Важной частью молекулы ГК является наличие функциональных групп – карбоксильные, амидные, карбонильные и др., что создает кислотные свойства, емкость поглощения, способность устанавливать связи с минеральными соединениями. Емкость поглощения равна 300-700 ммоль/100г в кислой среде, и до 1000 ммоль/100г – в щелочной среде.

Ароматические и гетероциклические компоненты ГК составляет 50-60%, углеводные компоненты – 25-30%, функциональные группы – 10-25%.

Фульвокислоты (ФК) – группа гумусовых кислот, остающаяся в растворе после осаждения ГК. Они также представляют высокомолекулярные азотосодержащие органические кислоты, имеют светлую окраску, низкое содержание углерода, растворимы в кислотах, более гидрофильны, способному кислотному гидролизу. Плотность 1,43-1,61 г/см³. Элементный состав: С – 41-46%; Н – 4-5%; азот – 3-4 %. Кислорода больше, чем в ГК. Количество углерода минимально в черноземах, возрастает в сторону подзолистых и красноземов. Состав фульвокислот меняется по профилю. Так, в дерново-подзолистых почвах глубокие горизонты имеют менее углеродосодержащие и наименее окисленные формы. В черноземах и сероземах профиль однороден.

ФК имеют однотипное строение с ГК. В отличие ФК доминируют алифатические структуры, а на периферии - аминокислотные и углеводные компоненты, что обуславливает большую гидрофильность, чем ГК[7].

Функциональные группы обеспечивают емкость поглощения, равную 800-1250 ммоль/100г.

Негидролизующий остаток или гумин. Согласно современным исследованиям, гумин представляет совокупность гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с минеральной частью или трудноразлагаемыми растительными остатками – целлюлозой, лингином и углистыми частицами.

6.4. Гумусовое состояние почв

В зависимости от соотношения $S_{гк} : S_{фк}$ гуминовых кислот к фульвокислотам различают следующие типы гумуса.

Больше 1,5 – гуматный;

1,5-1,0 – фульватно-гуматный;

0,5-1,0 – гуматно-фульватный;
меньше – фульватный.

Гумусовый профиль имеет аккумулятивную форму распределения. В зависимости от типа почвообразования и фациальных особенностей аккумулятивная форма приобретает особенности. Так, в черноземах имеет равномерно-аккумулятивный характер. Мощность гумусовых горизонтов в среднем составляет около 1 м. Наибольшая мощность гумусового горизонта имеют черноземы Предкавказья (до 2 м), наименьшую – западно-сибирские до 70-80 см. Максимальное содержание гумуса наблюдается в ЦЧО, западнее и восточнее оно постепенно уменьшается. Запасы гумуса в метровой толще достигает до 700 т/га.

Для оценки содержания гумуса разработана следующая шкала:

Безгумусные - меньше 1%;

Очень низкогумусные – 1-2;

Низкогумусные – 2-4;

Среднегумусные – 4-6;

Высокогумусные – 6-10;

Тучные (высокогумусные) 10-15;

Перегнойные 1-30%;

Торфяные – более 30 %.

Л.А. Гришиной и Д.С. Орловым разработана система показателей по оценке гумусового состояния почв. Критериями служат: содержание гумуса, %; запасы гумуса, т/га; характер профильного распределения; обогащенность азотом через C:N; степень гумификации; типы гумусовых кислот.

Почвенный гумус – основное свойство почвы. Именно от количества гумуса зависят другие почвенные свойства. Гумус – очень сложное структурное состояние органического вещества. Гумус – интегральный показатель почвенного плодородия.

6.5. Экологическая роль гумуса

Почва имеет общепланетарное значение, аккумулируя органическое вещество и связанную с ней энергию Солнца. В целом почва создает условия устойчивого развития биосферы. Поэтому В.И. Вернадский предложил гумусовый слой почв планеты назвать особой энергетической оболочкой – гумусосферой. Растительные остатки, поступая в почву, несут 17-21 кДж энергии на 1 г сухого вещества. 1 г ГК содержит 18-22 кДж, 1 г ФК – 19 кДж, 1 г липидов – 35,5 кДж энергии. Почвы, содержащие 200-400 т/га гумуса, по энергонасыщенности равны 20-30 т антрацита.

В некоторых странах, например, в Болгарии основные энергетические ресурсы сосредоточены в гумусосфере.

Процесс почвообразования в почве происходит постоянно. Под агроценозами она используется более интенсивно для создания урожая, поэтому здесь

и заметно снижение содержания гумуса. По литературным данным видно, что пахотные почвы потеряли от 25 до 50% запасов гумуса за последние 100 лет.

Экологическое и сельскохозяйственное значение гумуса выражается в следующем:

1. Формирование оптимальных показателей физических свойств (структура, агрегирование, плотность, и т.д.).
2. Формирование оптимальных водно-физических свойств (водопроницаемость, влагоемкость и т.д.).
3. Ускорение процессов малого биологического круговорота (увеличивается мобилизационная способность, увеличивает продуктивность с/х культур).
4. Улучшение щелочно-кислотных и буферных свойств.
5. Гумус и продукты его разложения являются источником элементов минерального питания высших растений (азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера и т.д.).
6. Гумус источник питания гетеротрофных организмов - бактерий, беспозвоночных.
7. Гумус – источник CO_2 в поверхностном слое.
8. Гумус – источник биологически активных веществ, влияющих на рост и развитие растений и сельскохозяйственных культур.
9. Ускорение микробиологической деградации пестицидов в качестве катализатора.
10. Закрепление загрязнителей и уменьшение их поступления в растения.
11. Усиление миграционных способностей загрязнителей.
12. Оптимальное содержание гумуса в пахотных почвах замедляюще действует на эрозионные процессы.
13. Оптимизация гумусового состояния повышает эффективность минеральных удобрений.

6.6. Определение содержания гумуса в почве по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова

Метод И.В. Тюрина основан на окислении гумуса 0,4 Н раствором двуххромовокислого калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), приготовленного на серной кислоте. Выделяющийся кислород окисляет углерод гумуса. По ходу анализа производится учет количества O_2 , которое пошло на окисление перегноя по количеству хромовой смеси.

Ход работы:

1. Из образца почвы, приготовленного специально для определения гумуса, на аналитических весах отвешивают определенную навеску почвы (0,1 – 0,5 г) в зависимости от гумусированности почвы, при этом, чем больше гумуса содержится в почве, тем меньше берется навеска.

2. Навеску помещают в коническую колбу на 100 мл, приливают 10 мл хромовой смеси из бюретки, содержимое колбы осторожно взбалтывают.

3. В колбу вставляют маленькую воронку и помещают колбу на электрическую плитку, покрытую асбестом. Смесь доводят до кипения и кипятят умеренно 5 мин, после этого колбу снимают с плитки и охлаждают.

4. Воронку омывают дистиллированной водой и вынимают, в колбу добавляют 2-3 капли 0,2 % раствора фенилантраниловой кислоты и содержимое титруют 0,2 Н раствором соли Мора до перехода вишнево-фиолетовой окраски в зеленую.

5. Одновременно проводят холостой анализ, при котором в колбу вместо почвы на кончике ножа добавляют прокаленную почву или пемзу. Все основные условия выдерживают как при основных анализах.

6. Результаты анализа сводят в таблицу 19.

Таблица 19 – Результаты анализа

Буквенный индекс	Горизонт и глубина, см	Навеска почвы, г	Количество соли Мора ушедшее в мл		Гумус, %
			на холостое титрование (а)	на рабочее титрование (в)	

Формула расчета:

$$\text{Гумус, \%} = (a - b) \times \Gamma_{\text{ч}} \times 100 \times \text{КГ} / C,$$

где а- количество соли Мора при холостом титровании;

в- количество соли Мора при рабочем титровании;

Гч - гумусовое число, равное 0,0010362 г;

100 – коэффициент перевода на 100 г почвы:

КГ - коэффициент гигроскопичности:

С – навеска воздушно сухой почвы, взятая для анализа, г

6.7. Определение углерода гумуса по методу Б.А. Никитина

Метод основан на окислении органического углерода хромовой смесью в сильноокислой среде при нагревании до 150°C в сушильном шкафу. Углерод определяют по оптической плотности, измеренной при 590 нм. Калибровочный график строится по стандартному раствору глюкозы.

Ход анализа:

1. На аналитических весах берут навеску почвы 0,1-0,5 г (в зависимости от содержания гумуса) в конические колбы на 100 мл, приливают из бюретки 20 мл хромовой смеси, осторожно перемешивают круговым вращением и закрывают воронкой.

2. Колбы ставят на 20 мин в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 150°C, на расстоянии не менее 3-4 см от стенок для обеспечения равномерного нагрева. Затем колбы вынимают из шкафа, охлаждают.

3. Раствор над осадком сливают в пробирки и оставляют на сутки. Затем растворы колориметрируют в кюветах на 5 мл при длине волны 590 нм. Для сравнения, в качестве оптического нуля, используется раствор "холостой пробы" - в шкаф одновременно с опытными колбами ставят две колбы с 20 мл хромовой смеси.

4. Содержание углерода находят по калибровочному графику. Построение калибровочного графика: 2,5022 г глюкозы или 2,3771 г сахарозы растворяют в 1 л дистиллированной воды. В 1 мл такого раствора содержится 1 мг углерода. В 5 колб на 100 мл приливают последовательно 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 мл раствора глюкозы или сахарозы. Выпаривают досуха на водяной бане, приливают 20 мл хромовой смеси. Одновременно готовят "холостую пробу". Все колбы помещают в сушильный шкаф на 20 мин при температуре 150°. После окисления охлаждают и разбавляют водой до 50 мл и через сутки колориметрируют в кюветах на 5 мл при длине волны 590 нм. По оси абсцисс откладывают показатели оптической плотности, по оси ординат — содержание углерода. Содержание углерода рассчитывают по формуле:

$$C = a/m \times 100,$$

где C - содержание углерода,

% - к массе сухой почвы;

a - содержание углерода, найденное по графику, мг;

m - навеска сухой почвы, г.

6.8. Определение легкоразлагаемого органического вещества по методу Н.Ф. Ганжары

Легкоразлагаемое органическое вещество (ЛОВ) состоит из органических веществ различной степени гумификации, непрочно связанных с минеральной частью почвы. Метод основан на отделении этой фракции с помощью тяжелых жидкостей (бromo-форм, тетрабромэтан, йодометилен, смесь йодистого калия и йодистого кадмия и др.) с плотностью 1,8-2,0 г/см³. Сущность метода заключается в том, что при смешивании образца с тяжелой жидкостью частицы, плотность которых меньше или равна плотности жидкости, всплывают на поверхность, а более плотные остаются в осадке.

Содержание углерода ЛОВ определяют по разности между содержанием углерода в исходной почве и его содержанием в той же почве после отделения ЛОВ.

Ход анализа.

1. Почву, пропущенную через сито с отверстиями 1 мм (30-40 г), растирают, просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм и берут навеску 10 г на технических весах.

2. Навеску почвы помещают в делительную воронку на 50 мл и приливают 25 мл тяжелой жидкости. Содержимое воронки тщательно перемешивают и дают отстояться до осветления жидкости.

3. Осадок с делительной воронки сливают в стакан на 100 мл, приливают 25 мл тяжелой жидкости для повторного отделения оставшейся в осадке части ЛОВ. Делительную воронку освобождают от тяжелой жидкости с ЛОВ и переносят в нее содержимое стакана после тщательного перемешивания.

Операции пункта 3 повторяют 3-5 раз до полного выделения ЛОВ. Осадок почвы после последнего отделения сливают из делительной воронки на воронку с рыхлым фильтром. Почву на фильтре промывают дистиллированной водой (100 мл). При научных исследованиях лучше для промывания использовать этиловый спирт.

Фильтр с почвой помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при 105°C. Одновременно высушивают 3-5 г исходной почвы (п. 1), пропущенной через сито с отверстиями 0,25 мм.

В исходной почве и в почве, освобожденной от ЛОВ, определяют содержание органического углерода по И.В. Тюрину. По разности вычисляют содержание углерода ЛОВ. Учитывая, что в ЛОВ содержится примерно 50% углерода, при расчетах его содержания используют коэффициент 2.

В случае необходимости получения препаратов ЛОВ из делительной воронки (п.3) ее переносят на воронку с фильтром, отмывают от тяжелой жидкости этиловым спиртом, высушивают в сушильном шкафу при 60°C и исследуют.

Реактивы. Смесь йодистого калия и йодистого кадмия плотностью 1,8 г/см³, этиловый спирт, реактивы для определения гумуса по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова.

6.9. Агроэкологическая оценка гумусового состояния почв агроландшафтов в интенсивном земледелии.

