Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. И. ЮСОВ

АГРОХИМИЧЕСКАЯ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 631.81: 631.4 (075.5)

Рецензент
кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии
Е. А. Барановская

Юсов, А. И.

Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 96 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке и выполнению практических занятий для направления подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, форма обучения очная.

Табл. 3, список лит. – 2 наименования

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой агрономии и агроэкологии 26 сентября 2022 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 сентября 2022 г., протокол № 10

УДК 631.81: 631.4 (075.5)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Юсов А. И., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…… 4
1. Методические рекомендации по изучению дисциплины……..… 6
2. Методические рекомендации по подготовке и выполнению практических занятий……. 75
3. Учебная литература и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента……...……. 92
4. Методические рекомендации по подготовке к текущей аттестации…… 93
Библиографический список……...…….. 95

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины является формирование систематизированных знаний, умений и навыков в области агрохимической и агроэкологической оценки почв, являющихся основой для решения профессиональных задач агропочвоведения и агроэкологии, а также компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО. Дисциплина формирует у обучающихся базовые знания в области теоретических основ питания растений, свойств почв; в области физических, химических, экологических и биологических факторов формирования и эволюции почв агроценозов в условиях активного землепользования.

Дисциплина «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв» относится к модулю «Управление почвенными ресурсами» основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение.

При реализации дисциплины «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв» организуется практическая подготовка путем проведения практических и лабораторных работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате обучения по дисциплине «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв» обучающийся должен:

знать:

– оптимальные параметры агрохимических, агрофизических, биологических и агроэкологических свойств почв для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах;

– основы минерального питания сельскохозяйственных культур в различные периоды их роста и развития;

– экологические аспекты применения средств химизации в земледелии; стандарты на удобрения, химические мелиоранты и растениеводческую продукцию;

уметь:

– определять агрохимические и агроэкологические показатели почв, органических и минеральных удобрений, агромелиорантов;

– организовывать и проводить агрохимические и агроэкологические исследования почв, органических и минеральных удобрений,

– агромелиорантов; анализировать трансформацию и миграцию элементов питания в почве;

владеть:

– современными методами анализа почв, растений и других сельскохозяйственных объектов.

Для успешного освоения дисциплины «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и имеющие положительные оценки.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 1.

Таблица 1. Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Количество ч
1	Введение в дисциплину. Основные агрохимические и агроэкологические характеристики почв	4
2	Методы агрохимической и агроэкологической оценки почв	2
3	Морфологические признаки и водно-воздушные свойства почв	2
4	Физико-химические характеристики почвы	2
5	Состав гумуса и методы его изучения	4
6	Соединения азота и методы его определения	2
7	Соединения фосфора и калия и методы их определения	2
8	Соединения микроэлементов и методы их определения	2
9	Агрономическая классификация и типология почв	2
Итого		22

Тема 1. Введение в дисциплину. Основные агрохимические и агроэкологические характеристики почв

Ключевые вопросы темы

Минеральный состав почвы. Органическое вещество. Органоминеральные соединения. Почвенные растворы. Почвенный воздух. Почвенная биота.

Методические рекомендации

Минеральный состав почвы. Минеральный состав составляет 90–99 % массы почвы и имеет сложный минералогический и химический состав. В состав почвы входят различные по химическому составу почвенные минералы: силикаты (кремнекислородные соединения), алюмосиликаты (алюмокремне-

кислородные соединения), аморфные и кристаллические гидроксиды алюминия, железа и кремния, а также различные минеральные соли.

Наиболее распространенный в почве первичный кремнекислородный минерал кварц (SiO_2, диоксид кремния) содержится преимущественно в виде частиц песка (от 0,01 до 1,0 мм) и пыли (от 0,001 до 0,05 мм). Содержание его во всех почвах превышает 60 %, а в наиболее легких (песчаных) – 90 %. Кварц отличается большой механической прочностью и устойчивостью к выветриванию, весьма инертен и в обычных условиях не участвует в химических реакциях и сорбционных процессах в почве.

Первичные алюмосиликатные минералы (полевые шпаты и слюды) обычно присутствуют в почве в виде частиц пыли и реже – в виде илистых (0,001 мм) частиц. Широко распространены калиевые и натриево-кальциевые полевые шпаты (ортоклазы и плагиоклазы), в меньшей степени калийная и железисто-магнезиальная слюды (мусковит и биотит).

Вторичные, или глинистые, минералы, образующиеся в процессе выветривания и почвообразования при изменении полевых шпатов и слюд, находятся в почве преимущественно в виде мелкодисперсных илистых и коллоидных (0,0001 мм) частиц. По своей химической природе они относятся к гидроалюмосиликатам, а по строению кристаллической решетки, степени дисперсности подразделяются на три группы: каолинитовую, монтмориллонитовую и гидрослюды. Они состоят главным образом из кремния, алюминия, кислорода и водорода, но в небольшом количестве содержат также кальций, магний, калий, железо в потенциально доступной растениям форме. Они обладают большой суммарной поверхностью и высокой поглотительной способностью, при этом трехслойные минералы группы монтмориллонита способны к набуханию и обладают наибольшей поглотительной способностью.

В почве всегда присутствуют труднорастворимые соли фосфорной кислоты (фосфаты кальция, магния, железа и алюминия), а в некоторых почвах может содержаться значительное количество малорастворимых карбонатов кальция, магния и сульфата кальция.

Минеральный состав почвы формируется из унаследованных из материнской породы литогенных минералов и вновь образованных педогенных минералов в результате выветривания. В выветривании участвуют физические, химические и биологические процессы.

Физическое выветривание приводит к измельчению породы при механическом воздействии: растрескивание и истирание породы, возникновение мономинеральной смеси и ее кристаллизация, отслаивание и т. д.

Химическое выветривание ведет к переходу элементов, образующих минерал из его кристаллической решетки в раствор с последующим возможным образованием педогенных минералов (глин, карбонатов, оксидов и др.). В результате гидролиза в растворах минеральных и органических кислот, которые являются важнейшим метаболитом микробного населения почвы и почвенной растительности, происходит замена катионов металлов породообразующих минералов на протоны.

Эмпирически установлена следующая устойчивость минералов к выветр-

риванию: оливин < гранат < пироксен < амфибол < биотит < плагиоклаз < ортоклаз < мусковит < кварц.

Органическое вещество почвы. Органическим веществом почвы называют всю совокупность органических соединений, присутствующих в почвах: органические остатки – ткани растений и животных, частично сохранившие исходное анатомическое строение; и гумус – отдельные органические соединения специфической и неспецифической природы. Содержание органического вещества в почвах колеблется от 0,5–3 % в дерново-подзолистых почвах и сероземах до 10–12 % в типичных черноземах.

Органическая часть почвы рассматривается отдельно от неорганической части и живых организмов. Она включает вещества, относящиеся по химическому составу и строению к различным классам соединений.

Разложение азотистых соединений (белка и нуклеиновых кислот) осуществляется аэробными и анаэробными аммонификаторами, деятельность которых оценивается по образованию аммиака, в результате пептолитического пути. Деградация доминирующих в растительных остатках нерастворимых безазотистых соединений осуществляется в сахаролитическом пути.

Растительные остатки представляют сложную смесь быстро и медленно деградируемых соединений. Растительный опад с мягкими тканями быстро подвергается разложению группировкой микроорганизмов, участвующих в компостировании, включающей как аэробные, так и анаэробные формы, например, гетероферментативные молочнокислые бактерии, маслянокислые бактерии, в основном использующие углеводы с образованием консервирующих органических кислот.

Из легкоразлагаемых углеводов первое место занимает крахмал как запасное вещество с группировкой аэробных и анаэробных бактерий.

Более устойчивы к разложению структурные компоненты растительной ткани, как пектин. Имеется специализированная группа бактерий, осуществляющая мацерацию растительной ткани и представленная бактериями мочки льна. Защитные слизи и камеди разлагаются медленнее, но и здесь действует специфическая группировка пуллуланолитических бактерий с гидролитическим ферментом пуллуланазой. В слизетечениях развивается *Leuconostoc,* в свою очередь образующий слизь.

Полиглюкоза представлена растворимыми легкодоступными соединениями, например, крахмалом, и труднодоступными нерастворимыми компонентами оболочек, прежде всего целлюлозой.

Целлюлоза имеет молекулярный вес около миллиона, β-1,4 – связь в цепочке и водородные связи между параллельными цепочками. Гидролизуется целлюлоза целлюлазным комплексом, который осуществляет сначала разрушение кристаллической структуры, затем деполимеризацию цепочки на дисахарид целлобиозу экзоглюканазой или целлодекстрины эндоглюканазой. Целлобиоза гидролизуется целлобиазой с образованием глюкозы, которая может транспортироваться в клетку.

Гемицеллюлозы представляют сборную группу полимеров гексоз, пентоз, уроновых кислот. Обычно доминируют ксилоза и манноза. Гемицеллю-

люлозы легко гидролизуются, но в природе они обычно связаны с другими полимерами, и их разложение затруднено.

Ксилан представляет гетерополимер из цепи ксилозы с арабинозой, глюкозой, галактозой, и другими сахарами как боковыми цепями. Типичной группировкой бактерий, деградирующих ксилан, являются клостридии *Clostridium polysaccharonium, C.cellulovorans, C.xylanoliticum, C.xylanovorans,* а также представители родов *Eubacterium, Fibrobacter, Butyrivibrio, Selenomonas, Thermotoga.* Он относительно легко сбраживается анаэробными организмами, которые используют широкий набор олигосахаридов, образующихся после гидролиза ксиланазами.

Лигнин – это разветвленный полимер фенилпропаноида, который образуется химической поликонденсацией фенола под действием свободного радикала и не имеет закономерного строения. Он связывается с целлюлозой и гемицеллюлозами, инкрустируя их. В результате получается устойчивое, вследствие своей гетерогенности и неупорядоченности, соединение, которое не поддается прямому энзиматическому гидролизу. Деградация лигнина осуществляется почти исключительно аэробными микроорганизмами. Деградацию лигнина осуществляют грибы *Polyporus, Pleurotus, Phanerochaete.*

Продукты деградации лигнина, в том числе ароматические соединения, доступны как аэробным, так и анаэробным бактериям. Анаэробное разложение полученных из лигнина соединений может осуществляться в условиях денитрификации, сульфидогенеза и метаногенеза.

Альтернативой гидролитическому пути разложения лигнина служит процесс его аэробного разложения экзоферментами, использующими H_2O_2, как источник активного кислорода, образующийся при дыхании клетки, он носит общее название соокисления труднодоступных субстратов и распространен преимущественно у грибов.

Органоминеральные соединения в почве. Органоминеральные соединения – это все виды продуктов взаимодействия лабильных веществ почвы или специфических гуминовых веществ с любыми минеральными компонентами: катионами металлов, гидроксидами, органическими анионами, силикатами.

Значение реакций взаимодействия между органическими и минеральными компонентами почвы можно охарактеризовать следующими положениями:

• минералы почвообразующей породы преобразуются под влиянием органических веществ;

• органические вещества способствуют растворению многих минеральных соединений, переводя химические элементы в миграционно-способное и доступное растениям состояние;

• органические вещества образуют покрытия на поверхности почвенных частиц или труднорастворимые соединения с рядом элементов, ингибируя тем самым процессы выветривания; следовательно, влияние органоминеральных взаимодействий на почвенные процессы может быть противоречивым;

• участвуя в окислительно-восстановительных реакциях, органические

вещества прямо или косвенно влияют на окислительное состояние минеральных соединений;

• следствием органоминеральных взаимодействий является формирование почвенных агрегатов.

Частным случаем органоминеральных соединений являются продукты взаимодействия органических веществ с почвенными минералами; обычно имеются в виду глинистые минералы – слоистые алюмосиликаты. Эти вещества называются почвенными минералогическими соединениями (или веществами).

Связывание органических соединений с глинистыми минералами происходит на поверхности раздела фаз. Особое значение имеет прочное взаимодействие гуминовых веществ с глинистыми минералами. Во взаимодействии с отрицательно заряженными минералами участвуют аминогруппы, образующие ионную связь, металлоорганические комплексы многовалентных металлов, образующие мостик между отрицательно заряженной поверхностью глинистого минерала и карбоксильной группой гуминовой кислоты. Водородные связи определяют связывание полимеров, например реакционноспособной бактериальной слизи, с поверхностью глинистых частиц, и поэтому биологическая активность в почве приводит к образованию стойких органоминеральных соединений.

Почвенные растворы. Почвенный раствор – это жидкая фаза почвы в природных условиях. Состав почвенных растворов меняется в очень широких пределах – в незасоленных почвах концентрация почвенного раствора находится в диапазоне от 5–7 до 100–150 мг-экв/л катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, NH_4^{+}) и анионов (HCO_4^{-}, $SO4_2^{-}$, NO_3^{-}, Cl^{-}). При снижении влажности почвы концентрация ионов Na^{+}, Cl^{-}, NO_3^{-} пропорционально возрастает, а обусловленная произведением растворимости фосфатов кальция концентрация фосфат-иона, остается более стабильной. Поэтому свойства растворов зависят от того, в каких формах находятся в них различные ионы и вещества.

В состав почвенных растворов входят незаряженные (нейтральные) молекулы, ионы и ионные пары, тройники и другие ассоциаты ионов. Ионные пары возникают за счет электростатического взаимодействия зарядов ионов и сольватации. Образование ионных пар характеризует неполную диссоциацию сильного электролита; например, в растворе могут возникать незаряженные молекулы $CaCO_3$.

Одним из характерных свойств органического вещества почвы является амфифильность – проявляет как гидрофобные (отталкивать воду), так и гидрофильные (притягивать, соединяться с молекулами воды) качества.

Полный анализ почвенных растворов основан на определении активности ионов и солей и учета всех, образующихся в растворе ассоциатов.

Предложено несколько принципиально различных способов выделения почвенного раствора:

1) вытеснение почвенного раствора водой или другими жидкостями;

2) отделение при центрифугировании;

3) отжимание почвенных растворов в специальных пресс-формах при

высоком давлении;

4) имитация почвенных растворов путем получения водных вытяжек;

5) получение растворов с помощью лизиметров.

Все способы выделения почвенного раствора трудоемки и длительны. Но, ни один из методов не гарантирует полной тождественности составов нативного почвенного раствора и раствора, выделенного из почвы.

Несовершенства и принципиальные трудности методов выделения почвенных растворов заставили искать иные пути познания этой важнейшей фазы почв. Были разработаны два новых подхода:

1) измерение свойств почвенных растворов непосредственно в живой почве *in situ* с помощью ионоселективных электродов;

2) эмпирический подбор таких растворов, состав которых не изменяется после взаимодействия с почвой.

При достаточно надежной технике измерения состав таких растворов можно с высокой степенью достоверности приравнять к составу нативных почвенных растворов.

Почвенный воздух. Состав почвенного воздуха существенно отличается от атмосферного – азот и аргон (78,0–80,2 4%), кислород (20,90 %), диоксид углерода (0,03 %), другие газы (0,01 %) и отличается значительным непостоянством в зависимости от процессов почвообразования или влияния антропогенной составляющей на эти процессы.

Почвенное дыхание составляет одно из звеньев в цепи глобального биогеохимического круговорота углерода и кислорода. Термин «дыхание почвы» вошел в употребление как один из показателей почвенного газообмена. Стремление отобразить разные стороны многосложного природного процесса образования и выделения, перемешивания, перемещения и поглощения газов внутри почвы и их обмен с атмосферой привело к использованию одного и того же термина в различных аспектах:

– ритмичный воздухообмен между почвой и атмосферой, происходящий под влиянием изменений температуры почвы и атмосферного давления;

– суммарное выделение углекислого газа с поверхности почвы (эмиссия);

– микробиологическая (биохимическая, биологическая) активность почвы;

– скорость минерализации почвенного органического вещества.

Ниже остановимся отдельно на каждой категории участвующих в едином процессе компонентов.

Почвенно-физические и геологические составляющие газообмена. Почва представляет собой распределенную в пространстве многокомпонентную, динамическую систему. Ее состояние в каждый конкретный момент времени определяется количественным соотношением и характером взаимодействия между газообразной, твердой и жидкой составляющими. При постоянной мощности внутрипочвенных источников и стоков, газообмен с атмосферой будет зависеть от физической природы сил поверхностного взаимодействия и механизмов массопереноса в жидкой и газовой фазах. При обычных колебани-

ях температуры почвы и атмосферного давления воздухообмен (замещение верхних слоев почвенного воздуха атмосферным) может составить 2–7 %. Основные механизмы транспорта CO_2 и O_2 в почвенном профиле представлены конвективным и диффузионным переносом в жидкой и газовой фазах. Однако в узких порах с размером поперечного сечения канала, сравнимым с длиной свободного пробега молекул, поведение газов может резко изменяться [58].

Механизм молекулярной диффузии газов в почвах считается преобладающим. В качестве альтернативы могут рассматриваться конвективный циркуляционный перенос или неизотермический ротационный воздухообмен.

Биологические факторы почвенного дыхания. В глобальном масштабе поступление CO_2 в атмосферу за счет дыхания подземных органов растений оценивается величиной в 30 % от суммарной эмиссии.

В почве подземные органы растений, мелкие почвенные животные и микроорганизмы представляют биологический источник углекислого газа и являются потребителями кислорода. Экспериментально определить отдельно долю каждой функциональной группы биоценоза в общем потоке CO_2 в атмосферу довольно трудно. Дыхание подземных органов растений в агроценозах может составлять до 30–40 % от общего почвенного потока углекислого газа.

Мелкие почвенные животные благодаря большой численности вносят существенный вклад в дыхание почвы. Так, дыхание беспозвоночных в почвах пятнистой тундры составляло 4,5–19,0 мл $CO_2/м^2/ч$, а в лесных почвах 17–25 мл $CO_2/м^2/ч$ [15]. Для почв под естественной растительностью доля дыхания корней в общей эмиссии углекислого газа имеет более широкий диапазон, от 17–20 до 90 %. Особенно высок вклад корней в дыхание почв влажных широколиственных лесов. С увеличением увлажненности местообитания возрастают общий запас подземных органов растений и интенсивность почвенного дыхания.

Ферментативные процессы и почвенный газообмен. Во многих ферментативных реакциях принимают участие в качестве исходных или конечных продуктов газообразные вещества, такие как кислород, углекислый газ, аммиак, которые оказывают влияние на состав почвенного воздуха и, соответственно, на условия газообмена.

С участием ферментов (энзимов) в почве осуществляется большое количество биохимических реакций. Они отвечают за гидролиз сложных и простых органических соединений, окислительно-восстановительную обстановку, синтез и преобразование гумуса, обеспечение растений доступными веществами и т. п. Особую роль выполняют иммобилизованные на минеральных, органоминеральных и органических частицах почвы ферменты, образуя постоянно действующую, стабильную биохимическую систему. Благодаря специфическим свойствам они во много раз ускоряют протекание реакций при обычной температуре и давлении.

Скорость различных ферментативных реакций определяется общей биологической (биохимической) активностью почв по уровню содержания ферментов. Для оценки интенсивности ферментативных реакций часто используется показатель уреазной активности, осуществляющей в почве разложение

мочевины с выделением углекислого газа и аммиака.

За счет биохимических реакций в почвах может быть достигнут высокий уровень продуцирования CO_2, сравнимый с величинами эмиссионных потоков, при увеличении содержания субстрата (в частности, мочевины). Внесение органических удобрений стимулируют как микробиологическую деятельность, так и биохимическую (ферментативную) активность.

Почвенная биота. Почва как среда обитания организмов представляет гетерогенную систему, включающую почвенный воздух, почвенную влагу, минеральные частицы. Группы животных, населяющих почву, многочисленны, разнообразны и специфичны для разных типов почв. Они могут служить надёжным диагностическим признаком почвообразовательного процесса.

В большинстве случаев группы почвообитающих животных сосредоточены в гумусовых горизонтах почв, причем, чем больше гумуса, тем обильнее и разнообразнее почвенная фауна. Но прямая связь здесь отсутствует – есть почвы, очень бедные гумусом (серозёмы, красно-бурые саванные и др.) и, одновременно, очень богатые почвенной фауной.

Образование гумуса есть побочный результат незамкнутости цикла углерода в наземных экосистемах и агроценозах, возникающего на основе дисбаланса между продукционной ветвью фотосинтезирующих наземных организмов, способных выносить фотосинтезирующий аппарат в аэротоп (от лишайников и мхов до деревьев и трав) и деградационной ветвью, обусловленной деятельностью микроорганизмов.