Агроландшафты характеризуются преобладанием деструкции гумуса над его синтезом, что особенно сильно проявляется на пашне при отсутствии растительности (чистый пар), а также под пропашными культурами. В лесостепной зоне обработка почвы, применение агрохимикатов и минеральных удобрений, высокая степень распаханности, развитие эрозионных процессов также оказывают влияние на процессы гумусообразования [8]. Ниже приводится информация о динамике гумусового состояния черноземов и серых лесных почв агроландшафтов лесостепи Поволжья за последние 30 лет (табл.20, 21).

Таблица 20 – Динамика гумуса в черноземах агроландшафтов лесостепи Поволжья за 30 лет (Муртазина и др., 2006)

Почвы	Гумус, %		Изменение	
	1970	2001	в %	в т/га
Чернозем оподзоленный	7,9	6,8	- 1,0	27,5
Чернозем выщелоченный	8,0	7,0	- 1,0	- 27,5
Чернозем выщелоченный слабосмытый	7,0	5,6	- 1,4	- 35,0
Чернозем типичный	8,5	7,5	- 1,0	- 27,5
Чернозем типичный слабосмытый	8,4	7,0	- 1,4	- 35,0
Чернозем типичный карбонатный	9,1	7,8	- 1,3	32,5
За год на 1 га				- 0,833

Таблица 21 – Изменение гумуса в серой лесной почве лесостепи Поволжья в длительном опыте с удобрениями (Муртазина и др., 2006)

Варианты опыта	Гумус, %		
	1974 г.	1986 г.	изменение за 12 лет, %
Без удобрений	3,00	2,91	- 0,09
NPK	3,10	2,70	- 0,40
NPK + B	3,07	3,00	- 0,07
NPK + Mo	2,86	2,97	+ 0,12
NPK + Zn	2,80	2,50	- 0,30
NPK + Co	3,02	2,60	- 0,42
NPK + Mn	3,14	2,97	- 0,17
NPK + Cu	3,02	2,94	- 0,08
NPK + сера	3,16	3,29	+ 0,14
CaCO ₃	3,10	2,86	- 0,24
NPK + CaCO ₃	3,00	2,69	- 0,31
HCP0,5			0,01

Контрольные задания.

1. Анализировать данные таблицы 20, указать тенденции изменения гумусового состояния черноземов, назвать вероятные причины его.
2. Анализировать данные таблицы 21 и выявить роль макро- и микро- удобрений, а также известкования и применения серы в динамике гумуса пахотной серой лесной почвы.
3. Разработать приемы оптимизации гумусового состояния почв лесостепной зоны.

7. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ (ПОГЛОТИТЕЛЬНЫХ) ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

7.1. Поглощательная способность почв

Поглотительной способностью почв называется ее свойство обменно либо необменно поглощать различные твердые, жидкие и газообразные вещества или увеличивать их концентрацию у поверхности содержащихся в почве коллоидных частиц.

Учение о поглотительной способности почвы разработано трудами К.К. Гедройца, Г. Вигнера, С. Маттсона, Е.Н. Гапона, Б.П. Никольского, Н.П. Ремезова, И.Н. Антипова-Каратаева, Н.И. Горбунова, казанца М.А. Винокурова. Наиболее полная характеристика поглотительной способности имеется в трудах К.К. Гедройца.

Основателем научной трактовки поглотительной способности почв следует считать англичанина Уэя. Уэй установил, что при пропускании через почву солей калия, аммония эти основания поглощаются, а кислотные остатки остаются в растворе. По силе поглощения катионы составляют ряд: $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{NH}_4$.

Всего выделяется 5 видов поглотительной способности.

1. Механическая поглотительная способность – это свойство почв поглощать поступающие с водными или воздушными потоками твердые частицы, размеры которых превышают размеры почвенных пор. Этим свойством пользуются для очистки питьевой воды, сточных вод, для заиливания каналов, водохранилищ (кольматирование).

2. Химическая поглотительная способность связано с химическими реакциями и выпадением в осадок их продуктов.

Например: $\text{ППК-“} \text{Ca}^{2+} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ППК-“}_2\text{Na} + \text{CaSO}_4$

3. Биологическое поглощение определяется способностью живого вещества поглощать различные биофильные элементы. 1 т пшеницы содержит 12 кг P_2O_5 , 18 кг K_2O и 35-40 кг – азота.

4. Физическая поглотительная способность – способность почвы повышать концентрацию молекул различных веществ у поверхности тонкодисперсных частиц. Все тонкодисперсные частицы обладают поверхностной энергией на границе соприкосновения дисперсной твердой фазы (частицы) и дисперсионной средой. Оптимальное состояние любого вещества - минимум поверхностной энергии. Это достигается за счет адсорбции на поверхности растворенных веществ. Некоторые вещества понижают поверхностное натяжение, они концентрируются у поверхности частиц. Другие повышают поверхностное натяжение - их концентрация возрастает по мере удаления от поверхности частиц. В данном случае мы можем отметить повышение концентрации воды.

5. Физико-химическая или обменная поглотительная способность – способность почвы поглощать, обменивать ионы на поверхности частиц на

ионы раствора. Это способность характерна для почвенных коллоидов, называется почвенным поглощающим комплексом.

7.2. ППК и почвенные коллоиды

Обменно-поглолительная способность обусловлена наличием в почве поглощающего комплекса. Почвенно-поглощающий комплекс (ППК) – это совокупность минеральных, органических и органо-минеральных соединений высокой степени дисперсности, нерастворимых в воде и способных поглощать и обменивать ионы – катионы.

Почва – гетерогенная система, она полидисперсна. Поглолительной способностью обладают как коллоидные частицы (0,2-0,001 мкм), так и предколлоидная фракция (0,2-1 мкм). Диаметр частиц 1 мкм представляет собой грань, отделяющую механические элементы с резко выраженной поглолительной способностью.

Почвенные коллоиды образуются в процессе выветривания и почвообразования. Они могут быть минеральными, органо-минеральными и органическими. Поведение, взаимодействие их между собой, твердой, жидкой и газообразной фазами подчиняется закону физической и коллоидной химии.

Основные свойства коллоидов обусловлены удельной их поверхностью. Представление об удельной поверхности коллоидов дает следующий расчет. Куб твердого вещества длиной грани 1 см имеет 6 см² поверхности. При длине ребра 0,01 см число кубиков 1000 000, общая поверхность составляет 600 см².

При длине ребра 0,000 000 1 см число кубиков 10²¹, общая поверхность 60000 000 см² или 0,6 га (табл.21).

Таблица 21 – Площадь поверхности грани кубиков (по Гедройцу)

Длина ребра, см	Число кубиков	Общая поверхность граней, см ²
1	1	6
0,1	10 ³	60
0,01	10 ⁶	600
0,001	10 ⁹	6000
0,000 0001	10 ²¹	60 000 000

Удельная поверхность является критерием оценки химической активности почв, связь между ними положительна.

Удельная поверхность коллоидов гумусового горизонта зональных почв суглинистого гранулометрического состава м²/г:

Дерново-подзолистые -	29
Серые лесные -	33
Черноземы -	48.

7.3. Строение и заряд почвенных коллоидов

В почвах всегда присутствуют коллоиды, они минеральные, органические и органо-минеральные, их соотношение зависит от типа почвообразования и почвообразующих пород.

По предложению Г. Вигнера основу коллоидной частицы составляет мицелла.

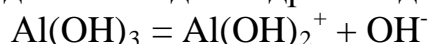
Коллоидная мицелла электронейтральна. Основная масса (вес) принадлежит грануле, ее заряд рассматривается как заряд всего коллоида. Величина коллоида определяется химическим составом и структурой коллоидов.

Коллоиды, имеющие в потенциалопределяющем слое положительно заряженные ионы, называются ацидоидами (кислотоподобными). Ядром таких коллоидов являются гуминовая кислота или кремнекислота. Эти коллоиды поглощают или обменивают катионы, то есть положительно заряженные ионы.

Коллоиды, имеющие в потенциалопределяющем слое положительный заряд, называются базоидами. Они в растворе посылают ионы OH^- .

Большая часть почвенных коллоидов в зависимости от pH среды ведут себя как кислоты (ацидоиды) и как основания (базоиды), то есть могут быть положительно и отрицательно заряженными. Такие коллоиды называются амфотерными коллоидами или амфолитоидами.

Например, в кислой среде коллоиды гидроксида алюминия расщепляет:



В щелочной среде:



Здесь важна реакция среды. При определенной pH количество ионов H^+ и OH^- ионов равна, и pH называется изоэлектрической точкой.

7.4. Сорбционные процессы в почвах

Основным механизмом физико-химической реакции или обменной поглощательной способности почв является процесс сорбции.

Обменная сорбция – способность катионов диффузного слоя почвенных коллоидов обмениваться на эквивалентное количество катионов. Обменные катионы представлены Ca, Mg, K, NH_4 , Na, Mn, Fe^{+2} , Fe^{+3} , H, Al^{+3} . В незначительном количестве встречаются Zr, Sr.

Основные закономерности обменной сорбции:

1. Эквивалентность обмена между катионами (коллоидов и раствора).

2. Энергия поглощения возрастает с увеличением валентности иона: $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{NH}_4 < \text{Cs} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Al} < \text{Fe}$.

Под энергией поглощения катионов понимается относительное поглощение катионов при одинаковой их концентрации в растворе;

3. Энергия поглощения определяется радиусом негидратированного иона. Чем меньше радиус, тем слабее связывается ион. Причина объясняется

большей плотностью заряда и большей гидротированностью иона. Гидратационные оболочки изменяют свойства ионов: уменьшают их чувствительность к электростатическому притяжению, изменяют соотношение между размерами ионов.

4. В пределах ионов одной валентности энергия поглощения возрастает с увеличением атомной массы, атомного номера по таблице Менделеева. Установлены следующие ряды поглощения: одновалентные – $\text{Li-7} < \text{Na-23} < \text{NH}_4\text{-18} < \text{K-39} < \text{Pb-89}$; двухвалентные – $\text{Mg-27} < \text{Ca-40} < \text{Co-59} < \text{Cd-112}$.

Трехвалентные: $\text{Al-27} < \text{Fe-56}$.

Ион H^+ или H_3O^+ (оксоний) сорбируется аномально прочно, что обусловлено его малым размером и способностью со многими анионами образовывать слабодиссоциированные соединения. Отсюда, H^+ не имеет постоянного места в ряду, поглощение определяется характером твердой фазы (сорбента).

Процесс обмена иона электролита с ионом сорбента проходит через последовательные стадии:

1. Перемещение иона из раствора к твердой поверхности;
2. Перемещение иона внутри твердой фазы к месту (к точке) обмена;
3. Реакция двойного обмена;
4. Перемещение вытесняющего иона внутри твердой фазы;
5. Перемещение вытесняемого иона от поверхности в раствор.

Скорость обменной реакции определяется диффузионными процессами. Катионы, обладающие большей энергией, прочнее удерживаются в поглощенном состоянии и скорость замещения более замедлена. 75-85% поглощенных оснований десорбируются за 3-5 минут. Далее скорость обмена резко снижается и полное замещение происходит в течение 2-3 суток. Такой механизм поглощения объясняется неоднородностью поглощающего комплекса, строением коллоидных частиц и агрегатного состояния почв.

По П.Н. Гапону почва представляет собой сорбент с 5 группами активных мест: 3,4,5 группы активны при $\text{pH} > 7$, а 1 и 2 группы – в кислой среде. Таким образом, почвы большинство из них имеют две группы сорбентов. При этом минеральная часть почвы более неоднородна относительно скорости поглощения. 70-80% обменных катионов глинистых минералов связаны с поверхностью базальных граней и легче обмениваются катионами, чем активная центральная часть коллоидов.

Общее количество всех поглощенных ионов (катионов), которые могут быть вытеснены из почвы, называется емкостью поглощения или емкостью катионного обмена. Это понятие введено К.К. Гедройцем. ЕКО измеряется в ммоль на 100 г почвы. Эта величина зависит от содержания коллоидной и предколлоидной фракций, строения их поверхности, pH среды и природы почвенного поглощающего комплекса.

При увеличении дисперсности части ЕКО возрастает. Органические коллоиды имеют более высокую поглотительную способность, чем минеральные. ЕКО минеральных коллоидов зависит от природы вторичных глинистых мине-

ралов. Так, глинистые минералы монтмориллонитовой группы имеют более высокую ЕКО, чем глинистые минералы группы каолинита.

С ростом pH возрастает ЕКО в основных зональных почвах. По данным Н.И. Горбунова зональные почвы имеют следующие показатели ЕКО в пределах горизонта А (табл. 22, 23).

Профильное распределение ЕКО зависит от количества гумуса и илистой фракции. Почвы с иллювиальным горизонтом имеют второй максимум в горизонте В, а первый в гор. А. В профиле черноземов ЕКО от горизонта А₁ к почвообразующей породе ЕКО зависит от гранулометрического состава (в глинистых достигает максимальных показателей).