В корнеобитаемом слое появляется структура, обусловленная корневой сетью, и измененным гидрологическим режимом. Растение пересекает две среды обитания и становится мощным транспортным агентом для потоков вещества. Растение создает своей корневой системой особую область для развития микроорганизмов. В первую очередь это обусловлено эвапотранспирацией растения, обеспечивающей движение почвенного раствора корнями. Следующим фактором служат корневые выделения, обеспечивающие рост органотрофных организмов ризосферы. Далее, растение вступает в симбиотические отношения, прежде всего с грибами-микоризниками, но также и с симбиотическими бактериями – фиксаторами азота.

В почвенно-растительном покрове следует различать фотоавтотрофную наземную часть, дополняемую гетеротрофной подземной корневой частью растения, и органотрофную группировку грибов и бактерий. Фотоавтотрофы осуществляют фотосинтез только в дневные часы и зависят от света. Гетеротрофное дыхание идет круглосуточно. Органотрофы действуют круглосуточно, а также вне вегетационного сезона, разлагая листовой и корневой опад. Разложение лигноцеллюлозы осуществляется в первую очередь грибами.

Физические условия существования в почве с пористым пространством между минеральными частицами и недостатком влаги обусловливают преимущества для микроорганизмов с мицелиальным строением. Мицелий может обволакивать твердые растительные остатки и осуществлять гидролиз в непосредственном контакте с ними. Поэтому почву можно рассматривать как растительно-грибную систему. Бактерии развиваются в почвенной влаге и обра-

зуют биопленки на поверхности минеральных и органических частиц.

Совокупная деятельность почвенной биоты оценивается по газообмену – выделению углекислоты. В продукционной части цикл углерода оценивается интегрально во времени по нетто-продукции, т. е. накопленной массе органического вещества. Деградационную ветвь можно оценивать по разности между первичной продукцией и нетто-продукцией. Прямыми способами являются определение скорости фотосинтеза по поглощению CO_2, содержание которой в воздухе мало, и деструкции – по выделению CO_2 – «дыханию почвы».

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику составляющих минерального состава почв.
2. Какова роль процессов выветривания в формировании минерального состава почв?
3. Дайте характеристику лабильных соединений, какова их роль в формировании органического вещества почвы?
4. Дайте характеристику процессам деградации растительной мортмассы.
5. В чем заключается сущность целлюлозолитического маршрута трансформации органического вещества почвы?
6. Дайте характеристику процессу дезинтеграции лигнина.
7. Каково значение реакций взаимодействия между органическими и минеральными компонентами почвы?
8. Какова роль глинистых минералов в формировании органоминеральных соединений почвы?
9. Дайте характеристику составу почвенных растворов.
10. Объясните сущность понятия «амфифильность».
11. На чем основан полный анализ почвенных растворов, и каковы способы выделения почвенного раствора?
12. Какие процессы характеризует активность иона в почвенном растворе?
13. Какими показателями оценивается обеспеченность растений элементами питания?
14. Дайте характеристику составляющих газообразной фазы почв.
15. Дайте характеристику понятию «дыхание почв».
16. Какие процессы лежат в основе газообмена в почве, объясните зависимость газообмена почвы с атмосферой при постоянной мощности внутрипочвенных источников?
17. Какова роль биологических факторов в почвенном дыхании?
18. Поясните влияние газообмена в ферментативных реакциях почвы.
19. Дайте характеристику влияния почвенных животных на формирование почвенных агрегатов.

Тема 2. Методы агрохимической и агроэкологической оценки почв

Ключевые вопросы темы

Химические методы анализа. Инструментальные методы анализа. Методы, основанные на взаимодействии частиц с магнитными полями. Электрохимические методы анализа. Радиометрические методы анализа.

Методические рекомендации

В практике агрохимической и агроэкологической оценки почв наибольшее распространение получил количественный анализ. С помощью количественного анализа находят массовые соотношения между элементами и соединениями, определяют количество растворенного вещества, содержание элемента в однородной смеси веществ.

Химические методы анализа. *Гравиметрический анализ.* В ходе гравиметрического определения различают следующие операции: отбор средней пробы вещества и подготовку ее к анализу; взятие навески; растворение; осаждение определяемого элемента (с пробой на полноту осаждения); фильтрование; промывание осадка (с пробой на полноту промывания); высушивание и прокаливание осадка; взвешивание; вычисление результатов анализа.

Гравиметрический анализ включает в себя несколько методов.

Метод осаждения. Сущность метода состоит в том, что навеску анализируемого вещества растворяют в воде (или в другом растворителе) и осаждают определяемый элемент реактивом в виде малорастворимого соединения. Полученный осадок отфильтровывают, промывают, высушивают, прокаливают и взвешивают. Зная массу осадка, вычисляют содержание определяемого элемента (или вещества) в массовых долях (%) от взятой навески.

Метод выделения. Основан на выделении определяемого компонента из анализируемого вещества и точном взвешивании его.

Метод отгонки. При применении этого метода определяемый компонент выделяют в виде летучего соединения действием кислоты или высокой температуры на анализируемое вещество.

Титриметрический анализ. Анализ основан на точном измерении объема раствора реактива, затраченного на реакцию с определяемым компонентом. В титриметрическом анализе используют титрованные растворы (титранты, рабочие растворы), концентрации (титр) которых точно известен. При титровании употребляют количество реактива, эквивалентное определяемому веществу (т. е. точно отвечающее стехиометрии реакции) до определения точки эквивалентности.

В точке эквивалентности количество вещества, израсходованного на реакцию, всегда точно равно количеству вещества в анализируемом растворе. Точку эквивалентности устанавливают по изменению окраски индикатора (индикаторный способ), изменению электрической проводимости или других свойств раствора (физико-химические способы).

В агрохимической оценке почв титриметрический анализ применяется шире, чем гравиметрия. Он получил широкое распространение при изучении обменной кислотности, емкости поглощения, суммы поглощенных оснований, щелочности, содержания в почвах подвижного натрия, хлорид-ионов и магния в водной вытяжке.

По типу используемых химических реакций методы титриметрического

анализа разделяют на три группы:

1. Методы кислотно-основного и осадительного титрования, основанные на реакциях соединения ионов;

2. Методы окислительно-восстановительного титрования, основанные на реакциях окисления-восстановления;

3. Методы комплексометрического (хелатометрического) титрования, основанные на реакциях комплексообразования.

Метод кислотно-основного титрования (или нейтрализации). Метод основан на взаимодействии кислот с основаниями или на соединении протонов с гидроксид-ионами. Метод позволяет определять в растворах не только концентрацию кислот (алкалиметрия) или оснований (ацидиметрия), но и концентрацию гидролизущихся солей. Точку эквивалентности определяют по изменению окраски индикатора (метилового оранжевого, метилового красного, фенолфталеина).

Метод осадительного титрования. Определяемый элемент, взаимодействуя с титрованным раствором, может осаждаться в виде малорастворимого соединения, которое, изменяя свойства среды, позволяет тем или иным способом определить точку эквивалентности. Названия титриметрическим методам осаждения дают в зависимости от применяемого титранта: аргентометрия – если используют раствор нитрата серебра $AgNO_3$, тиоцианатометрия – раствор тиоцианата аммония NH_4SCN и т. д.

Метод комплексометрического титрования объединяет титриметрические определения, основанные на образовании малоионизирующихся комплексных ионов (или молекул). С помощью этих методов определяют различные катионы (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Zn^{2+}, Hg^{2+}, Al^{3+}) и анионы (CN^-, F^-, Cl^-), обладающие свойством вступать в реакции комплексообразования. В последнее время получили распространение методы анализа, основанные на взаимодействии катионов с органическими реактивами – комплексонами. Такое титрование называют комплексонометрическим, или хелатометрическим.

Методы окислительно-восстановительного титрования (редоксметоды) основаны на окислительно-восстановительных реакциях между анализируемым веществом и титрованным раствором. Их используют для количественного определения в растворах различных восстановителей (Fe^{2+}, $C_2O^{2-}_4$, NO^-_2 и др.) или окислителей ($Cr_2O^{2-}7$, Mn^-_4, ClO^-_3, Fe^{3+} и др.).

Названия отдельных редоксметрических методов также происходят от наименований титрованных растворов:

1. Перманганатометрическое титрование – титрантом является перманганат калия, играющий в реакциях роль окислителя;

2. Йодометрическое титрование – метод основан на том, что свободный йод I_2 в реакциях ведет себя как окислитель, а ион I^- – как восстановитель; индикатором служит раствор крахмала;

3. Дихроматометрическое титрование – метод основан на окислении веществ титрованным раствором дихромата калия $K_2Cr_2O_7$.

Инструментальные (физико-химические и физические) методы анализа. *Оптические методы* анализа основаны на измерении оптических пока-

зателей анализируемых веществ, на изучении взаимодействия электромагнитного излучения с атомами или молекулами вещества, сопровождающегося излучением, поглощением или отражением лучистой энергии.

К оптическим методам относятся эмиссионный спектральный анализ, фотометрические методы (колориметрия, спектрофотометрия, турбидиметрия, нефелометрия), эмиссионная пламенная фотометрия, атомно-абсорбционный и люминесцентный методы, рентгеноспектральный анализ, магнитная спектроскопия (ядерный магнитный резонанс и электронный парамагнитный резонанс).

Эмиссионный спектральный анализ основан на изучении спектров испускания (излучения) или эмиссионных спектров различных веществ.

Эмиссионная спектроскопия требует «сжигания» пробы анализируемого вещества в пламени газовой горелки (~2000–3000 °С), электрической дуги (~5000–7000 °С) или высоковольтной искры (~700 –15000 °С). При этом анализируемое вещество испаряется, диссоциирует на составляющие атомы или ионы, которые, возбуждаясь, дают излучение. Свет, излучаемый раскаленными газами или парами, проходя через призму спектрографа, преломляется и разлагается на компоненты. Поэтому экспериментатор наблюдает ряд отдельных цветных линий, оставляющих вместе так называемый линейчатый спектр. Линейчатый спектр каждого элемента характеризуется постоянными центральными линиями, соответствующими лучам с определенной длиной волны и частотой колебаний. По наличию этих линий можно судить о присутствии того или иного элемента в анализируемом веществе.

Количественное определение элементов основано на измерении интенсивности характерных спектральных линий того или иного элемента, входящего в состав анализируемого вещества. При этом исходят из следующей зависимости: чем выше концентрация определяемого элемента, тем больше интенсивность его спектральных линий.

Различают два вида эмиссионного спектрального анализа – количественный и полуколичественный, которые отличаются степенью точности измерений. Более точные количественные определения выполняют с помощью приборов, называемых стилометрами. Для полуколичественных определений используют менее совершенные приборы – стилоскопы. Однако и те, и другие приборы служат только визуального наблюдения спектров.

В тех случаях, когда необходимо получить фотографии спектров на фотопластинках, применяют так называемые спектрографы. Они позволяют более объективно оценить количественное содержание элемента, так как степень почернения линий на пластинке пропорциональна концентрации определяемого элемента. Степень почернения линий на фотопластинке (так называемую плотность почернения) количественно измеряют с помощью особых приборов – микрофотометров. Концентрацию определяемого элемента находят по калибровочной кривой, которую предварительно вычерчивают, исходя из интенсивности спектральных линий эталонных образцов.

Фотометрия пламени, или эмиссионная пламенная фотометрия, один из методов спектрального анализа, основанный на измерении интенсивности из-

лучения атомов, возбуждаемого нагреванием вещества в пламени.

Исследуемый раствор распыляют (действием сжатого воздуха или кислорода) и в виде аэрозоля вводят в бесцветное пламя газовой горелки, работающей на ацетилене, водороде или на светильном газе. Если раствор содержит ионы легко возбуждаемых элементов, то в пламени возникает характерное для того или иного элемента излучение и пламя окрашивается. Интенсивность излучения, как правило, прямо пропорциональна концентрации определяемого элемента в растворе (в определенном интервале концентраций). Задача определения и состоит в том, чтобы выделить характерное для данного элемента излучение и измерить его интенсивность. Осуществляют это с помощью специального прибора – пламенного фотометра, регистрирующего излучение в определенной области спектра (с помощью светофильтров). Поэтому каждое определение позволяет установить содержание только одного заданного элемента в анализируемом веществе.

Фотометрию пламени используют главным образом для количественного определения щелочных и щелочноземельных металлов (лития, натрия, калия, рубидия, цезия, магния, кальция, стронция, бария) [9].

Люминесцентный (флуоресцентный) анализ использует свечение исследуемого объекта, возникающее под действием ультрафиолетовых лучей, рентгеновских или радиоактивных лучей (фотолюминесценция, рентгенолюминесценция, радиолюминесценция). Люминесцируют не все вещества, однако после обработки специальными реактивами люминесценция наблюдается у многих веществ (хемолюминесцения). Этот метод позволяет обнаруживать количества люминесцирующих примесей порядка 10^{-10} – 10^{-13}г.

Абсорбционный анализ основан на изучении спектров поглощения анализируемых веществ. Каждое вещество поглощает (или отражает) определенное количество света. Величина поглощения (или отражения) света определяется природой анализируемого вещества и его концентрацией в растворе. Вследствие этого возможно качественное и количественное определение элементного (или молекулярного) состава вещества методом абсорбционной спектроскопии. Абсорбционный анализ подразделяют атомную и молекулярную абсорбционную спектроскопию.

Спектрофотометрия изучает поглощение анализируемым веществом света с определенной длиной волны, т. е. поглощение монохроматического излучения. Такие измерения выполняют с помощью спектрофотометров. Они снабжены оптической системой (монохроматором), дающей монохроматический поток световой энергии для выполнения анализа.

У веществ, в зависимости от их природы, наиболее ярко выраженные полосы поглощения располагаются в разных областях спектра: в ультрафиолетовой (длина волн 200–400 нм), видимой (400–700 нм) и инфракрасной (800–25000 нм). Соответственно этому абсорбционные спектральные определения производят в ультрафиолетовой, видимой и в инфракрасной областях спектра.

Фотометрический метод основан на измерении поглощения анализируемым веществом света не строго монохроматического излучения. Такого рода измерения выполняют при помощи более простых приборов, называемых

фотоколориметрами.

Колориметрия – один из наиболее простых методов абсорбционного анализа, основанный на измерении поглощения света окрашенными растворами. С помощью этого метода, отличающегося достаточно высокой чувствительностью, изучают содержание большинства микроэлементов в почвах. При этом определяемый компонент переводят в окрашенное соединение и по интенсивности окраски раствора судят о количестве компонента.

Турбидиметрия – оптический метод, основанный на изменении количества света, поглощаемого неокрашенными суспензиями. При турбидиметрических определениях поглощение света суспензией измеряют подобно тому, как это делают в случае колориметрирования окрашенных растворов.

Нефелометрия использует явление рассеяния света твердыми частицами, взвешенными в растворе. При пропускании света через кювету, заполненную суспензией, часть его поглощается, другая часть отражается и, наконец, значительная часть рассеивается во всех направлениях. Нефелометрическое определение и состоит в сравнении светорассеяния в анализируемой суспензии с аналогичным показателем стандартного раствора (стандартной суспензии). Это сравнение выполняют различными способами: в пробирках, цилиндрах, в специальных приборах – нефелометрах или фотонефелометрах. В последних интенсивность светорассеяния измеряют с помощью фотоэлементов.

Нефелометрию, как и колориметрию, применяют только при небольших концентрациях определяемого вещества в растворе.

Атомно-абсорбционный метод сходен с фотометрией пламени в том отношении, что раствор также вводят в пламя с помощью распылителя в виде аэрозоля. Однако измеряют не излучение элемента в пламени, а, наоборот, поглощение излучения от стандартного источника света атомами определяемого элемента. Поскольку при этом поглощается около 99 % света, чувствительность атомно-абсорбционного метода выше, чем в фотометрии пламени. Этот метод пригоден для количественного определения элементов, присутствующих в пламени в виде свободных атомов.

Методы, основанные на взаимодействии частиц с магнитными полями. Эти методы анализа основаны на использовании физических явлений, возникающих при взаимодействии частиц вещества и электромагнитного поля. При этом магнитные и электрические параметры вещества наблюдают с помощью радиофизических приборов.

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) основана на измерении резонансного поглощения электромагнитных волн исследуемыми веществами в постоянном магнитном поле.

Возникновение ядерного магнитного резонанса объясняется тем, что ядра атомов многих элементов имеют момент количества движения и вращаются относительно собственной оси подобно спину электрона. Вращение ядра, несущего электрический заряд, вызывает появление магнитного момента. Следовательно, ЯМР обусловливается ядерным магнетизмом.

Спектры ядерного магнитного резонанса используют для исследования внутреннего строения и межмолекулярных взаимодействий в различных со-

единениях (твердых, жидких и газообразных). Особенно успешно спектроскопия ЯМР применяется при изучении комплексных соединений, химической кинетики, состояния различных ионов в растворах.

Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭП) основана на измерении резонансного поглощения электромагнитных волн частицами парамагнитных веществ в постоянном магнитном поле.

Электронный парамагнитный резонанс используют при наличии исследуемой системе неспаренных электронов с соответствующими магнитными моментами.

Магнитные свойства появляются вследствие вращательного движения электронов, так как движущийся электрический заряд создает магнитное поле. При этом любая частица с неспаренным электроном (атом, ион, свободный радикал) уподобляется маленькому магниту, движение электрона в атоме по орбите вызывает появление орбитального магнитного момента, а спин электрона создает спиновый магнитный момент. В этой сложной системе магнитных моментов суммарный магнитный момент равен нулю, магнитные свойства вещества не проявляются. Но они начинают проявляться в постоянном магнитном поле.

Спектры ЭПР изучают с помощью приборов – радиоспектрометров. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса пригодна для исследования твердых, жидких и газообразных веществ. Метод используют для определения концентрации парамагнитных веществ, радиохимии, фотохимии, гетерогенном катализе, химической кинетике.

Масс-спектрометрия состоит в определении отдельных ионизированных атомов, молекул или радикалов после разделения потоков, содержащих частицы с различным отношением массы к заряду (m/e). Разделение этих частиц происходит под действием электрического и магнитного полей.

Распыление и ионизация анализируемого вещества может достигаться под действием искрового вакуумного разряда, пучка электронов, лазерных лучей.

В масс-спектрометре газообразный исследуемый образец бомбардируют потоком электронов, в результате чего образуются ионизированные молекулы или свободные радикалы. Полученный набор положительно заряженных частиц вытягивают из потока газа при помощи электрода, на который подается ускоряющее напряжение. При этом частицы разделяются в соответствии с отношением массы ионов к их заряду.

Масс-спектрометр автоматически регистрирует распределение заряженных частиц по массам и интенсивность соответствующих им пиков. Так получается масс–спектр, дающий разнообразную информацию о молекулах, введенных в прибор. Масс-спектрометрия используется как для качественного, так и количественного анализа индивидуальных соединений.

Электрохимические методы анализа. Электрохимические методы анализа основаны на измерении электрохимических свойств анализируемых образцов.

Потенциометрия основана на измерении потенциала электрода, погру-

женного в раствор; значение потенциала зависит от концентрации ионов. Например, значение потенциала серебряного электрода, погруженного в раствор нитрата серебра, меняется по мере изменения концентрации катионов серебра (I) в растворе. Эта зависимость позволяет определять содержание тех или иных ионов в растворе, измеряя потенциал электрода, погруженного в раствор соли неизвестной концентрации. О концентрации определяемых ионов в растворе судят по потенциалу так называемого индикаторного электрода. Величину потенциала этого электрода определяют, сравнивая с потенциалом электрода сравнения. Потенциометрия позволяет измерять величины pH до сотых долей.

Кондуктометрия. Этот метод основан на том, что при определенной температуре электрическая проводимость раствора приблизительно пропорциональна концентрации электролита. При этом (на основании опытных данных) строят график зависимости между электрической проводимостью раствора и концентрацией определяемого в нем вещества. Затем, определив электрическую проводимость исследуемого раствора, находят по калибровочному графику концентрацию определяемого вещества.

Метод широко применяется при измерении электрической проводимости раствора для определения точки эквивалентности в титриметрическом анализе.

Полярография. При полярографическом анализе испытуемый раствор подвергают электролизу в ячейке прибора – полярографа. Полярограф автоматически «записывает» так называемую вольт-амперную кривую, показывающую изменение силы диффузного тока с повышением напряжения. По ее характеру судят о присутствии тех или иных катионов в растворе и об их количественном содержании.

Полярографию применяют не только для непосредственного определения концентрации анализируемого вещества, но и для определения конечных точек при титровании.

С помощью полярографии в технических образцах определяют примеси металлов порядка 0,001 % с точностью до 1 %.

Электрогравиметрический метод основан на выделении из раствора определяемого элемента (или вещества) с помощью электролиза.

Радиометрические методы анализа. Радиометрический анализ основан на измерении излучений радиоактивных элементов и применяется для количественного определения радиоактивных изотопов в исследуемом материале.