Таблица 22 – Емкость катионного обмена в горизонте А зональных почв (по Горбунову)

Почвы	Емкость катионного обмена (ЕКО), ммоль
Дерново-среднеподзолистые	45,2
Темно-серые лесные	38,9
Черноземы типичные	53,7
Солонцы степные	17,2
Сероземы	8,5
Желтоземы	12,1
Красноземы	11,4

Таблица 23 – Емкость поглощения глинистых коллоидных частиц по Р.Е. Гримму (1953)

Название	ЕКО ммоль/100 г почвы
Каолинит	3-15
Галлуазит х Н ₂ О	5-10
Галлуазит х 2Н ₂ О	40-50
Сепколит-палыгорскит	20-30
Хлорит	10-40
Иллит	10-40
Монтмориллонит	80-150
Вермикулит	100-150
Гуминовые кислоты	350-450
Фульвокислоты	600-700

7.5. Сорбция анионов почвами

Сорбция анионов осуществляется при положительном заряде гранулы, что присуща минеральной части коллоидов. По способности сорбироваться на почвенных частицах анионы располагаются в следующий ряд:



По мере увеличения в почвенно-поглощающем комплексе содержания алюминия и железа, осколков почвенных минералов, при понижении рН среды сорбция анионов возрастает.

Анионы менее гидратированы, чем катионы. Обладают высокой селективной способностью поглощения.

Анионы Cl^- и NO_3^- почвой практически не поглощаются. Известна отрицательная сорбция Cl^- и NO_3^- , описанная К.К. Гедройцем. Отрицательная сорбция анионов обусловлена снижением их концентрации по мере движения от раствора к мицелле и частице. Это означает, что концентрация анионов более высока в рыхлосвязанной, подвижной части воды. Такая отрицательная сорбция нитратов усиливает процесс их выноса из корнеобитаемого слоя, усиливает обеднение почв соединениями азота.

Отрицательная сорбция хлоридов благоприятствует быстрой промывке почв при засолении.

В поглощении анионов большую роль играют процессы солеобразования. При взаимодействии анионов и катионов образуются нерастворимые соли в воде (сульфаты, карбонаты, фосфаты), они переходят в твердую фазу почвы. Интенсивно поглощаются фосфат-ионы. Выделяют следующие виды поглощения почвой фосфат-ионов:

1. Образование малорастворимых фосфатов в результате взаимодействия внесенных в почву растворимых минеральных фосфорных удобрений с солями почвенного раствора. Такое поглощение возможно при наличии ионов Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} при нейтральной и щелочной среде.

2. Образование слаборастворимых фосфата с катионами поглощающего комплекса после их вытеснения катионами раствора.

3. Поглощение фосфат ионов при взаимодействии их с минералами-солями: гипсом, кальцитом, доломитом. Частично фосфат ионы реагируют без вытеснения катионов кальция, железа и алюминия.

4. Хемосорбция фосфат-ионов гидроксидами алюминия и железа. Связь осуществляется с твердой фазой на внешней поверхности коллоида.

Интенсивность поглощения фосфат-ионов прямо пропорциональна дисперсности минеральной части почв.

5. Поглощение фосфат-ионов глинистыми и неглинистыми алюмо- и ферросиликатными минералами. На внешней и в меньшей степени на внутренней поверхности минералов происходит необменное поглощение фосфат-ионов. При этом фосфат-ион адсорбируется в потенциалопределяющем слое отрицательных коллоидов, алюминий кристаллической решетки притягивает фосфат ионы (PO_4^{3-}).

6. Возможна обменная реакция.

7. Амфотерный кремнезем поглощает фосфаты путем механического захвата.

Органические вещества также поглощают фосфат ионы, но в меньшей степени. Поглощение фосфатов приводит к накоплению фосфора в почве, но снижает степень их доступности растениям.

7.6. Физическое состояние почвенных коллоидов

Коллоиды в почвах находятся главным образом в форме гелей, в которых частицы сцепляются между собой (коагуляция). В ячейках данной структуры удерживается вода.

Во влажных почвах коллоиды могут находиться в форме золя (частицы разделены водной фазой), а процесс называется пептизацией. Раздельное существование коллоидных частиц в состоянии золя обусловлено за счет электрокинетического потенциала и водной оболочки частиц. Одноименно заряженные коллоиды отталкиваются друг от друга, находятся в суспензии. При падении электрокинетического потенциала и уменьшении заряда частиц разноименно заряженные частицы склеиваются, выпадают в осадок. Процесс соединения коллоидных частиц и образования геля из золя – называется коагуляцией, дальнейшее осаждение седиментацией.

Переход коллоидов из состояния геля в состояние золя называется пептизацией. Коллоиды, которые переходят из одного состояния в другое, называются обратимыми. Однако в почве много коллоидов, трудно переходящих в состояние золя и составляют группу необратимых коллоидов.

Взаимодействию и соединению коллоидных частиц мешают водные пленки. По количеству воды, удерживаемой коллоидами, они разделяются на гидрофильные и гидрофобные.

Гидрофильные коллоиды сильногидротированы, труднее коагулируют. К таким относятся органические вещества, минералы монтмориллонитовой группы.

Гидрофобные коллоиды содержат мало воды. К ним относятся гидроксид железа, минералы группы каолинита.

Физическое состояние коллоидов зависит от состава поглощенных катионов. Чем больше валентность, больше их заряд и меньше электрокинетического потенциала коллоида, тем легче идет процесс коагуляции.

По коагулирующей способности катионов К.К. Гедройц составил ряд, названный лиотропным:



Коллоиды, насыщенные одновалентными катионами, находятся в состоянии золя. При замене одновалентных катионов в двухвалентные они переходят в гель. Например, если почву насыщать Na^+ , коллоиды переходят в состояние золя, почва распыляется. И наоборот, насыщение почвы кальцием способствует коагуляции, образованию водопрочной структуры.

Реакция рН среды играет большую роль в определении состояния коллоидов. Кислая реакция способствует растворению некоторых коллоидов -

например, гидроксида алюминия, щелочная реакция способствует выпадению полутвердых окислов, переходу в состояние золь органических и некоторых минеральных коллоидов.

Часть коллоидов в почве находится в свободном состоянии, часть образует пленки на поверхности крупных гранулометрических частиц путем адгезии, под которой понимают слипание (склеивание) поверхностей веществ различного химического состава. Таким путем происходит закрепление гумусовых веществ, органо-минеральных коллоидов на поверхности пылеватых, песчаных механических частиц.

Особое явление представляет тиксотропия. Она возникает тогда, когда золь и гель обратимы. При этом гель не отделяется от дисперсной среды, застывает вместе с ней. При этом гель может перейти в золь при встряхивании, механическом помешивании. Такое явление имеет место в криогенных почвах, вызывая их плавучесть. В криогенных почвах формируется удлиненной формы рыхлый каркас, внутри которого находится почвенный раствор. Именно под влиянием этого раствора вся почвенная масса приобретает свойства плавучести. Эта структура плохо проницаема для воды и воздуха, в них развиваются восстановительные процессы.

Под влиянием периодического высушивания, нагревания, увлажнения, промораживания, изменения среды происходит уменьшение свободной поверхностной энергии, наступает старение коллоидов. Коллоиды теряют гидрофильность, уменьшается сорбционная способность, происходит частичная кристаллизация гелей. Наблюдается процесс оструктуривания.

Поглотительная способность - важный критерий оценки уровня плодородия почвы. Обеспечивает питательный режим, является складом для накопления питательных элементов, регулирует pH среды, водно-физические свойства, структурно-агрегатное состояние.

Черноземы, где соотношение поглощенных катионов кальция и магния является идеальным. Они имеют оптимальные показатели по всем свойствам.

Солонцы, имея в почвенно-поглощающем комплексе натрия и дерново-подзолистые почвы, содержащие поглощенный водород и алюминий обладают плохими физическими свойствами.

7.7. Кислотность и щелочность почв

Реакция почвы обусловлена наличием и соотношением в почвенном растворе водородных и гидроксильных ионов и характеризуется pH – отрицательным логарифмом активности водородных ионов в растворе. Почвы могут иметь нейтральную ($pH=7$), щелочную ($pH>7$) или кислую реакцию - ($pH<7$).

Реакция почв зависит от множества факторов, объединяемых в две группы. Первую группу составляют особенности химического и минералогического состава минеральной части, унаследованной от материнской породы. Вторую группу факторов представляют качественный и количественный со-

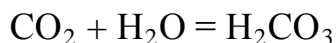
став органического вещества, их продуктов переработки. Соотношение влияния этих факторов определяет pH почвенной суспензии, раствора.

В первую группу факторов составляют и легкорастворимые соли в почве, находящиеся в твердой фазе (минеральной части).

Сернистые соединения металлов (сульфиды) играют важную роль в определении реакции. Как известно при окислении они дают в конечном результате серную кислоту. При этом pH может изменяться от 7-8 до 2-3. Такое явление происходит при осушении мангровых (тропики) и маршевых почв (приморских).

На реакцию среды оказывают влияние почвообразующие породы. Так, на элювии известняков и доломитов формируются дерново-карбонатные почвы или рендзины по классификации 1977 года. Присутствие известняков обуславливает значение pH до 8,5.

Безусловно, регулятором pH среды является поступающее в почву органическое вещество. При его разложении формируется – образуется угольная кислота за счет выделения углекислого газа:

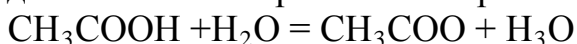


При этом pH почвы поддерживается в диапазоне 3,9-5,7. Поступление и разложение определяется температурным и водным режимами, что связано с суточно-сезонными ритмами погоды.

В процессе жизнедеятельности растения выделяют H^+ , OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} вызывая изменения pH в ту или иную сторону.

Роль микроорганизмов огромна. Так, деятельность нитрификаторов могут вызвать подкисление почвенного раствора до 0,5-2,0 pH.

По теории кислот Бернстеда-Лоури, кислотой считается любое вещество, способное отдавать протон (H^+), переходя при этом в сопряженное с ней основание. В свою очередь, основание – вещество, которое может присоединять протон, превращаясь в сопряженную с ней кислоту. В водных растворах кислоты отдают протоны воде и основания принимают протон от воды.



Здесь вода играет роль основания, она принимая протон превращается в кислоту H_3O^+ .

Сила кислот и оснований количественно оценивается константой равновесия реакции переноса протона.

Произведение K_a и K_b любой кислотно-основной пары равно ионному произведению растворителя – воды.

$$K_a \times K_b = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] = K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14}$$

Различают актуальную (активную) кислотность и потенциальную кислотность почв в зависимости от их проявления.

Актуальная кислотность почвы обусловлена наличием водородных ионов в почвенном растворе, активность которых зависит от свойств раствора. Активная кислотность почвы измеряется при взаимодействии почвы с дистиллированной водой при разбавлении 1:2,5, либо в пасте. Иногда pH почвы изме-

ряют непосредственно в поле при естественной влажности. Актуальную кислотность можно измерять колориметрически или путем титрования.

В зависимости от раствора различают две формы потенциальной кислотности почв – обменную и гидролитическую.

Обменная кислотность обнаруживается при взаимодействии с почвой растворов нейтральных солей. При этом происходит эквивалентный обмен катиона нейтральной соли на ионы водорода, алюминия и др., находящиеся в поглощенном комплексе. Используют раствор КС1 (рН=6,0).

Природа обменной кислотности зависит от состава и свойств почвенных коллоидов. Кислотность органических почвенных коллоидов обусловлена главным образом обменным водородом. Источником водородного иона служат гумусовые кислоты и угольная кислота.

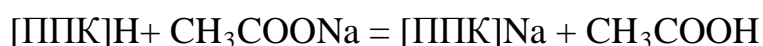
Кислотность минеральных коллоидов связана наличием в ППК обменных ионов водорода, алюминия и железа. Источником железа и алюминия служат ионы кристаллической решетки глинистых минералов и гидроксидов. Они приводятся в движение или мобилизуются органическими кислотами.

Образующая в растворе кислота оттитровывается щелочью (кислотность выражается в ммоль/100 г) или определяется по рН раствора – как солевой рН.

При рН меньше 4,0 кислотность обусловлена главным образом обменным водородом, при рН от 4,0 до 5,5 – обменным алюминием.

Солевой рН определяется в кислых почвах, его значение всегда меньше, чем водный рН.

Гидролитическая кислотность обнаруживается при взаимодействии на почву раствора гидролитически щелочной соли сильного основания и слабой кислоты. Обычно используется соль CH_3COONa – уксуснокислый натрий с рН = 8,2.



Количество обнаруженной уксусной кислоты характеризует гидролитическую кислотность почвы. При наличии алюминия образуется оксалат алюминия, что распадается на уксусную кислоту и гидроксид алюминия.