Радиоактивные изотопы идентифицируют по периоду их полураспада или по виду и энергии испускаемого излучения. В практике количественного анализа чаще всего измеряют активность радиоактивных изотопов по их α-, β- и γ-излучению. Известно несколько методов регистрации этих частиц: калориметрические методы основаны на измерении количества теплоты, выделяемой при излучении тех или иных частиц радиоактивным веществом; фотографические – на измерении почернения фотографических пластинок (или пленок) под действием радиоактивного излучения; сцинцилляционные методы основаны на регистрации сцинцилляций (световых вспышек), вызываемых

ядерными излучениями в веществах; ионизационные методы основаны на регистрации ядерных частиц ионизированного вещества.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику химическим методам анализа почв.
2. Какие методы анализа называются инструментальными, в чем состоит их сущность?
3. Объясните сущность методов анализа, основанных на взаимодействии частиц с магнитными полями.
4. Какие электрохимические методы анализа применяются в практике агрохимической и агроэкологической оценки почв, на чем они основаны?
5. На чем основан радиометрический анализ почв?

Тема 3. Морфологические признаки и водно-воздушные свойства почв

Ключевые вопросы темы

Окраска почв. Включения и новообразования. Плотность почв. Гранулометрический состав почвы. Структура почвы. Влажность почвы. Воздушный режим почвы.

Методические рекомендации

Окраска почв. Окраска, или цвет почвы, – один из важнейших морфологических признаков, используемых при классификации и диагностике почв, являющийся показателем агрохимического и агроэкологического состояния почвы в полевых условиях.

В числе педоморфных элементов следует выделить особую подгруппу элементов, соединения которых влияют на окраску почв, – C, Fe, Mn, Ca. К ним относится и Si, поскольку соединения кремния образуют главную часть почвенной массы и придают ей исходную белесоватую окраску.

Вещества, придающие окраску почве и почвенным горизонтам, можно называть почвенными пигментами. Главнейшие почвенные пигменты – соединения углерода, железа, марганца, отчасти серы.

Соединения углерода оказывают двойственное (и противоположное) влияние на почвенную окраску. Минеральные соединения углерода – почвенные карбонаты – белого цвет, это преимущественно карбонаты кальция и магния. Карбонаты щелочных земель или диффузно распределены в почвенной массе, или образуют различного рода новообразования: псевдомицелий, белоглазку, дутики, журавчики и т. п. Их общее влияние заключается в осветлении окраски, но при дискретных скоплениях карбонатов окраска приобретает еще и неоднородный, пятнистый характер.

Органические соединения углерода окрашивают почву в желтоватые, бурые или почти черные тона; эта окраска предельно выражена в черноземах.

Марганец обычно придает почве темные, почти черные тона за счет пиролюзита MnO_2, но эта окраска неоднородна, проявляется в примазках, ортштейнах. Темный, почти черный цвет почве или новообразованиям придают сульфиды некоторых металлов, но они встречаются преимущественно в восстановительных условиях.

Наиболее разнообразную и яркую окраску почвенному профилю прида-

ют соединения железа. Гамма цветов и оттенков, обусловленная соединениями железа, очень широка – желтые, палевые, красноватые, бурые, оливковые, зеленые, почти черные тона. Обычно почти все рыхлые почвообразующие породы в той или иной степени прокрашены соединениями железа.

Включения и новообразования. Новообразованиями называются скопления разнообразных веществ, выделившихся в результате почвообразовательного процесса на поверхности твердых частиц почвы или в порах и пустотах между ними. Они резко отличаются от массы почвы по цвету и химическому составу.

Различают новообразования химического и биологического происхождения.

Химические новообразования.

1. Легкорастворимые соли ($NaCl$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $MgCl_2$, $CaCl_2$) – белого цвета, встречаются в виде выцветов и корочки на поверхности почвы или в форме налетов, прожилок, крупинок в толще профиля. Характерны для группы засоленных почв (солончаков и солонцов).

2. Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) – белого и желтоватого цвета, встречается в виде отдельных прожилок, псевдомицелия (густой сети очень тонких прожилок) конкреций (т. е. скоплений кристаллов) в тонких или более крупных горах и пустотах почвенной толщи. Иногда гипс образует корочку или выцветы на поверхности почвы. Характерен для каштановых и бурых почв, сероземов, засоленных почв.

3. Углекислая известь ($CaCO_3$) – белого цвета, встречается в очень разнообразных формах в толще профиля, где заполняет как тонкие поры, как и более крупные пустоты. Различают следующие наиболее распространенные формы новообразований углекислого кальция: 1) пятна и выцветы неопределенных, расплывчатых очертаний; 2) плесень из скоплений очень тонких игольчатых кристаллов; 3) белоглазку – яркие, компактные, резко очерченные пятна; 4) прожилки и псевдомицелий по тонким порам почвы; 5) трубочки из массы кристаллической или мучнистой извести по ходам корней; 6) конкреции из плотных стяжений $CaCO_3$ различной величины и формы, заполняющие пустоты между твердой массой почвы (размеры конкреций колеблются от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, форма очень разнообразна, а иногда и причудлива, вследствие чего их называют куколками, погремками, дутиками и т. д.); 7) прослойки лугового мергеля, достигающие нескольких десятков сантиметров в толщину. Распознаются по вскипанию с 10%-ным раствором HCl. Характерны для черноземов, каштановых, бурых и засоленных почв, сероземов.

4. Гидроксиды железа (Fe^{3+}), алюминия, марганца в комплексе с органическими веществами и соединениями фосфора – ржаво-бурого, охристого, кофейного или черного цвета. Они образуют: 1) натеки (пленки, примазки) – тонкие глянцевитые пленки по трещинам и ходам корней на поверхности структурных отдельностей; 2) пятна расплывчатой формы, неравномерно пропитывающие почву; 3) конкреции (бобовины, рудяковые зерна) – округлые твердые стяжения от нескольких миллиметров до 1–2 см, часто обнаруживае-

мые лишь при растирании массы почвы между пальцами, в изломе они темно-бурого или черного цвета; 4) трубочки (рыхлые или твердые) ржавого цвета по ходам корней; 5) ортзанды – тонкие нитевидные или более, мощные прослойки, пропитывающие массу горизонта в песчаных почвах; 6) ортштейны – прослойки или участки горизонта, цементирующие массу почвы. Все эти новообразования характерны для подзолистых, дерново-подзолистых, заболоченных и болотных почв.

5. Соединения двухвалентного железа ($FeCO_3[Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O]$) – голубоватого, сизоватого или зеленоватого цвета, образуют расплывчатые пятна и выцветы в профиле болотных и заболоченных почв. На свежих образцах распознаются легко. В сухих образцах исчезают, так как соединения двухвалентного железа на воздухе окисляются и приобретают бурую окраску.

6. Кремнезем (SiO_2) – беловатого цвета, образует присыпку (налет) на поверхности структурных отдельностей. Характерен для серых лесных почв, оподзоленных черноземов, солонцов. Распознается с трудом, рекомендуется разломать структурную отдельность и сравнивать окраску ее поверхности и внутренней массы.

7. Гумусовые вещества – черного или темно-бурого цвета, образуют натеки, корочки и пятна на поверхности структурных отдельностей, придавая последним глянцевитый вид. Встречаются в средней части профиля подзолистых и солонцеватых почв, солонцов.

Биологические новообразования.

1. Копролиты – экскременты червей и личинок насекомых, состоящие из частиц почвы, прошедших через пищеварительный тракт последних и пропитанных выделениями клеточных стенок кишечника. Встречаются в виде хорошо склеенных водопрочных комочков почвы в пустотах, проделанных ходами животных, и на поверхности почвы. Характерны для всех типов почв с богатой почвенной фауной.

2. Кротовины – ходы землероев (кротов, сусликов, сурков, хомяков), засыпанные массой почвы. В вертикальном разрезе почвы они представлены крупными пятнами округлой, овальной или вытянутой формы, по цвету и сложению отличающимися от остальной массы почв. Типичны для черноземов.

3. Корневины – следы сгнивших крупных древесных корней. Характерны для лесных почв.

4. Червоточины – извилистые ходы канальцы червей. Встречаются во многих почвах.

5. Дендриты – отпечатки мелких корешков на поверхности структурных отдельностей в виде прихотливо извивающегося узора. Отпечатки часто окрашены в темный цвет за счет гумуса, образовавшегося при разложении корешков. Встречаются в различных почвах.

Состав новообразований обусловлен характером почвообразовательного процесса и является одним из характерных признаков, при определении типа почвы и ее агрономических свойств. Наличие легкорастворимых солей на поверхности почвы свидетельствует об интенсивном развитии процессов засоле-

ния почвы и непригодности ее для культурных растений без коренной мелиорации. По глубине залегания новообразований углекислого кальция можно судить о степени выщелоченности и глубине промачивания почвы атмосферными водами. Железистые новообразования являются признаком разрушения ряда минералов и передвижения продуктов их разрушения по профилю. Темноокрашенные потеки гумусовых веществ свидетельствуют о передвижении органических веществ в толще почвы. Наличие сизоватых и ржаво-охристых пятен указывает на заболоченность почвы.

Включениями называются инородные тела в профиле почвы, присутствие которых не связано с характером почвообразовательного процесса. К ним относятся следующие:

1. Каменистые включения – обломки горных пород, находящиеся в почве вследствие особенностей материнской породы;

2. Остатки животных и растений в виде раковин, костей, корней, обрывков стеблей, листьев, хвои, не потерявших еще анатомического строения; могут встречаться в различных почвах;

3. Включения антропогенного происхождения – обломки кирпича, кусочки угля, черепки посуды и различные археологические находки.

При определении включений необходимо отмечать их количество (много, мало).

Плотность почв. Плотность почвы – важнейшая почвенно-агрохимическая характеристика. Основное влияние на почвенные процессы плотность оказывает через изменение водного и воздушного режимов почв. Она же оказывает влияние и на рост корней, и на физиологические процессы в растениях, и на трансформацию углерода в почве, вследствие чего происходит изменение соотношения выделение/поглощение CO_2. Возникновение плотных антропогенных внутрипочвенных слоев («плужная подошва», «подпочвенное уплотнение») приводит к изменению движения веществ в почве и ландшафте.

Плотность почвы во многом определяет урожай растений. Проблема создания пахотного слоя, оптимального по физическому состоянию, по плотности, – одна из важнейших проблем агротехники. Она состоит в том, чтобы не допустить уплотнения почвы тяжелой сельскохозяйственной техникой. А это связано со своевременностью проведения агротехнических работ. Почва особенно подвержена уплотнению при повышенной влажности.

Оптимальные диапазоны плотности пахотного слоя различаются для песчаных и суглинистых почв. Рекомендуется использовать следующие пределы оптимальных диапазонов плотности для различных почв.

Для порозности почвы, которая является прямой функцией от плотности, предложен ряд критериев и диапазонов оптимальности. По данным большинства исследователей оптимум для суглинистых почв находится в области от 1,0 до 1,3 г/см^3. Н. А. Качинский предложил выделять следующие диапазоны порозности почвы (см^3/см^3):

– отличная (культурный пахотный слой) – 0,65–0,55;

– удовлетворительная для пахотного слоя – 0,55–0,50;

– неудовлетворительная для пахотного слоя – 0,50;

– чрезмерно низкая – 0,40–0,25.

Основными составляющими порового пространства почвы являются агрегатное и межагрегатное поровое пространство. Основная функция агрегатного порового пространства – сохранение и регламентированная «выдача» воды, питательных веществ, функционирование почвенной биоты; межагрегатного – транспорт веществ в почве.

Порозность разделяют на несколько видов:

– общую – суммарный объем всех пор;

– капиллярную – совокупный объем тончайших пор, образованных глинистыми частицами почвы, которая создает водоудерживающую способность почвы;

– некапиллярную – совокупный объем крупных промежутков между агрегатами и песчаными частицами, которые обеспечивают водопроницаемость и воздухообмен.

Для характеристики порового пространства важны не только величины объема порового пространства, но и диаметры преимущественных пор. Поры с соответствующими диаметрами несут определенные функции.

Поэтому данные по плотности и порозности почвенных слоев и горизонтов обязательно сопровождают полную характеристику почвы.

Порозность аэрации (воздухообеспеченность) – совокупный объем пор, заполненных воздухом. В капиллярных порах содержится вода, удерживаемая менисковыми силами. Некапиллярные поры обычно заняты почвенным воздухом, вода в них находится под действием гравитационных сил, поэтому не удерживается. Поры, в которых находятся капиллярная вода, почвенный воздух, микроорганизмы и корни растений, называются активными. Поры, занятые связанной водой – неактивные.

В агрономическом отношении важно, чтобы почва имела высокую общую порозность (не менее 50–70 % объема почвы), а капиллярную порозность – не менее 20–25 % от общей пористости.

Плотность сложения почвы может быть рассыпчатой, рыхлой, плотной, слитой (очень плотной).

Рассыпчатое сложение свойственно песчаным и супесчаным почвам, частицы которых не скреплены друг с другом и обладают сыпучестью в сухом состоянии. Рыхлое сложение свойственно хорошо оструктуренным гумусовым горизонтам и обработанным в спелом состоянии пахотным горизонтам. Плотное сложение свойственно нижним горизонтам почв глинистого гранулометрического состава, а также иллювиальным горизонтам глинистых и суглинистых почв, частицы которых плотно прилегают друг к другу. В сухом состоянии образец с трудом разламывается руками, нож оставляет шероховатую с изорванными краями черту, для вдавливания ножа в почву требуются значительные усилия. Слитое сложение свойственно иллювиальным горизонтам солонцов, слитым бесструктурным глинистым почвам, сцементированным оруденелым горизонтам подзолистых почв. Слитое сложение характеризуется плотным прилеганием частиц друг к другу, образующим сцементированную массу, образец которой в сухом состоянии разломать руками нельзя; нож

оставляет блестящую узкую черту.

Гранулометрический состав почвы. Размер частиц является важной характеристикой дисперсности почвы. В почве представлены частицы совсем тонкие – илистые, а также крупные – гравий и каменистая часть почвы. Между этими частицами расположена область пылеватых и песчаных частиц. Илистые, как правило, имеют размеры < 0,001 мм. Эта целая область очень мелких, тонких частиц, куда входят и коллоиды (< 0,0001 мм). Выделенные по размерам диапазоны (ил, гравий, каменистая часть и др.) называют фракциями гранулометрических элементов, а относительное содержание выделенных фракций – гранулометрическим составом почв.

Гранулометрический состав почв и почвообразующих пород – это относительное содержание в почве элементарных почвенных частиц различного диаметра, независимо от их минералогического и химического состава.

Элементарные почвенные частицы (ЭПЧ) – обломки горных пород и минералов, а также аморфные соединения, все элементы которых находятся в химической взаимосвязи и не поддаются разрушению общепринятыми методами пептизации.

Одна из первых попыток разделить весь диапазон встречающихся почвенных частиц была сделана шведским исследователем Альбертом Атгербергом в 1912 г. Он изучал физико-механические свойства (липкость, пластичность) частиц различного размера. Для этого он выделял частицы определенного диапазона диаметров, «отмучивая» их в стоячей воде, собирал и анализировал свойства. Этот принцип Атгерберг и заложил в основу своей классификации. Он и его последователи выделили следующие фракции: < 0,002мм – глина; 0,002 – 0,05 – пыль; 0,05 – 0,2 – тонкий песок; 0,2–2 – грубый песок; > 2 мм – гравий.

Эти фракции и составляют основу большинства современных зарубежных классификаций. В российской классификации Н. А. Качинского границы фракций более подробные (мм): < 0,0001 – коллоиды; 0,0005–0,0001 – ил тонкий; 0,001–0,0005 – ил грубый; 0,001–0,005 – пыль мелкая; 0,005–0,01 – пыль средняя; 0,01–0,05 – пыль крупная; 0,05–0,25 – песок мелкий; 0,25–0,5 – песок средний; 0,5–1,0 – песок крупный; 1–3 – гравий; > 3 – камни. Частицы < 0,01 мм объединены в более крупную фракцию физической глины, а частицы > 0,01 мм – во фракцию физического песка

Структура почвы. Структура почвы – совокупность агрегатов различной величины, формы, прочности и связности. В настоящее время почвенную структуру в зависимости от размеров агрегатов принято делить на: глыбистую (агрегаты более 10 мм); макроструктуру (агрегаты 10–0,25 мм); микроструктуру (агрегаты менее 0,25 мм).

Микроагрегаты – наиболее устойчивые структурные комплексы размерами менее 0,25мм, состоящие из элементарных почвенных частиц и обладающие порозностью. Разделение микроагрегатов на фракции аналогично фракциям гранулометрического состава. Чем выше микроагрегированность почв, тем она устойчивее к разнообразным нагрузкам, лучше образует агрегатную структуру.

Различают два понятия структуры почвы: морфологическое и агрономическое. В морфологическом понимании хорошей структурой будет любая четко выраженная структура (ореховатая, зернистая, комковатая и т. д.). Агрономически ценной структурой для пахотных горизонтов являются все виды зернистой, средне- и мелкоореховатой и среднекомковатой структуры. О степени структурности почвы можно судить по данным агрегатного, микроагрегатного анализов и определения коэффициента дисперсности почвы. Анализ макроструктуры почвы в целях ее агрономической оценки проводят для пахотного и подпахотного горизонтов.

Тип структуры зависит от содержания коллоидов и проявления их свойств, от состава обменно-поглощенных катионов, направления почвообразовательного процесса, а также от хозяйственного использования почвы.

При изучении структуры почв наиболее часто используют следующие методы: фракционирование почвы в воздушно-сухом состоянии (сухое просеивание); определение водопрочности почвенной структуры (мокрое просеивание); определение микроагрегатного состава почвы по методу Н. А. Качинского во фракциях: 1–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,01–0,005; 0,005–0,001 и с 0,001 мм.

Влажность почвы. Влажность почвы определяется как количество воды, приходящееся на единицу веса абсолютно сухой почвы (влажность весовая) или на единицу объема абсолютно сухой почвы (влажность объемная).

Вода в почве представлена различными формами, отличающимися по степени связи ее с твердыми фазами почвы. Выделяют адсорбированную, пленочную, пленочно-капилярную, капиллярную и свободную. Граничные состояния между формами воды характеризуются энергетическими константами, или влагоемкостями, т. е. влажностями при максимальном количестве соответствующей формы воды.

Основой разделения почвенной влаги на отдельные формы послужили функциональные особенности той или иной влаги в почве. Константы, которые характеризуют водно-физические свойства почвы получили название почвенно-гидрологических: полевая влажность (Wп), гигроскопическая влажность (Wг), максимальная гигроскопическая влажность (МГ), капиллярная влагоемкость (КВ), полная влагоемкость (ПВ), влажность завядания (ВЗ), наименьшая влагоемкость (НВ) и водопроницаемость (В).

Воздушный режим почвы. Для того чтобы установить значение газовой фазы в жизни почвы, во всех процессах жизнедеятельности растений и почвенной биоты, а также роль почвы как резервуара и источника разнообразных газов, необходимо определить основные понятия.

Аэрация почвы – это процесс поступления в почву и замещение атмосферным воздухом почвенного.

Порозность аэрации (воздухосодержание) – разница между общей порозностью и объемной влажностью почвы.

Воздухоемкость – объемный процент, занимаемый воздухом в почве при влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости (НВ). Оптимальные диапазоны воздухоемкости для почв различного гранулометрического состава

следующие: песчаные – 20–25 %; суглинистые – > 15–20 %; глинистые – > 10 %.

Воздухообмен – это обмен почвенного и атмосферного воздуха, это аэрация почв с указанием причин, вызывающих этот обмен. Процесс воздухообмена включает описание и тех сил, процессов, которые его вызывают, например изменение атмосферного давления, температуры почвы и пр.

Воздухопроницаемость – способность почвы проводить поток воздуха. Состав почвенного воздуха динамичен. Изменения содержания макрокомпонентов весьма велики: O_2 – от 20,9 до 0,05 %, CO_2 – от 0,03 до 20 %. Такие значительные колебания определяются динамикой содержания углекислого газа, которое может повышаться во много раз за счет прежде всего биологических процессов и в меньшей степени из-за химических процессов, связанных с окислением различных соединений, выпадением осадка при карбонатно-кальциевых взаимодействиях. Важно, что сумма этих газов остается практически всегда близкой к 21 %.

Динамичность содержания CO_2 и его выделение в атмосферу имеет определенные временные и пространственные закономерности.

Основными процессами, вызывающими перенос газов в почве, являются процессы диффузии газов. Конвективный перенос имеет подчиненное значение. Почвенной характеристикой, позволяющей количественно оценить диффузию газов, является коэффициент эффективной диффузии, зависящий от порозности аэрации и диффузии газов в воздухе, определяемые свойствами почв.