Нейтральная соль вытесняет лишь часть водородного иона, гидролитически щелочная соль – почти весь поглощенный водород (вместе с тем до 75 % остается не вытесненным – используется коэффициент 1,75). Это означает, что гидролитическая кислотность выше обменной.

Наличие потенциальной кислотности характерно для почв, обедненных основаниями кальцием, магнием и др. Кислые почвы – это подзолистые, серые лесные, бурые лесные, красноземы и желтоземы.

Формирование кислых почв связано и климатическим фактором. В условиях промывного водного режима соли промываются, выносятся. В формировании кислых почв велика роль почвообразующей породы и естественной растительности. При земледельческой обработке почв происходит интенсивное обеднение почв кальцием и магнием за счет возрастающего во времени уро-

жая. Внесение и использование физиологически кислых удобрений способствует подкислению почв.

Каждая культура имеет неблагоприятный диапазон pH, отклонение показателей от него приводит к ухудшению состояния растений, иногда и к гибели.

Доля участия в почвенном поглощающем комплексе катионов водорода и алюминия характеризует насыщенность почвы основаниями. Степень насыщенности основаниями это количество обменных оснований в % от емкости поглощения.

Основной путь понижения кислотности кислых почв – известкования (табл.24). При известковании происходят следующие процессы:

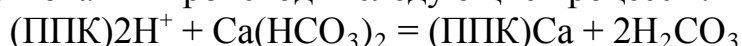


Таблица 24 – Шкала оценки нуждаемости почв в известкования по степени насыщенности основаниями.

Ниже 50%	Сильно нуждается
50-70	Средне нуждается
70-80	Слабо нуждается
Более 80	Не нуждается в известковании

Дозу извести рассчитывают по гидролитической кислотности пахотного горизонта.

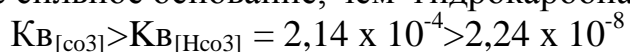
При плотности почв - $1,3 \text{ г/см}^3$ в 20 см масса пахотного горизонта равна 2600 т, при 30 см – 3900т. На 1ммоль гидролитической кислотности на 100 г почвы требует 1,3 – 1,95 т CaCO_3 на 1 га. В зависимости от культур доза извести различна, так как часть гидролитической кислотности не погашается (табл.25).

Таблица 25 – Доза извести в зависимости от pH солевой суспензии и гранулометрического состава

Гр. С-в	<4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4-5.5
Сп, лсг	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0
Сг и тсг	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

Щелочность почвенных растворов и водных вытяжек обуславливается различными соединениями – карбонатами, гидрокарбонатами щелочно-земельных элементов, силикатами, алюминатами, гуматами натрия.

Щелочная реакция – согласно теории кислот и оснований Бернстеда-Лоури может быть обусловлена анионами слабых кислот. Так, карбонат-ион более сильное основание, чем гидрокарбонат-ион.



В создание щелочной реакции почвенных растворов и вытяжек принимают участие:

1. Определяющим моментом в создании щелочной реакции является присутствие в почве гидролитически щелочных солей слабых кислот и оснований – Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $\text{Na(K)(HCO}_3\text{)}$, Ca(Mg)CO_3 , $\text{Ca(HCO}_3\text{)}_2$ и т.д.

2. Общую щелочность можно рассматривать как меру дефицита протонов по отношению к условно принятому уровню. При этом акцепторами протонов считаются основания с константами диссоциации K_b равными или превышающими $10^{-9.5}$ ($\text{p}K_b = 9,5$).

Определяемая в почвах щелочность всегда является комплексной. Различают актуальную (активную) и потенциальную щелочность.

Актуальная щелочность обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей, при диссоциации которых образуется гидроксильный ион. Они различаются по различным значениям, определяются титрованием, выражаются в ммоль на 100 г почвы.

Общая щелочность определяется титрованием в присутствии индикатора метил-оранжевого.

Щелочность от нормальных карбонатов является результатом обменных реакций почв, содержащих поглощенный натрий. Потенциальная щелочность почв проявляется у почв, содержащих поглощенный натрий. При этом образуется сода.

Принцип мелиорации щелочных почв (содово-засоленных) заключен в замещении поглощенного натрия на кальций. Мелиорантом служат гипс, серная кислота, сульфат железа, пиритовые огарки, сера. Мелиорация таких почв всегда трудо- и энергоемка.

7.8. Буферность почвы

Буферностью называют способность почвы противостоять изменению ее актуальной реакции под различными факторами.

Различают буферность почв против кислотных агентов и буферность против щелочных агентов.

При взаимодействии почвы с кислотой происходит реакция обмена между обменными катионами и водородным ионом.

Буферность почвы зависит:

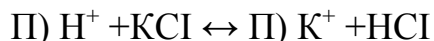
1. От количества коллоидов;
2. От состава почвенных коллоидов (чем выше содержание гумуса, монтмориллонита, почвенных коллоидов с широким соотношением кремнезема к глинозему, тем выше их буферность).

От состава почвенных катионов – чем больше кальция, магния, натрия, тем значительнее буферность относительно кислот, чем больше водорода и алюминия, тем выше буферность почвы против щелочей.

Буферная способность является одним из элементов почвенного плодородия. Она позволяет сохранять благоприятные условия для растений. Она учитывается при мелиорации почв (известкование, гипсование).

7.9. Определение обменной кислотности почвы по величине рН

Обменная кислотность определяется при действии на почву раствором нейтральной соли, под действием которой вытесняются поглощенные ионы H^+ и Al^{3+}



Ход работы:

Навеску почвы в 4 г переносят в колбу или бутылку, к почве приливают 10 мл 1 н раствора хлористого калия и содержимое взбалтывают в течение 5 минут от руки или на ротаторе. После взбалтывания содержимое колбы оставляют на сутки. Определение рН проводится колориметрическим или потенциометрическим способами.

Определение дозы $CaCO_3$ по величине рН

Научными исследованиями установлены ориентировочные дозы извести в зависимости от величины рНс для почв разного гранулометрического состава (табл.25). По таблице найти дозу извести и сравнить с расчетной дозой.

Физико-химические свойства почв обуславливают сорбционные, физические, химические свойства, определяют метаболизм элементов, трансформацию питательных веществ и процессы почвообразования, а также оказывают влияние на рост и развитие растений, в целом на формирование экосистем.

Контрольные задания.

Исходя из приведенных показателей физико-химических свойств почв (табл. 26)

- 1) Заполнить пустые графы путем соответствующих расчетов;
- 2) Определить нуждаемость почв в известковании, дозу извести расчетную (по величине Нг) и ориентировочную (по величине рНс)
- 3) Определить пригодность почв по физико-химическим свойствам под ведущие сельскохозяйственные культуры лесостепной зоны.

Таблица 26 – Показатели физических и физико-химических свойств почв

Мощ- ность, А _{пах} , см	Частицы менее 0,01 мм, %	d, г/см ²	S	Нг	V, %	рН кcl	Степень нуждае- мости в извест- кова нии	Доза извести, т/га	
			мг/экв/100 г					ориенти ровоч- ная	расчет- ная
0 – 20	15,2	1,38	7,0	2,4		5,8			
0 – 24	45,5	1,1	30,1	4,0		5,6			
0 – 25	47,8	1,0	33,4	4,8		5,7			
0 – 27	25,4	1,25	20,2	3,0		5,5			
0 – 25	48,8	1,0	38,8	3,4		5,9			
0 – 27	31,2	1,1	28,5	4,4		5,7			
0 - 25	43,2	1,20	20,4	5,5		5,5			
0 - 20	40,8	1,28	18,0	8,4		4,6			
0 - 25	50,2	1,31	17,5	7,2		4,8			

8. ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР, МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

8.1. Почвенный раствор.

Почвенный раствор можно определить как жидкую фазу почв, включающую почвенную воду, содержащую растворенные соли, органоминеральные и органические соединения, газы, тончайшие коллоидные золи.

В.И. Вернадский считал, что почвенные растворы одной из важнейших категорий природных вод, «основным субстратом жизни», «основным элементом механизма биосферы». К.К. Гедройц, А.Г. Дояренко, А.А. Шмук, С.А. Захаров, А.А. Роде, П.А. Крюков, Н.А. Комарова, Е.И. Шилова внесли существенный вклад в разработку методов выделения и изучения состава, динамики почвенных растворов.

Составными частями почвенных растворов являются почвенная вода, минеральные, органоминеральные, органические соединения и почвенные коллоиды.

Основным источником почвенной влаги являются атмосферные осадки. В зависимости от водного режима существенное участие в формировании почвенной влаги принимают грунтовые воды. Их роль велика при выпотном и периодически выпотном водном режиме. В условиях орошения также велика роль поливной воды в образовании почвенной влаги.

Первую часть почвенного раствора представляют растворенные продукты почвообразования. Источником являются твердая фаза, степень развития процесса почвообразования, что связано с зональным положением почв.

Содержание почвенного раствора колеблется в широких пределах от десятков до единиц, иногда долей процентов. Почвенный раствор не входит гигроскопическая и максимальная гигроскопическая вода. Почвенным раствором также не являются гравитационные воды из-за высокой их динамичности.

Таким образом, почвенный раствор включает все формы капиллярной, рыхлосвязанной и частично прочносвязанной воды.

8.2. Методы выделения почвенных растворов

Существуют 4 группы методов выделения почвенных растворов:

1. Первая группа методов. Выделение и изучение почвенного раствора при помощи водных вытяжек. Для этого берется навеска почвы и добавляется дистиллированная вода. Обычно соотношение между почвой и водой равно 1:5. Однако составы водных вытяжек и почвенных растворов сильно различаются, что было рассмотрено В.А. Ковдой. Поэтому водные вытяжки используются для изучения степени засоления почв легкорастворимыми солями, иногда для определения легкодоступных форм элементов питания растений.

2. Вторая группа методов. Предусматривает выделение почвенных растворов в неизменном виде. Твердая фаза почвы и почвенный раствор

взаимодействуют. Для преодоления силы взаимодействия применяют внешнюю силу (давление создаваемое прессом, давление сжатого газа, центробежная сила).

4. Вытесняющая способность различных жидкостей. На практике чаще используется первый (вытеснение прессом) и последний (вытеснение жидкостью). В последнее время чаще проводятся инструментальные методы позволяющие усилить применение центробежной силы.

3. Третья группа методов представлена лизиметрами различных конструкций. Прием действует по принципу замещения и вытеснения талыми и дождевыми водами. Используются лизиметры различного устройства: 1. Лизиметры – контейнеры с бетонированными стенками и дном; 2. Лизиметры - воронки; 3. Плоские лизиметры закрытого типа.

В проведение исследований большой вклад внесли – В.В. Гиммерлинг, И.Н. Скрынникова, В.В. Пономаренко, Е.И. Шилова, И.С. Кауричев.

4. Четвертая группа методов основана на непосредственном исследовании жидкой фазы почвы (измерения *in situ*) в полевых условиях. Так за рубежом степень засоления почв давно определяют методом электропроводности. Погружая в почву электроды можно определять окислительно-восстановительный потенциал, активность ионов водорода.

Развитие потенциометрических способов, в частности, ионометрических методов в последние годы позволяют определять широкий набор ионов - кальция, натрия, нитратов, хлора и др.

8.3. Химический состав почвенных растворов

Химический состав почвенных растворов формируется и регулируется абиотическими и биотическими факторами, компонентами почвы и экосистемы. В качестве факторов выступают состав атмосферы и твердой фазы почвы, живые и мертвые организмы, почвенный воздух. Следует отметить, что почвенный раствор постоянно находится в динамичном состоянии, то есть изменяется. Основным фактором изменения почвенного раствора является жизнедеятельность высших растений. Они постоянно поглощают анионы, катионы и воду. Одновременно они возвращают в раствор корневые выделения. Состав почвенного раствора входят истинно растворенные соединения и коллоидно-растворимые вещества. Последние представлены золями кремнекислоты, полуторных окислов железа и алюминия, органическими и органо-минеральными соединениями. По данным К.К. Гедройца коллоиды составляют от 0,1 до 0,25 частей или 10 - 25% от общего количества веществ почвенных растворов.

Важнейшими катионами почвенного раствора являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , NH_4^{+} , H^{+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} . Среди анионов преобладают – HCO_3^{-} , CO_3^{2-} , NO_3^{2-} , NO_2^{-} , Cl^{-} , SO_4^{3-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, HPO_4^{2-} .

Железо, алюминий и многие микроэлементы содержатся в виде комплексных органо-минеральных соединений (хелаты). Органическая часть пред-

ставлена гумусовыми, низкомолекулярными органическими кислотами, полифенолами и др.

Концентрация почвенных растворов невелика и в разных почвенных типах колеблется от десятков миллиграммов до нескольких граммов на литр (мг/л; г/л). Лишь в засоленных почвах она высока – доходит до сотен граммов на литр.

Свободные кислоты и основания определяют реакцию среды, одно из важнейших условий существования и жизнедеятельности корневых систем. Реакция почвенного раствора определяется активностью водородного катиона (H^+) и гидроксильных ионов (OH^-). Она измеряется рН – отрицательным логарифмом активности водородных ионов. РН почвенного раствора разных типов почвы варьирует от 2,5 до 10-11. При этом от рН 7 до 8,5 определяется наличием карбонатов или извести, рН от 8,6 до 11 обусловлено содой и характерно содовым солонцам и солончакам.

Низкие концентрации почвенного раствора и кислая реакция среды характерны для подзолистых, болотных почв, а также для почв влажных субтропиков и тропиков. Концентрация почвенного раствора составляет п мг/л, а рН варьирует от 4,5 до 6.

В таежной зоне – в дерново-сильноподзолистых почвах в составе почвенного раствора доминирует железо, связанное с органическим веществом (табл. 26)

В степных почвах концентрация почвенных растворов выше, чем в подзолистых и болотных почвах и варьирует от сотен лет до 1-3 г/л. Реакция среды нейтральная, рН варьирует от 6,8 до 7,5. Существенна роль гидрокарбонатов.

Таблица 26 – Содержание различных форм железа в почвенном растворе сильноподзолистой почвы под ельником весной (Московская область, Кауричев, Ноздрунова, 1964)

Горизонт, см	рН	Железо, мг/л		
		общее	минеральное	связанное с органическим ве- ществом
ОА' 0-2	5.2	14.4	Нет	14,4
ОА'' 2-4	5,4	10.6	0.1	10.5
Е 15-25	6.8	30.8	0.1	30.7
В ₁ 45-55	6.6	12.4	следы	12,3

Наиболее насыщены минеральными солями почвенные растворы солончаков – сотни г/л. Почвенные растворы солончаков более концентрированы, чем морская вода.

Для большинства почв характерен гидрокарбонатный кальциевый состав – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. В засоленных почвах преобладают хлориды и сульфаты магния и натрия.

Для характеристики степени и характера засоления почв широко используется анализ водной вытяжки. В водной вытяжке растворяются в основном легкорастворимые соли, часть труднорастворимых солей и часть солей, образующихся в результате катионного обмена.

При сравнении соотношения солей в водной вытяжке и почвенном растворе, установлено, что различия в составе солей почвенных растворов и водных вытяжек больше всего относятся к кальциевым солям (CaSO_4) и в меньшей мере к хлоридам (NaCl). Соли – MgSO_4 и Na_2SO_4 – занимают промежуточное положение, они как правило, больше содержатся в водной вытяжке.

Предложена формула расчета концентрации почвенного раствора по данным водной вытяжки Н.Г. Минашиной (1970).

Расчет производится по наименьшей влагоемкости (НВ):

$$C = (S \times 1000) : V,$$

где C – концентрация суммы токсичных солей в почвенном растворе, г/л; S – % токсичных солей на сухую почву по данным анализа водной вытяжки; v – содержание влаги в %, определяемое разницей между НВ и гигроскопической влагой.

Расчетные и истинные концентрации почвенного раствора, полученные Н.Г. Минашиной в почвах Мургабского оазиса Средней Азии, оказались близкими. Исключение составили почвы с высоким содержанием гипса [9].

8.4. Динамика концентрации почвенного раствора

Динамика концентрации почвенных растворов обусловлена изменениями факторов во времени. Так, влажность, температура имеют циклическое изменение в пределах суток, сезонов и года. Соответственно изменяется интенсивность деятельности микрофауны, микрофлоры и высших растений. Хорошо выделяется суточная и сезонная динамика почвенных растворов. Вместе с тем она дифференцируется от типового положения почв.

Для большинства почв наблюдается постепенное возрастание концентрации почвенного раствора с весны к лету. Эта закономерность характерна для дерново-подзолистых, серых лесных почв, черноземов, каштановых и бурых и серо-бурых почв. Имеется отклонение от данной закономерности. Так, в тундровых мерзлотных почвах максимальная концентрация почвенного раствора наблюдается за счет криогенного подтягивания растворов из нижних горизонтов. Летом почвенные растворы имеют небольшую концентрацию за счет промывания и разбавления растворов.

Почва, как вы знаете, трехмерное тело, имеет четко выраженные горизонты. Оказывается, что верхние почвенные горизонты имеют более динамичную концентрацию почвенного раствора, чем нижние. Это прежде всего связа-

но с активностью биологического фактора, обеспечивающего почвенный раствор растворимыми соединениями.

В степных почвах концентрация почвенного раствора зависит от хода выпадения атмосферных осадков и температуры. Максимальная концентрация почвенного раствора может иметь место и в раннелетнее время и осенью. Она может достигать до 2 г/л.

В пустынных и полупустынных зонах концентрация почвенного раствора повышается по мере роста температуры, максимум достигается летом. В это время концентрация легкорастворимых солей - $MgCl_2$, Na_2SO_4 , $MgSO_4$, $Ca(Mg)(HCO_3)_2$ близка к точке насыщения ими раствора. Концентрация почвенного раствора солончаков доходит до 350-400 г/л. Данная фаза сезонного цикла солевого режима называется фазой соленакопления.

В период осенне-зимних осадков происходит разбавление почвенных растворов, при насыщении почвы до НВ идет передвижение почвенного раствора вниз по профилю. В эту фазу верхние горизонты имеют почвенный раствор более низкой концентрации, чем нижние горизонты. Эта фаза солевого режима называется фазой выщелачивания и опреснения.

Теперь рассмотрим динамику кальция и нитрата по данным Т.Л. Быстрицкой (1981). В черноземе максимум концентрации кальция приходится на дневные часы, а минимум – в ночные. Днем идет активный процесс выделения CO_2 растениями, растворимость $CaCO_3$ повышается. К тому же в почвенный раствор кальций, видимо, поступает за счет обменных реакций[1].

Динамика нитрат-иона имеет обратную ситуацию, в утренние часы она уменьшается и к вечеру возрастает. Это явление хорошо коррелирует с интенсивностью фотосинтеза растений.

8.5. Почвенные растворы и продукционный процесс

С концентрацией и составом почвенного раствора связано поступление элементов питания растений. В процессе хозяйственной деятельности человек стремится оптимизировать концентрацию и состав почвенного раствора. Приемами орошения и осушения происходит разбавление и опреснение почвы от токсичных солей, за счет улучшения аэрации уменьшается концентрация закисных соединений железа. Оптимизация концентрации элементов биофилов за счет внесения минеральных и органических удобрений.

В питании растений и с\х культур большое значение играет осмотическое давление почвенного раствора и клеточного сока растений. Когда эти давления равны или когда осмотическое давление раствора выше осмотического давления корневых систем, поступление в растения воды, элементов пищи прекращается. Сосущая сила корней большинства с\х культур не превышает 100-200 Мпа.

Осмотическое давление почвенного раствора незасоленных почв обычно составляет не более 10 Мпа, большие дозы удобрений его повышают до 15-20 Мпа.

Во влажных почвах осмотическое давление ниже и по мере иссушения почвы оно возрастает. Так, при уменьшении от наименьшей влагоемкости до влажности завядания концентрация почвенного раствора возрастает в 5-6 раз, поэтому возрастает осмотическое давление почвенного раствора. При этом нарушается нормальное развитие растений, наблюдается задержка кущения, ускоряется колошение, цветение, созревание, соответственно снижается урожайность культур, но повышается содержание белка в зерне.

На примере хлопчатника рассмотрим влияние засоления на осмотическое давление и урожайность хлопчатника (табл.27).

Таблица 27 – Зависимость урожая хлопчатника от концентрации солей и осмотического давления в почвенном растворе (С.Н. Рожков, 1970)

Поле	У, ц/га	Почвенные растворы при НВ			
		сухой остаток, г/л	Cl, г/л	SO ₄ , г/л	осмотическое давление Па
1	35,5	3,53	0,33	1,45	9,5×10 ⁴
2	22,1	8,40	0,69	3,76	3,74×10 ⁵
3	1,3	27,15	2,42	9,46	1,1×10 ⁶

По мере засоления урожайность хлопчатника падает, осмотическое давление почвенного раствора повышается. Критической концентрацией является 25-30 г/л. При его концентрации - 12-25 г/л растения испытывают заметное угнетение.

На урожайность культур оказывает влияние и состав солей в почвенном растворе. Так, очень токсичной солью является сода, при ее присутствии реакция среды превышает от 8,5 и выше.

Контрольные вопросы.

1. Какие ученые внесли существенный вклад в разработку методов выделения и изучения состава, динамики почвенных растворов?
2. Из каких составных частей состоит почвенный раствор?
3. Какие методы выделения почвенного раствора существуют?
4. Какие катионы в почвенном растворе являются наиболее важными?
5. От чего зависит концентрация почвенного раствора? Приведите примеры.
6. Какова роль осмотического давления почвенного раствора в питании растений?

9. БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПОЧВ

9.1. Роль биологического круговорота веществ в почвообразовании

Одна из особенностей Земной оболочки - обмен веществ и энергии между ее компонентами. До появления живого вещества на планете преобладал большой геологический круговорот веществ и энергии. Появление живого вещества на Земле датируется 1 млрд. лет тому назад. С возникновением жизни на Земле и появился малый биологический круговорот.

Понятие малого биологического круговорота веществ введено В.Р. Вильямсом в процессе рассмотрения биологических процессов в почвообразовании. Эти идеи плодотворно разрабатывались Б.Б. Плыновым, А.П. Виноградовым, В.А. Ковдой, Н.И. Базилевич, М.А. Глазовской.

Биологический круговорот представляет систему: солнечные лучи – атмосфера – живое вещество (растения, животный мир, микроорганизмы) - почва – порода – грунтовые воды. В биологическом круговороте происходит обмен веществ и энергии между компонентами системы, живым веществом, почвой, гидросферой, космосом и атмосферой.

Солнечные лучи являются носителями энергии, она в дальнейшем консервируется зелеными растениями.

Второй компонент - атмосфера является поставщиком углекислого газа, необходимого для построения органического вещества. Содержание CO_2 в атмосфере варьирует около 0,03%. Между зелеными растениями, солнечными лучами при участии углекислого газа и воды происходит фотосинтез. Процесс этот поглощает энергию.



В данном процессе участвуют три элемента – С, O_2 и H_2 . В дальнейшем в растениях созданное органической вещество вступает в реакцию с другими элементами.

Роль другой половины живого вещества – консументов – заключается в переработке созданного органического вещества. Этот процесс сопровождается уменьшением накопленного энергетического ресурса.

Почва выступает посредником между растениями и солнечными лучами. Именно через почву растения извлекают воду и зольные элементы, азот минеральный.

Порода и грунтовые воды в малом биологическом круговороте участвуют пассивно. Их роль может быть рассмотрена как зона дополнительного снабжения растений элементами питания или как зона отчуждения этих элементов.

Из рассмотренного вытекает, что биологический круговорот не является полностью замкнутым циклом. Количество элементов, вовлекаемых в круговорот, может возрастать во времени. Под агроценозами именно этот процесс наблюдается в настоящее время – во время интенсификации земледелия.

В последнее время ход биологического круговорота определяется особенностями хозяйственной деятельности. При этом наблюдается совместное участие ряда факторов:

1. Уничтожение природной биоты и смена ее на культурную биоту – агроценозы сельскохозяйственных культур, новую биоту пастбищ и выпасаемых животных, новую биоту при лесоразработках.
2. Отчуждение и потребление биологической продукции, обычно за пределами экосистемы, где она получена.
3. Внесение искусственных удобрений и других химических веществ.
4. Изменение почвенных режимов и биологических условий миграции (рН, Eh, аэрации среды, условия увлажнения).

В биологическом круговороте веществ центральное место занимает живое вещество. Данное понятие было введено В.И. Вернадским. Согласно последним подсчетам общий запас биомассы суши составляет 3×10^{12} - 1×10^{13} т или 3×10^{18} - 1×10^{19} г. По некоторым источникам она равна $2,44 \times 10^{12}$ т, что составляет 0,00001% (2×10^{19} т) массы земной коры. Ежегодная продукция живого вещества равна $2,32 \times 10^{11}$ т = $2,32 \times 10^{17}$ г

О размерах, мощности и энергетической насыщенности малого биологического круговорота можно судить по следующему факту. Так, годовая энергетическая продуктивность зеленых растений Земли приблизительно в 10 раз превосходит годовой объем промышленной энергетики планеты, работающей на ископаемом топливе. В целом биологический круговорот представляет сумму циклических процессов обмена веществ и энергии между средой и живым веществом.

Два свойства характеризуют биологический круговорот: первое свойство – избирательность поглощения необходимых элементов питания и второе – цикличность, которая связана с цикличностью поступления солнечной энергии.