Контрольные вопросы

1. Поясните на примерах, как влияет количество тех или иных педоморфных элементов на окраску почв?
2. Объясните понятия «почвенные новообразования» и «почвенные включения».
3. Как влияет плотность почв на формирование урожая?
4. Как классифицируются почвенные поры по размерам и функциям?
5. Что называется гранулометрическим составом почв?
6. Объясните понятие «структура почвы».
7. Дайте определение понятию «влажность почвы», какие почвенно-гидрологические константы характеризуют водно-физические свойства почв?
8. Объясните понятия: аэрация почвы, порозность аэрации, воздухоемкость, воздухообмен, воздухопроницаемость.
9. Какие процессы вызывают перенос газов в почве?

Тема 4. Физико-химические характеристики почвы

Ключевые вопросы темы

Емкость катионного обмена. Кислотность почв.

Методические рекомендации

Емкость катионного обмена. Обменные катионы в почвах представлены главным образом элементами I и II групп периодической системы. В кислых почвах значительную роль играют ионы H^+ и Al^+. В обменной форме в

почвах находятся многие микроэлементы: ионы Zn^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+} и др.

Наиболее подробно катионный обмен изучен для катионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} и Na^{+}.

Катионообменная способность относится к числу фундаментальных свойств почвы. Ее роль и значение в неполном объеме можно охарактеризовать следующими положениями.

1. От состава обменных катионов зависят физические свойства почв: их пептизируемость и агрегированность. Обменный Na^{+} вызывает пептизацию тонкодисперсной части почв, образование почвенной корки, ухудшает структуру. Обменный Ca^{2+} повышает степень агрегированности, способствует формированию водопрочной структуры.

2. От состава обменных катионов зависит поглощение органических веществ твердыми фазами, образование органоминеральных соединений.

3. Реакции обмена катионов влияют на pH почвенного раствора и его солевой состав.

4. Обменные катионы – один из непосредственных источников элементов минерального питания растений. В частности, обеспеченность почв калием определяется по содержанию обменного калия.

5. Состав обменных катионов один из важнейших показателей, используемых при диагностике и классификации почв: в современной практике широко используется деление почв на насыщенные и ненасыщенные основаниями; при подразделении почв по степени солонцеватости учитывается доля Na^{+} в составе обменных катионов.

6. Состав обменных катионов и его ожидаемое изменение учитывают при составлении проектов промывок засоленных почв и полива почв минерализованными водами.

7. Законы катионного обмена являются теоретической основой для некоторых видов химической мелиорации почв – известкования кислых почв и гипсования солонцов.

Катионный обмен – частный случай ионного обмена, под которым понимают обратимый процесс стехиометрического обмена ионами между двумя контактирующими фазами. Реакцию обмена катионов M_1^{n+} и M_2^{m+} формально можно записать так:

$$\Pi\left(M_1^{n+}\right)_m + nM_2^{m+} \leftrightarrow \Pi\left(M_2^{m+}\right)_n + mM_1^{n+},$$

где Π – почвенный поглощающий комплекс.

Эта форма записи показывает, что составная часть почвы – ее поглощающий комплекс, обозначаемый символом П (или ППК), – отдает в раствор катионы в обмен на эквивалентное количество катионов другого рода.

Почвенный поглощающий комплекс – это совокупность минеральных, органических и органоминеральных компонентов твердой части почвы, обладающих ионообменной способностью. В ППК входят способные к обменным реакциям катионы; в противном случае этот комплекс не смог бы выделить в ходе реакции эквивалентное количество катионов в обмен на катионы почвенного раствора. Не все твердые фазы почв способны проявлять катионообмен-

ную способность. Практически не обладают обменной способностью такие минералы, как кварц; очень слабо проявляется это свойство во фракциях механических элементов крупнее 0,002–0,005 мм. Способность к поглощению и обмену катионов сосредоточена главным образом в илистой фракции почв.

Обменные, или поглощенные катионы – это катионы, которые входят в состав ППК и могут быть замещены катионами другого рода при взаимодействии с нейтральными растворами солей.

При характеристике ППК и обменных реакций часто используют термин обменные основания, под которым понимают только обменные катионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} и Na^{+}, тогда как в число обменных катионов входят, кроме того, H^{+}, Al^{3+} и др. Таким образом, обменные основания составляют только часть обменных катионов, хотя в большинстве степных и сухостепных почв практически весь фонд обменных катионов представлен обменными основаниями.

Емкость обмена не следует путать *с суммой обменных катионов,* которая определяется как общее количество катионов, вытесняемых из незасоленной и бескарбонатной почвы нейральным раствором соли. Сумма обменных катионов характеризует природное состояние почвы, она может совпадать количественно с ЕКО, но может и существенно от нее отличаться. Поскольку ЕКО зависит от pH, для одной и той же почвы сумма обменных катионов может быть ниже, если почва имеет кислую реакцию, ЕКО – выше, если ее определяют с помощью буферного раствора при pH 8,2. Возможны и обратные зависимости.

Учитывая зависимость емкости обмена от pH и необходимость характеристики почвы не только в условно выбранном стандартном состоянии, но и в природной обстановке, следует различать pH вида ЕКО:

• емкость катионного обмена стандартную определяют с помощью буферных растворов при постоянном значении pH. С этой целью почву насыщают ионами Ba^{2+} из буферного раствора с pH – 6,5. После насыщения емкость определяют по количеству поглощенного почвой Ba^{2+};

• емкость катионного обмена реальную (или эффективную) определяют путем обработки почвы небуферными растворами солей. О реальной емкости катионного обмена можно судить с достаточной точностью по сумме обменных катионов;

• дифференциальная (или pH-зависамая) емкость катионного обмена характеризует приращение емкости катионного обмена с увеличением pH равновесного раствора: ΔЕКО/ΔpH. Чтобы найти дифференциальную ЕКО, почву насыщают катионами одного рода из буферных растворов с различными значениями pH (например, 6,5 и 8,2), а затем рассчитывают общее приращение ЕКО или ее приращение на единицу pH.

Емкость катионного обмена зависит от гранулометрического состава почвы и строения веществ, входящих в состав почвенного поглощающего комплекса. Увеличение ЕКО в тяжелых по механическому составу почвах обусловлено не только нарастанием удельной поверхности, но и изменением природы слагающих различные фракции веществ. Предилистые и илистые фракции содержат слоистые алюмосиликаты, в них повышено содержание гу-

мусовых веществ, для которых характерна более высокая плотность зарядов на единицу поверхности, чем для первичных минералов крупных фракций.

Емкость катионного обмена составляющих почву веществ меняется в очень широких пределах: практически от нуля (обломки кварца) до 500–900 мг-экв/100 г для гуминовых кислот.

Наибольшей емкостью обладают гумусовые вещества, для которых особенно сильно выражена зависимость ЕКО от pH. Часть групп COOH гумусовых кислот активно участвует в реакциях обмена катионов при pH 5 – 6; другие (более слабые) группы поступают в реакцию лишь при возрастании pH.

В обогащенных гумусом горизонтах почв величина ЕКО обусловлена в значительной мере органическими веществами. По данным М. А. Винокурова, емкость органической части почвы в 10–30 раз превышает ЕКО минеральной части, и при содержании гумуса около 5–6 % на его долю приходится 30–60 % ЕКО.

Емкость катионного обмена образца почвы нельзя рассматривать как сумму значений ЕКО составляющих почву компонентов. Органические и минеральные вещества почвы взаимодействуют между собой, взаимно компенсируя избыток зарядов. Гумусовые вещества обволакивают минеральные частицы, делая их поверхность недоступной для катионов раствора. Образование комплексных и адсорбционных соединений гумусовых кислот с катионами железа и алюминия и их гидроксидами снижает ЕКО.

Практически все почвы в составе обменных катионов содержат кальций и магний, чаще преобладает кальций. В почвах с промывным водным режимом и кислой реакцией присутствуют H^+ и Al^{3+}, в почвах засоленного ряда – обменный K^+ – непременный компонент почв, но доля его невелика.

В зависимости от содержания обменных H^+ и Al^{3+} (или, гидролитической кислотности) все почвы можно разделить на две большие группы: почвы, насыщенные основаниями, и почвы, не насыщенные основаниями.

Насыщенные основаниями почвы не содержат H^+ и Al^{3+}, обменные катионы представлены только обменными основаниями, количество которых соответствует величине реальной емкости катионного обмена.

Почвы, не насыщенные основаниями, содержат некоторые количества обменных H^+ и Al^{3+} и для них всегда $S < T$. В эту группу почв входят подзолистые, дерново-подзолистые, болотные, серые и бурые лесные почвы, некоторые черноземы и почвы влажных субтропиков. Степень насыщенности основаниями может возрастать при сельскохозяйственном использовании почв, достигая 100 % в сильно известкованных (или переизвесткованных) почвах.

Среди почв, насыщенных основаниями, особую группу составляют почвы, содержащие в значительных количествах обменный Na^+. К ним относятся солонцеватые почвы, солонцы, многие солончаки. Присутствие в ППК обменного Na^+ не всегда вызывает проявление солонцеватости. Под солонцовым процессом понимают повышение дисперсности и гидрофильности твердых фаз почвы, сопровождающееся ростом щелочности. Проявлению этих процессов способствует обменный Na^+, если имеются условия для его отдиссоциации. Учитывая особую роль натрия, солонцы разделяют на виды, различаю-

щиеся по содержанию в горизонте B_1 обменного Na^+ (% от суммы обменных оснований):

– многонатриевые…….> 25

– средненатриевые…….10–25

– малонатриевые…….…. < 10

Закономерности изменения состава обменных катионов в почвах зонально-генетического ряда отражают главным образом нарастание степени минерализации почвенных растворов и их состав. Кислым слабоминерализованным или пресным водам северных областей соответствует присутствие или даже преобладание в ППК таких катионов, как H^+ и Al^{3+}. В серых лесных почвах и, особенно, в черноземах преобладает Ca^{2+}, он удерживается прочнее, чем катионы Mg^{2+} и Na^+. В засоленных или прошедших стадию засоления почвах в больших количествах обнаруживается обменный Na^+.

Кислотность почв. Негативное влияние повышенной кислотности на растение обусловлено несколькими причинами, среди которых наибольшее имеют следующие:

– недостаток Ca^{2+} – необходимого для растений элемента питания;

– повышенная концентрация токсичных для растений ионов Al^{2+}, Mn^{2+}, H^+;

– изменение доступности растениям макро- и микроэлементов;

– изменение физических свойств почв.

Кислотность почв проявляется в разных формах и обусловлена помимо алюминия другими элементами и соединениями. В настоящее время различают следующие формы или виды почвенной кислотности: 1) актуальная кислотность; 2) потенциальная кислотность, которая подразделяется на обменную и гидролитическую кислотность.