В последнее время малый биологический круговорот веществ рассматривают совместно с биохимическим круговоротом, который представляет систему согласованных во временной последовательности в пространстве трансформационных и миграционных потоков вещества. Биологический и биогеохимический круговороты связаны между собой, между ними происходит обмен веществ и энергии. Вместе с тем, эти два круговорота также имеют выход и вход в большой геологический круговорот.

Объем и емкость биологического круговорота относительно отдельных элементов, скорость биологического круговорота определяется рядом факторов. Можно оттенить роль следующих факторов:

1. Химический состав (элементный состав). Он определяется видовой принадлежностью растений. Так, одни растения, например, бобовые более богаты азотом, фосфором, чем наши зерновые злаки. Это говорит о том, элементный поток в биологическом круговороте зависит от видового состава фитоценозов. В агроценозах обычно участвует один вид (культурная растительность), а в фитоценозах несколько. Но здесь растут доминантные, субдоминантные и сопутству-

ющие виды. Количество видов в фитоценозах варьирует. Для проведения балансовых расчетов в опытах агрохимического содержания обычно проводят химический анализ продуктов – зерна, соломы, корней и т.д.

2. Содержание поглощенных элементов в среде. В данном случае мы имеем в виду содержание подвижных макро- и микроэлементов в корнеобитаемой толще почвогрунтов. С повышением содержания подвижных элементов в почвах, увеличивается объем поглощения этих элементов, то есть повышается концентрация элементов.

3. Общее количество вовлеченных в круговорот элементов питания зависит от продуктивности экосистем, агроценозов. С повышением урожайности культур резко возрастает объем вовлеченных в малый биологический круговорот веществ – элементов питания.

Распашка земель и вовлечение их в земледелии имеет свои особенности. Прежде всего, малый биологический круговорот, его скорость зависит от состояния пахотных почв. Как известно, распашка выводит почву из равновесного состояния (климаксного) состояния почвы. Происходит интенсивное разложение накопленного почвенного органического вещества. Это означает, что в пахотных почвах процесс минерализации гумуса преобладает над синтезом. В частности, черноземы за последние 100 лет потеряли до 1/3 запасов гумуса. После освоения целинных и залежных земель (30-45 лет) пахотные почвы потеряли до 1/4 запасов гумуса. Именно содержание гумуса в почвах является сдерживающим началом повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

В последние годы биологический круговорот может идти более ясными темпами за счет повышения концентрации CO_2 в воздухе. Известно, что углекислый газ является материалом для создания органического вещества. Его содержание в воздухе составляет всего 0,03%. Сейчас экспериментально установлено, что при повышении концентрации CO_2 до 0,3% (то есть в 10 раз) скорость фотосинтеза возрастает до 2-3 раз. Эти примеры подтверждают сложность, многофакторность системного процесса малого биологического круговорота веществ.

К важнейшим показателям почвенного мониторинга относятся:

1. Кислотно-основные свойства.
2. Динамика содержания гумуса.
3. Вторичное засоление почв.
4. Осолонцевание почв.
5. Угнетение почвенной биоты.
6. Фитотоксичность почвы.

9.2. Определение обеспеченности почв элементами питания

9.2.1. Определение щелочногидролизующего азота по Корнфилду

Метод основан на гидролизе лабильных форм азота (азот обменного аммония, амидов, аминокислот и др., кроме азота нитратов) 1н раствором NaOH. В результате образуется аммиак, который улавливается борной кислотой[11].

Исследованиями ВИУА установлена высокая корреляционная связь между содержанием щелочногидролизующего азота и нитрификационной способностью почв. Предложены ориентировочные индексы обеспеченности черноземов легкогидролизующими формами азота (мг/кг почвы):

1) до 80 — высокая потребность в азотных удобрениях; 2) 80-160 — средняя; 3) 160-200 — низкая; 4) более 200 — потребность отсутствует.

Ход анализа.

Навеску воздушно-сухой почвы (2 г), пропущенной через сито в 1 мм, помещают во внешнюю часть чашки Конвея. Во внутреннюю часть чашки наливают пипеткой 2 мл 2% раствора борной кислоты и добавляют 2-3 капли комбинированного индикатора Гроака. Затем во внешнюю часть чашки пипеткой добавляют 5 мл 1 н. раствора NaOH, не допуская смачивания почвы, (этому способствует имеющаяся в чашке Конвея перегородка). Не меняя положения чашки, накрывают ее крышкой (часовым стеклом), предварительно смазав края вазелином. Осторожно, круговыми движениями смешивают почву с раствором щелочи, после чего ставят ее в термостат и выдерживают 48 ч при температуре 28°C.

По истечении указанного срока проводят титрование аммиака, связанного борной кислотой, во внутренней части чашки 0,02 н. раствором H_2SO_4 до перехода зеленой окраски раствора в малиновую, используя при этом микробюретку. Результаты анализа выражают в мг азота на 1 кг почвы (1 мл 0,02 н. H_2SO_4 соответствует 0,28 мг азота).

Результаты анализа вычисляют по формуле;

$$N = \frac{(V - V_2) \times n \times 0,28 \times KГ \times 1000}{m};$$

где N- количество легкогидролизующего азота, мг/кг,

где V_1 — объем H_2SO_4 , пошедший на титрование аммиака (мл);

V_2 — объем H_2SO_4 , пошедший на холостое титрование (мл);

n - молярная концентрация эквивалентов H_2SO_4 (ммоль/мл); 1000 — коэффициент для пересчета на массу почвы в 1 кг; t ~ масса навески почвы (г); 0,28 — масса азота, соответствующая 1 мл 0,02 н H_2SO_4 (мг); КГ — коэффициент пересчета на сухую навеску почвы.

9.2.2. Определение подвижных форм фосфора по методу Кирсанова (ГОСТ 26207)

В настоящее время согласно ГОСТам подвижные формы фосфора и обменного калия определяют в одной вытяжке из одной навески почв. Существует ряд методов определения для разных типов почв, которые различаются экстрагирующей способностью вытяжек.

Метод Кирсанова основан на извлечении подвижных фосфатов и обменного калия из почв 0,2 н. раствором HCl при соотношении почва: раствор 1:5 (для

торфяных почв — 1:50). Его используют при анализе подзолистых, серых лесных и других почв с кислой реакцией среды[11].

Приготовление вытяжки. На техно-химических весах отвешивают 10 г воздушно-сухой почвы, пропущенной через сито в I мм. Навеску помещают в колбу на 100 мл, приливают 50 мл 0,2 н. раствора HCl. Содержимое колбы взбалтывают 1 мин, оставляют на 15 мин. в покое. Отфильтровывают суспензию через беззольный складчатый фильтр.

Определение фосфора. 5 мл фильтрата помещают в мерную колбу на 100 мл и добавляют до метки реактив Б. Через 10 мин. после окрашивания раствора проводят фотоколориметрирование раствора в кювете толщиной 5-10 мм относительно раствора сравнения, используя красный светофильтр с максимумом пропускания в области 600-750 нм.

По шкале образцовых растворов фосфата строится градуированный график, где по оси абсцисс откладывают концентрацию P_2O_5 , по оси ординат показания оптической плотности.

Содержание фосфора в пробе находят по графику в мг/кг почвы или по формуле: $P_2O_5 = C \times V \times 1000 \times KГ / V_1 m$

где C – концентрация P_2O_5 , найденная по графику, мг/100г

V и V_1 – общий объем фильтрата и объем аликвоты, взятой для колориметрирования (мл) ;

1000 – коэффициент пересчета на 1 кг почвы;

m – навеска почвы, г.

KГ – коэффициент пересчета на сухую почву.

Определение обменного калия. 5-10 мл вытяжки помещают в стеклянный стаканчик и определяют содержание калия на пламенном фотометре.

Приготовление шкалы образцовых растворов. Отвешивают на аналитических весах 0,792 г хлористого калия, растворяют в 0,2 н. растворе соляной кислоты и доводят объем той же кислотой до 1000 мл. Полученный раствор содержит 0,5 мг/мл K_2O . Из исходного образцового раствора готовят шкалу для построения градуировочного графика. В 10 мерных колб вместимостью 250 мл отбирают пипеткой указанные в таблице 28 объемы исходного образцового раствора.

Таблица 28 – Шкала для определения подвижного калия
(по методу Кирсанова)

Показатель	Номер образцового раствора (колбы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем исходного раствора KCl, мл	0	1	2	4	6	10	20	40	60	80
Концентрация K_2O растворов сравнения, мг/1000 мл	0	2	4	8	12	20	40	80	120	160
Содержание K_2O в почве, мг/кг	0	10	20	40	60	100	200	400	600	800

Вычисление результатов. Содержание калия (мг/кг) в анализируемой пробе находят по графику или рассчитывают по формуле:

$$K_2O = C \times V \times KG / t$$

где C — концентрация K_2O , найденная по графику (мг/1000 мл);

V — объем вытяжки (мл);

t — масса навески почвы (г);

KG — коэффициент пересчета на абсолютно сухую почву.

Допустимые расхождения повторных определений при содержании K_2O до 80 мг/кг почвы — 15%, свыше 80 мг/кг — 10%.

Реактивы: 1. Реактив Б. 1000 мг аскорбиновой кислоты растворяют в 170 мл реактива А в мерной колбе на 1 л, доводят объем дистиллированной водой до 1 л и тщательно перемешивают. Реактив готовят в день проведения анализа.

Реактив А. 6 мг молибденово-кислого аммония растворяют в 200 мл дистиллированной воды. На аналитических весах отвешивают 0,155 г сурьмяно-виннокислого калия и растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Оба раствора готовят при слабом нагревании. Охлажденные растворы приливают к 500 мл 5 н. раствора серной кислоты в мерной колбе на 1 л. Доводят объем дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают. Реактив хранят в склянке из темного стекла.

9.2.3. Определение подвижных форм фосфора и калия в почве по методу Чирикова (ГОСТ 26204)

Метод основан на извлечении подвижного фосфора из почвы 0,5 н. раствором уксусной кислоты (CH_3COOH) при соотношении почва: раствор 1:25. Метод принят стандартом для серых лесных почв, не карбонатных черноземов[11].

Приготовление вытяжки. 4 г воздушно-сухой почвы помещают в колбу на 200-250 мл, приливают 100 мл 0,5 н. раствора CH_3COOH . Взбалтывают на ротаторе 1 час, затем настаивают 18-20 час. Суспензию взбалтывают и фильтруют.

Определение фосфора. 10 мл фильтрата помещают в мерную колбу на 100 мл, приливают 90 мл реактива Б. Через 10 мин. проводят фотоколориметрирование раствора в кювете толщиной 2 см, используя красный светофильтр.

Определение калия проводят на пламенном фотометре.

Реактивы;

1. 0,5 н. раствор уксусной кислоты (30 мл ледяной уксусной кислоты растворяют в 1 л дистиллированной воды). Концентрацию раствора проверяют титрованием раствором $NaOH$ в присутствии фенолфталеина.

Вычисление результатов проводят так же, как и в методе Кирсанова. Допустимые расхождения между параллельными определениями: при содержании P_2O_5 до 50 мг/кг почвы — 20%; свыше 50 — 15%; при содержании K_2O до 100 мг/кг — 15%; свыше 100 мг/кг — 10%.

2. Шкалу образцовых растворов фосфора и калия готовят так же, как в методе Кирсанова, только вместо 0,2 н НСІ используют 0,5 н CH_3COOH , 0.192г однозамещенного фосфата калия растворяют в 1л 0,5н CH_3COOH (раствор содержит 0,1мг P_2O_5 в 1мл). Из него готовят шкалу образцовых растворов (табл.28)

Таблица 28 – Шкала для определения подвижных форм фосфора по методу Чирикова

Показатель	Номер образцового раствора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем исходного раствора фосфата, мл	0	4	10	15	20	30	40	50	60
Концентрация P_2O_5 в образцовых растворах, мг/500 мл	0	0,4	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Концентрация P_2O_5 растворов шкалы сравнения, мг/100 мл	0	0,008	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг	0	20	50	75	100	150	200	250	300

9.2.4. Определение подвижных форм фосфора и калия в почве по методу Мачигина (ГОСТ 26 250)

Метод основан на извлечении подвижных форм фосфора и калия из почвы 1% раствором углекислого аммония (рН 9) при отношении почвы к раствору 1:20. Окрашенные органическим веществом вытяжки перед определением фосфора обесцвечивают. Метод принят как стандарт для определения фосфора и калия в карбонатных почвах (черноземы, каштановые и др).

Приготовление вытяжки. 5 г воздушно-сухой почвы помещают в колбу на 200-250 мл, приливают 100 мл 1% раствора углекислого аммония, закрывают пробкой и взбалтывают на ротаторе 5 мин. Затем колбу ставят в термостат на 18-20 час и выдерживают при температуре 23-27°C. Суспензию взбалтывают и фильтруют через складчатый фильтр. Первые порции фильтрата отбрасывают. Фильтрат должен быть прозрачным.

Определение фосфора. 15 мл фильтрата переносят в мерную колбу на 50 мл, добавляют 35 мл реактива Б и через 10 мин. {не позднее, чем через 2,5 ч после добавления реактива Б) колориметрируют при красном светофильтре с максимумом пропускания в области 600-750 нм.

Обесцвечивание вытяжки. Если вытяжка окрашена органическим веществом, ее обесцвечивают, 15 мл вытяжки переносят в емкость из термостойкого стекла, приливают 2 мл смеси 30% серной кислоты и марганцево-кислого калия, кипятят 2 мин. с момента закипания. После охлаждения приливают 36 мл окрашивающего реактива Б. Через 10 мин. (не позднее, чем через 2,5 часа) раствор колориметрируют. Определение калия проводят на пламенном фотометре из aliquoty не обесцвеченной вытяжки.

Реактивы: 1. 1% раствор углекислого аммония. Отвешивают 10 г соли и растворяют ее в 1 л дистиллированной воды. Полученный раствор должен иметь рН 9. Если рН выше 9, прибавляют углекислый аммоний, если ниже — концентрированный аммиак. Концентрацию раствора проверяют титрованием 0,1 н. раствором НСІ в присутствии метилового оранжевого. Допустима концентрация углекислого аммония 1,05%.

Смесь 30% серной кислоты и марганцево-кислого калия. 165 мл концентрированной кислоты влить в 835 мл дистиллированной воды в термостойкой посуде. 17,5 г KMnO_4 растворить в 1 л дистиллированной воды. К 2,5 частям полученного раствора марганцево-кислого калия прибавить 1 часть 30% серной кислоты. Реактив готовить в день проведения анализа.

Шкалы образцовых растворов фосфора и калия готовят так же, как описано в методе Кирсанова, только вместо 0,2 н. НСІ в качестве растворителя используют 1% раствор углекислого аммония. При приготовлении шкалы сравнения фосфора для калибровки фотоэлектроколориметра из колб с рабочей шкалой образцовых растворов отбирают по 15 мл в 50 мл мерные колбы и доводят до метки раствором реактива Б. При приготовлении шкалы растворов сравнения калия используют мерные колбы на 500 мл. Объемы исходных растворов для построения шкал приведены в таблицах 29 и 30.

Таблица 29 – Шкала для определения подвижных форм фосфора по методу Мачигина

Показатель	Номер образцового раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Объем исходного раствора фосфата, мл	0	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0
Концентрация P_2O_5 в образцовых растворах, мг/50 мл	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
Концентрация P_2O_5 в растворах сравнения, мг/50 мл	0	0,0075	0,0150	0,0225	0,03	0,0450	0,060
Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг	0	10	20	30	40	60	80

**Таблица 30 – Шкала для определения подвижных форм калия
по методу Мачигина**

Показатель	Номер образцового раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Объем исходного раствора КС1, мл	0	1	3	5	10	20	30
Концентрация К ₂ О растворов сравнения, мг/1000 мл	0	1	3	5	10	20	30
Содержание К ₂ О в почве, мг/кг	0	20	60	100	200	400	600

9.2.5. Определение подвижных форм биофильных микроэлементов

Валовое содержание биофильных микроэлементов в почвах составляет единицы, десятки, реже сотни мг/кг (тысячные, десятитысячные и реже сотые доли процента). Диагностика условий питания растений проводится не по валовому содержанию (как и макроэлементов), а по содержанию подвижных форм. Для определения подвижных форм микроэлементов применяют различные экстрагенты (вытяжки), которые зависят как от свойств микроэлемента, так и от свойств почв и, прежде всего, реакции среды и наличия карбонатов. При этом пользуются методами атомной эмиссионной спектроскопии, спектрофотометрии, атомно-абсорбционным методом, классическими химическими методами анализа и др., в зависимости от вида микроэлементов и возможностей (наличия приборов).

Для анализа берут навески, пропущенные через сита с диаметром отверстий 1-2мм, используется бидистиллированная вода, посуда кварцевая или из боросиликатного стекла.

9.2.6. Группировки почв по содержанию подвижных элементов питания

Различные типы почв характеризуются неодинаковым содержанием доступных элементов питания. Сельскохозяйственные культуры предъявляют разные требования к плодородию почв, т.е. к уровню питания. В целях рационального использования плодородия почв и обеспечения растений необходимыми элементами питания выделяют группы почв по содержанию элементов питания для зерновых, кормовых и овощных культур (табл.31, 32).

Таблица 31 – Группировка почв по содержанию обменного калия

Группа почв	Содержание обменного калия	K ₂ O, мг на 100 г почвы			
		по Кирсанову	по Масловой	по Чирикову, для некарбонатных черноземов	по Мачигину, карбонатные черноземы, каштановые и другие почвы
		для дерново - подзолистых и серых лесных почв			
1	Очень низкое	менее 4	менее 5	менее 2	менее 5
2	Низкое	от 4 до 8	от 5 до 10	от 2 до 4	от 5 до 10
3	Среднее	от 8 до 12	от 10 до 15	от 4 до 8	от 10 до 20
4	Повышенное	от 12 до 17	от 15 до 20	от 8 до 12	от 20 до 30
5	Высокое	от 17 до 26	от 20 до 30	от 12 до 18	от 30 до 40
6	Очень высокое	более 25	более 30	более 18	более 40

Таблица 32 – Группировка почв по содержанию подвижного фосфора

Группа почв	Содержание	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы		
		по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
1	очень низкое	менее 2,5	менее 2	менее 1
2	низкое	2,5 – 5	2-5	1,0-1,5
3	среднее	5-10	5-10	1,5-3,0
4	повышенное	10-15	10-15	3,0-4,5
5	высокое	15-25	15-20	4,5-6,0
6	очень высокое	более 25	более 20	более 6,0

При этом эффективность соответствующих удобрений будет тем больше, чем меньше содержание в почве доступного элемента питания и чем выше потребность в них с.-х. культуры.

Таблица 33 – Градации обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов для лесостепной зоны (по Б.А. Ягодину, 1982)

Микроэлемент	Экстрагирующий раствор	Градации обеспеченности, мг/кг				
		Очень бедная	бедная	средняя	богатая	Очень богатая
Mn	0,1 н H ₂ SO ₄	25	25-55	55-90	90-170	170
Zn	1 н KCl	0,15	0,15-0,3	0,3-1,0	1,0-2,0	2,0
Cu	1 н HCl	1,4	1,4-3,0	3,0-4,4	4,4-5,6	5,6
Co	1 н HNO ₃	1,0	1,0-1,8	1,8-2,9	2,9-3,6	3,6
B	H ₂ O	0,2	0,2-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2
Mo	оксалатно-буферный раствор с pH 3,3	0,1	0,1-0,23	0,23-0,38	0,38-0,55	0,55

Контрольные задания.

1. Используя данные таблиц 31-33 дать оценку обеспеченности элементами питания серой лесной почве (табл.34)
2. Определить градации содержания элементов питания и ожидаемую эффективность макро-и микроудобрений для зерновых и пропашных культур (используя данные таблицы 34, заполнить графы.
3. Перечислить названия микроудобрений.

Таблица 34 – Содержание элементов питания в серой лесной почве

Подвижные формы элементов	Содержание, мг/кг	Градация содержания		Ожидаемая эффективность (высокая, средняя, низкая)	
		для зерновых	для пропашных	для зерновых	для пропашных
P ₂ O ₅	115				
K ₂ O	202				
Mn	40,5				
Zn	2,0				
Cu	2,0				
Co	0,8				
B	0,5				
Mo	0,20				

Задачи для самостоятельного решения

Диагностика почв по показателям анализа гранулометрического и химического их состава

Почва как сложное биокосное тело обладает целым рядом свойств, которые служат диагностическими показателями, что позволяет отличить одну почву от другой, т.е. позволяют правильно распознавать почвы при наличии определенных практических навыков. С целью их наработки студент на конкретных почвах, примерах должен научиться читать данные физических, общехимических анализов и валового их состава, правильно их интерпретировать и на этой основе диагностировать почвы.

Поскольку до 90 % вещественного состава почв представлено минеральными веществами, то важное значение имеют данные гранулометрического их состава, что определяет физические свойства почв. Показатели физико-химических свойств почв отражают их эффективное и потенциальное плодородие, а также особенности почвообразовательного процесса. Например, содержание гумуса, поглощенных оснований, катионный состав ППК являются диагностическими показателями и потому в определенной степени позволяют диагностировать почвы.

Контрольные задания:

1. Определить название генетических горизонтов.
2. Определить зону (подзону) формирования почв.
3. Дать краткую характеристику условий образования.
4. Назвать элементарные процессы почвообразования и охарактеризовать сущность этих процессов.
5. Перечислить свойства, лимитирующие урожай культур.
6. Перечислить мероприятия по оптимизации свойств.
7. Диагностировать почву (дать по возможности ее наиболее полное классификационное название) – тип, подтип, род, вид, разновидность (вариант 1-6).

Вариант 1**Таблица 1.1. - Гранулометрический и микроагрегатный состав, %**

Гор.,	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-18	0,15/ 2,18	10,84/ 23,29		41,94/ 53,46			12,65/ 10,54	10,84/ 8,27	23,59/ 2,25
A _п 18-28	0,10/ 2,72	2,82/ 26,90		47,08/ 53,72			12,09/ 8,84	9,46/ 6,49	28,45/ 1,33
A ₂ 28-40	0,05/ 3,46	3,36/ 10,32		41,47/ 70,18			9,22/ 7,14	7,87/ 5,83	38,03/ 3,07
B ₁ 40-70	0,17/ 5,79	1,18/ 33,43		39,54/ 46,99			8,45/ 7,19	7,55/ 3,04	43,11/ 3,56
B ₂ 70-110	0,06/-	4,35/-		35,44/-			10,21	6,37	43,54
BC110-118	0,05	3,85		35,56			9,89	8,57	42,08
C118-150	0,10	4,00		35,70			9,53	10,31	40,36

Таблица 1.2 - Агрохимические свойства

Глубина взятия об- разца в см	Гумус в %	Сумма по- глощённых оснований ммоль/100г	pH		Гидр. Кис- лотность ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-18	2,68	21,68	5,92	7,0	1,20
A _п 18-28	1,73	23,14	5,9	7,1	1,21
A ₂ 28-40	0,78	25,84	5,9	7,2	1,00
B ₁ 40-70		25,91	5,9	7,2	1,22
B ₂ 70-110	-	21,20	5,3	7,3	1,32
BC110-118	-	19,32	4,8	6,7	1,37

Вариант 2

Таблица 2.1 - Гранулометрический и микроагрегатный состав

Гор.	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-20	0,48/ 5,98	19,72/ 21,52		42,90/ 60,0			3,70/ 7,95	14,15/ 4,20	19,05/ 6,35
A _п 20-30	0,08/ - 11,76	24,07/ 25,84		42,50/ 57,45			6,25/ 7,80	7,55/ 6,65	19,55/ 0,50
B ₁ 30-55	0,58/ 5,84	20,82/ 23,16		40,60/ 54,50			11,60/ 8,85	4,70/ 5,60	21,70/ 2,70
B ₁ 55-80	0,14/ 9,22	19,26/ 21,26		40,35/ 53,20			7,05/ 9,75	6,80/ 5,45	26,40/ 1,17
B ₂ 80-120	0,20	28,90		28,55			7,00	7,10	28,25
C120-170	0,06	17,28		30,95			6,45	7,65	26,75

Таблица 2.2 - Агрохимические свойства

Глубина взятия об- разца в см	Гумус в %	Сумма по- глощённых оснований ммоль/100г	рН		Гидр. Кис- лотность ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-20	6,07	34,75	5,44	6,36	3,70
A _п 20-30	4,09	29,08	5,52	6,54	2,55
B ₁ 30-55	2,12	18,89	4,90	6,44	2,25
B ₁ 55-80	0,52	16,97	4,0	5,65	3,80
B ₂ 80-120	0,32	20,52	4,64	7,42	2,27
C120-170	-	-	7,10	7,62	-

Тестовые вопросы по предмету

1. Какой элемент в почве относится к макроэлементам?

1. Азот
2. Марганец
3. Медь

2. Какие элементы в почве относятся к биофильным, а какой нет?

1. Хлор
2. Углерод
3. Титан

3. Какой из четырех основных элементов содержится в почве?

1. Кремний
2. Кальций
3. Калий

4. Валовый химический анализ предусматривает определение химического состава почв в каком виде?

1. Гидроксидов
2. Элементов
3. Оксидов

5. Каким путем определяют валовый состав минеральной части почвы?

1. Растворения
2. Запекание
3. Сплавление

6. Какое вещество нельзя сплавлять в платиновой посуде?

1. Гидрооксиды щелочных металлов
2. Почву
3. Буру

7. В чем преимущество классических химических методов над инструментальными?

1. Производительность
2. Точность опыта
3. Длительность выполнения

8. Какую погрешность имеют инструментальные методы определения химического состава почв?

1. 2 - 3 %
2. 0,1 - 0,2 %
3. 10 - 20 %

9. Какой предел обнаружения обеспечивает атомно-абсорбционный метод?
1. 10 - 1 мкг/см³
 2. 0,1 - 0,01 мкг/см³
 3. 0,001 - 0,0001 мкг/см³
10. Какие фракции почвы выделяют при определении первичных минералов почвы?
1. 0,25-0,05 и 0,05-0,01
 2. 0,5-0,25 и 0,01-0,001
 3. 1-0,25 и 0,001-0,001
11. Какие минералы относятся к первичным?
1. Каолинит
 2. Галлуозит
 3. Полевые шпаты
12. Какие минералы относятся к вторичным?
1. Кварц
 2. Каолинит
 3. Биотит
13. Современный электронный микроскоп позволяет увидеть даже этот объект?
1. Молекулы веществ
 2. Микроорганизмы
 3. Атомы тяжелых металлов
14. Какие фракции изучаются рентгенографическим методом?
1. Илистая
 2. Песчаная
 3. Пылеватая
15. На чем основан рентгенографический метод определения минералов?
1. Строение кристаллической решетки
 2. Размер зерен минералов
 3. Цвет минералов
16. Какая наука возникла на рубеже 20 века?
1. Земледелие
 2. Растениеводство
 3. Почвоведение
 4. Минералогия

17. Какой минимальный объем почвы, горизонтальные размеры которого достаточно большие, чтоб иметь полный спектр вариабельности соотношений генетических горизонтов?

1. Почвенный профиль
2. Почвенный индивидуум
3. Боковые границы почвы
4. Верхняя граница почвы

18. Как называются вертикальные поверхности раздела между соседствующими почвенными индивидуумами?

1. Почвенный профиль
2. Нижняя граница почвы
3. Боковые границы почвы
4. Верхняя граница почвы

19. Как называется оболочка которую формирует почвенный покров?

1. Геосфера
2. Педосфера
3. Биосфера
4. Агросфера

20. К каким природным ресурсам относится почва?

1. Невозобновляемым
2. Легковозобновляемым
3. Возобновляемым
4. Трудновозобновляемым

21. Как называется главная форма существования почвенного тела?

1. Тип
2. Вид
3. Род
4. Разновидность

22. Какой раствор необходим при определении максимальной гигроскопичности на дне эксикатора?

1. K_2SO_4
2. $BaSO_4$
3. $CaCl_2$
4. $NaCl$

23. Какую из гидролитических констант необходимо знать при расчете влажности завядания растений?

1. Наименьшая влагоемкость
2. Влажность разрыва капилляров
3. Максимальная гигроскопичность
4. Полная влагоемкость

24. Какое содержание влаги в почве является для растений оптимальной?

1. 70-100% от НВ
2. 40-50% от НВ
3. 50-60% от НВ
4. 70-100 от ПВ

25. Какой метод основан на извлечении форм фосфора и калия из почвы 1% раствором углекислого аммония?

1. по методу Кирсанова
2. по методу Мачигина
3. по методу Чирикова

26. При каком методе почва изучается в в сочетании всех генетических горизонтов?

1. Профильный метод
2. Метод почвенных ключей
3. Метод режимных наблюдений
4. Метод почвенных монолитов

27. Какой метод основан на способности веществ экстрагировать из почвы различные соединения?

1. Метод почвенных лизиметров
2. Метод режимных наблюдений
3. Метод почвенных вытяжек
4. Стационарные методы

28. В основе какого метода изучается состав почвенных растворов, внутрипочвенного и поверхностного стока, собираемых с определенной площади?

1. Метод почвенных лизиметров
2. Метод режимных наблюдений
3. Метод почвенных вытяжек
4. Стационарные методы

29. Какой метод основан на изучении многолетних режимных наблюдений?
1. Метод почвенных лизиметров
 2. Метод режимных наблюдений
 3. Метод почвенных вытяжек
 4. Стационарные методы
30. Какой метод основан на детальном генетико-географическом анализе небольших репрезентативных участков?
1. Метод почвенных лизиметров
 2. Метод режимных наблюдений
 3. Метод почвенных вытяжек
 4. Стационарные методы
31. Какой метод определения содержания гумуса в почве основан на окислении гумуса 0,4 Н раствором двух хромовокислого калия приготовленного на серной кислоте?
1. Метод Тюрина И.В.
 2. Метод Ганжары Н.Ф
 3. Метод Ваксмана
32. Какой метод основан на отделении легкоразлагаемых органических веществ с помощью тяжелых жидкостей?
1. Метод Тюрина И.В.
 2. Метод Ганжары Н.Ф
 3. Метод Ваксмана
33. Какая кислотность обнаруживается при взаимодействии с почвой растворов нейтральных солей?
1. Обменная кислотность
 2. Актуальная кислотность
 3. Гидролитическая кислотность
34. При каком рН кислотность обусловлена главным образом обменным водородом?
1. >4
 2. 4-6
 3. 4-5,5
35. При каком рН кислотность обусловлена еще и обменным аллюминием?
1. >4
 2. 4-6
 3. 4-5,5

36. Какая соль вытесняет почти весь поглощенный водород?

1. KCl
2. MgCl
3. CH₃COONa

37. Какой метод основан на окислении углерода хромовой смесью в сильноокислой среде при нагревании до 150 °С в сушильном шкафу?

1. Метод Тюрина И.В.
2. Метод Ганжары Н.Ф
3. Метод Никитиной Б.А.

38. Какой метод основан на извлечении подвижных фосфора и калия из почвы 0,2 Н раствором соляной кислоты?

1. Метод Кирсанова
2. Метод Мачигина
3. Метод Чирикова

39. Какой метод основан на извлечении подвижного фосфора из почвы 0,5Н раствором уксусной кислоты?

1. Метод Кирсанова
2. Метод Мачигина
3. Метод Чирикова

40. Какой метод используют при определении подвижного фосфора в почвах с кислой реакцией среды?

1. Метод Кирсанова
2. Метод Мачигина
3. Метод Чирикова

Список литературы:

1. Быстрицкая Т. Л. Почвенные растворы черноземов и серых лесных почв / Т. Л. Быстрицкая, В. В. Волкова, В. В. Снакин. - М.: Наука, 1981. - 148 с.
2. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. Издательство: АН СССР, 1952 - 897 с.
3. Ганжара Н.Ф. Почвоведение.- М.: Агроконсалт, 2001. - 392 с.
4. Давлятшин И.Д., Гилязов М.Ю., Лукманов А.А. и др. Справочник агрохимика. Под. ред. И.Д. Давлятшина – Казань: ИД МедДоК, 2013. - 300 с.
5. Ковда В.А. Почвоведение / В.А. Ковда; под ред. Б.Г. Розанова // Почва и почвообразование. - М.: Высшая школа, 1988а.- Ч.1. - 400с.
6. Ковда В.А. Почвоведение / В.А. Ковда; под ред. Б.Г. Розанова // Типы почв, их география и использование. - М.: Высшая школа, 1988.- Ч.2. - 368с.
7. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России / Когут Б.М. // Почвоведение. - 2012. - №9 - С. 944–952
8. Муртазина С.Г., Муртазин М.Г. «Почвоведение с основами геологии», Казань: Изд. Казанского ГАУ, 2012. - 356с.
9. Минашина Н.Г. Мелиорация засоленных почв. М.: Колос, 1973. 272 с.
10. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. - СПб, КВАДРО, 2013.- 680 с.
11. Муха Д.В. Агропочвоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, - М.: КолосС, 2003.-528с.
12. Практикум по агрохимии. Под. ред. В.Г. Минеева. - М.: Изд-во МГУ, 2001. - 689с.
13. Семендяева Н.В. Методы исследования почв и почвенного покрова: учеб. пособие/Н.В. Семендяева, А.Н. Мармулев, Н.И. Добротворская; Новосиб. гос. аграр. ун-т, СибНИИЗиХ. - Новосибирск: Издво НГАУ, 2011. - 202 с
14. Чекмарев П.А. Справочник агрохимика Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин [и др.]; под ред. акад. РАСХН П.А. Чекмарева. - Казань: [б. и.]. – 2015. – 324 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	3
1.	Характеристика почвы, как объекта исследований.	4
	Пространственная неоднородность почвы и применение методов в почвенных исследованиях	
1.1.	Методология в почвоведении	6
1.2.	Методы почвоведения	8
2.	Методы определения элементного состава почв	9
2.1.	Химический состав почв	9
2.2.	Химические элементы и их соединения в почвах	13
2.3.	Методы химического анализа почвы	15
2.4.	Валовой химический состав почв и интерпретация результатов анализа	16
3.	Содержание тяжелых металлов (ТМ) в почвах	17
3.1.	Градации содержания в почве тяжелых металлов	17
3.2.	Эколого-токсикологическая оценка содержания тяжелых металлов в системе почва – растение	19
4.	Методы изучения минерального состава почв	22
4.1.	Минералогический состав	22
4.2.	Способы изучения первичных минералов	24
4.3.	Минералогический состав почвообразующих пород	25
4.4.	Вторичные минералы	26
4.5.	Минералы гидроксидов железа и алюминия	27
4.6.	Электронно-микроскопический метод	28
4.7.	Рентгенографический метод	29
5.	Методы изучения передвижения почвенной влаги и водного режима	30
5.1.	Изменение водопроницаемости во времени	30
5.2.	Водоподъемная способность почвы	31
5.3.	Поведение и состояние воды в почве	32
5.4.	Потенциал почвенной воды	36
5.5.	Сосущая сила в почве	36
5.6.	Доступность воды для растений	37
5.7.	Вода в почвах. Категории почвенной влаги	38
5.8.	Водоудерживающая способность и влагоемкость почвы	41
5.9.	Почвенно-гидрологические константы	42
5.10.	Определение максимальной гигроскопичности почвы (МГ) и влажности завядания растений (ВЗР)	43
5.11.	Определение капиллярной влагоемкости почвы	44
5.12.	Определение полной влагоемкости почвы	45
5.13.	Определение наименьшей влагоемкости почвы	45
5.14.	Определение полевой влажности почв	45
6	Методы изучения гумусного состояния почв	46

6.1.	Группы организмов в процессах трансформации органического вещества в почве	47
6.2.	Почвенные ферменты	48
6.3.	Специфические гумусовые вещества	49
6.4.	Гумусовое состояние почв	51
6.5.	Экологическая роль гумуса	52
6.6.	Определение содержания гумуса в почве по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова	53
6.7.	Определение углерода гумуса по методу Б.А. Никитина	54
6.8.	Определение легкоразлагаемого органического вещества по методу Н.Ф. Ганжары	55
6.9.	Агроэкологическая оценка гумусового состояния почв агроландшафтов в интенсивном земледелии	56
7.	Методы изучения сорбционных (поглотительных) взаимодействий	58
7.1	Поглотительная способность почв	58
7.2.	ППК и почвенные коллоиды	59
7.3.	Строение и заряд почвенных коллоидов	60
7.4.	Сорбционные процессы в почвах	60
7.5.	Сорбция анионов почвами	63
7.6.	Физическое состояние почвенных коллоидов	64
7.7.	Кислотность и щелочность почв	65
7.8.	Буферность почвы	69
7.9.	Определение обменной кислотности почвы по величине рН	70
8.	Почвенный раствор, методы выделения и изучения химического состава	71
8.1.	Почвенный раствор	71
8.2.	Методы выделения почвенных растворов	71
8.3.	Химический состав почвенных растворов	72
8.4.	Динамика концентрации почвенного раствора	74
8.5.	Почвенные растворы и продукционный процесс	75
9.	Биологический круговорот химических элементов в почве. принципы и методы агроэкологического мониторинга почв	77
9.1.	Роль биологического круговорота веществ в почвообразовании	77
9.2.	Определение обеспеченности почв элементами питания	79
9.2.1.	Определение щелочногидролизуемого азота по Корнфилду	79
9.2.2.	Определение подвижных форм фосфора по методу Кирсанова (ГОСТ 26207)	80
9.2.3.	Определение подвижных форм фосфора и калия в почве по методу Чирикова (ГОСТ 26204)	82
9.2.4.	Определение подвижных форм фосфора и калия в почве по методу Мачигина (ГОСТ 26 250)	83

9.2.5. Определение подвижных форм биофильных микроэлементов	85
9.2.6. Группировки почв по содержанию подвижных элементов питания	85
Задачи для самостоятельного решения	87
Тестовые вопросы по предмету	90
Список литературы	96