Актуальная кислотность. Это кислотность почвенного раствора, обусловленная растворенными в нем компонентами.

На практике редко измеряют pH почвенного раствора. Вместо этого анализируют водные вытяжки или водные суспензии почв. Согласно решению II Международного конгресса почвоведов, водные вытяжки и суспензии для измерения pH готовят при отношении почва : вода, равном 1 : 2,5. Для торфянистых почв и торфов это отношение расширяют до 1 : 25.

Степень кислотности почвенных растворов, вытяжек и суспензий оценивают величиной pH, количество кислотности – по содержанию титруемых щелочью веществ, обладающих кислотными свойствами. Кислотность почвенных растворов обусловлена присутствием свободных органических кислот или других органических соединений, содержащих кислые функциональные группы, свободных минеральных кислот (главным образом угольной кислоты), а также других компонентов, проявляющих кислотные свойства. В числе последних наибольшее влияние оказывают ионы Al^{3+} и Fe^{3+}, причем их кислотные свойства соизмеримы с кислотными свойствами таких кислот, как угольная и уксусная.

Величины pH водных вытяжек или суспензий не всегда совпадают со значениями pH почвенных растворов. Причины этого заключаются в разбав-

лении почвенного раствора при приготовлении вытяжки и во влиянии твердой фазы. Функциональная зависимость между величинами pH почвенного раствора и водной вытяжки пока не установлена. Разбавление почвенного раствора при приготовлении вытяжки влечет за собой увеличение степени диссоциации катионов ППК, при этом повышается степень диссоциации слабых кислот и оснований, происходит дополнительное растворение твердых фаз почвы, но одновременно уменьшается концентрация тех веществ, уровень содержания которых в почвенном растворе не контролируется избытком тех же веществ в твердых фазах.

Поэтому в качестве показателя степени кислотности было предложено использовать отношение активностей ионов водорода и тех катионов, которые преобладают в поглощающем комплексе и наиболее сильно влияют на реакции диссоциации и обмена H^+-ионов. Такими катионами являются Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Потенциальная кислотность. Потенциальная кислотность проявляется в результате взаимодействия почвы с растворами солей или оснований. Она влияет и на уровень актуальной кислотности, но точные функциональные зависимости, позволяющие по величине потенциальной кислотности вычислить актуальную, не установлены. В большинстве случаев выявляется прямая (но не прямо пропорциональная) зависимость: чем больше потенциальная кислотность, тем выше кислотность актуальная.

Обменную кислотность определяют путем вытеснения ионов H^+ и Al^{3+} из ППК раствором нейтральной соли. Степень кислотности оценивают по величине pH солевой (1 н. KCl) вытяжки или суспензии. Для определения количества кислотности солевую вытяжку титруют раствором щелочи. Вытесненный из ППК ион влияет не только на количество кислотности, но и на степень кислотности поскольку в водных растворах он образует $Al(OH)_3$, $AlOH^{2+}$ и $Al(OH)_2^+$. Большей частью реакция идет по уравнению:

$$[Al(H_2O)_6]^{3+} + H_2O \rightarrow [Al(H_2O)_5OH]^{2+} + H_3O^+.$$

Гидролитическую кислотность определяют путем взаимодействия почвы с гидролитически щелочной солью; с этой целью принято использовать 1,0 н. раствор CH_3COONa. Реакция происходит аналогично той, которая была рассмотрена выше:

$$ПН^+ + CH_3COONa \rightarrow ПNa^+ + CH_3COOH,$$

но при действии ацетата натрия величина кислотности обычно бывает значительно выше, чем при действии KCl. К. К. Гедройц определял этот показатель как количество кислоты, которое почва способна освобождать из солей слабых кислот и сильных оснований, получило название «гидролитической кислотности».

Ненасыщенность почв основаниями и соответственно наличие потенциальной кислотности обнаружил французский ученый П. Мондезир (1889 г.), заметивший, что кислые почвы больше поглощают катионов из нейтральных солей, чем отдают в растворы оснований. Для объяснения этого факта уже в начале века были предложены две гипотезы: алюминиевая и водородная (или гипотеза обменного алюминия и гипотеза обменного водорода).

С позиции гипотезы об обменном алюминии (ее изложил американский

исследователь Т. Вейтч в 1904 г. и развил японец Г. Дайкухара в 1914 г.) это объясняется прямым вытеснением Al^{3+} из ППК:

$$ПАl^{3+} + 3KCl \rightarrow ПК^{3+} + AlCl_3.$$

Хлорид алюминия титруется как кислота, что и создает впечатление об обменной кислотности. В соленой вытяжке $AlCl_3$ гидролизуется:

$$AlCl_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3HCl,$$

а появление свободной HCl понижает величину pH соленой вытяжки.

Гипотеза об обменном водороде была выдвинута и экспериментально развита К. К. Гедройцем. Согласно этой гипотезе, в ППК кислых почв содержатся H^+-ионы которые вытесняются катионами нейтральных солей:

$$ПН^+ + KCl \rightarrow ПК^+ + HCl.$$

Образующаяся в результате обмена соляная кислота растворяет присутствующие в почве гидроксиды и некоторые другие соединения алюминия:

$$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O.$$

Обе гипотезы одинаково объясняют, и кислую реакцию соленых вытяжек из почв, и присутствие в них алюминия.

К настоящему времени экспериментально установлено, что в малогумусных горизонтах кислых почв (горизонты Е, B_1, B_2 дерново-подзолистых почв, подзолов, бурых и серых лесных почв, красноземов) обменная кислотность практически полностью обусловлена обменными ионами Al^{3+}. В гумусовых горизонтах наряду с Al^{3+} в формировании кислотности участвует H^+-ион. В таких горизонтах водородный ион может преобладать над Al^{3+} или Al^{3+} отсутствует совсем.

Для снижения почвенной кислотности в качестве химических мелиорантов используют различные материалы. Наиболее употребительны осадочные породы, содержащие 50–70% карбонатов и состоящие преимущественно из глинисто-карбонатных осадочных пород: кальцита $CaCO_3$, доломита $CaMg(CO_3)_2$, доломитизированных известняков и др. Кроме того применяют известняковые туфы и различные промышленные отходы: дефекат (отход свеклосахарного производства), доменные шлаки и др. В большинстве мелиорантов действующим веществом является $CaCO_3$. При его внесении в почву происходит реакция:

$$ПН_2^+ + CaCO_3 \rightarrow ПCa^{2+} + H_2CO_3 \rightarrow ПCa^{2+} + H_2O + CO_2^{\uparrow}$$

или

$$ПAl_2^{3+} + 3CaCO_3 + 3H_2O \rightarrow ПCa_3^{2+} + 2Al(OH)_3 + 3CO_2^{\uparrow}.$$

В результате этих реакций создаются наиболее благоприятные условия: почвенный поглощающий комплекс насыщается кальцием, а в почвенном растворе образуется слабая угольная кислота, которая легко разлагается, поставляя в приземный слой воздуха CO_2, необходимый для фотосинтеза. При реакции с обменным алюминием в твердую фазу дополнительно переходит осадок $Al(OH)_3$. Появление свежеосажденного гидроксида алюминия может отрицательно сказаться на растениях, поскольку из аморфного осадка Al может поступать в растение при прямом контакте гидроксида с корневой системой. Чтобы избежать негативного влияния Al и исключить возможность разрушения ППК вследствие самопроизвольных переходов $ПН^+ \rightarrow ПAl^{3+} \rightarrow ПН^+$, ре-

жим известкования должен быть рассчитан на создание устойчивого во времени значения pH.

Контрольные вопросы

1. Какова роль и значение катионообменной способности почв?
2. Объясните сущность процесса катионного обмена.
3. Дайте определение понятию «почвенный поглощающий комплекс», какова роль ППК в обменных процессах?
4. Объясните зависимость емкости катионного обмена от кислотности почв; гранулометрического состава; органической и минеральной части почв.
5. Поясните физический смысл формулы Д. Хиссинка для определения степени насыщенности почв основаниями.
6. Каковы причины негативного влияния повышенной кислотности на растение?
7. Дайте определение понятиям «актуальная» и «потенциальная» кислотность, поясните их.

Тема 5. Состав гумуса и методы его изучения

Ключевые вопросы темы

Гумус. Прогуминовые вещества. Гумусовые кислоты. Фульбокислоты. Гумин. Групповой состав гумуса. Фракционный состав гумуса.

Методические рекомендации

Собственно гумус (гуминовые вещества) – это более или менее темноокрашенные, высокомолекулярные соединения кислотной природы, состоящие из углеводов (10–20 %), азотистых соединений (20 %), алифатических соединений (10–20 %) и ароматики. Они представлены гумусовыми кислотами (наиболее характерные вещества) и прогуминовыми соединениями, образующимися в культурных средах и при ферментативном синтезе: гуминовыми кислотами, фульвокислотами и гумином. Эти вещества обусловливают устойчивые, типовые признаки почв, могут сохраняться в почвах длительное время. Все эти вещества темноокрашенны благодаря присутствию ароматики. Гумусное состояние почв характеризуется совокупностью показателей, отражающих уровни накопления гумуса в почве, его профильное распределение, качественный состав, образование органно-минеральных производных и миграционную способность гумусовых веществ.

В методах анализа качественного состава гумуса определение прогуминовых веществ не предусмотрено, но их присутствие обнаруживается при детальном фракционировании выделенных из почвы препаратов. Прогуминовые вещества сходны с промежуточными продуктами распада органических остатков, разделяющая их граница очень условна.

Гумусовые кислоты четко выделяются среди других групп по свойствам и составу; это азотсодержащие высокомолекулярные оксикарбоновые кислоты с интенсивной темно-бурой или красновато-бурой окраской. Разработаны различные методы извлечения из почвы гумусовых кислот и предложены способы идентификации. Гумусовые кислоты (смесь) экстрагируют из почв растворами щелочей (обычно это 0,1–0,5 н. *NaOH*), а затем по растворимости

разделяют на гуминовые кислоты, гиматомелановые кислоты и фульвокислоты.

Гуминовые кислоты (ГК) отделяют от других компонентов щелочной вытяжки путем ее подкисления до 1–2. В кислой среде гуминовые и гиматомелановые кислоты выпадают в осадок, в растворе остаются фульвокислоты. Из полученного осадка можно выделить гиматомелановые кислоты; они растворяются при обработке осадка этанолом, образуя вишнево-красный раствор. Гиматомелановые кислоты долгое время включали в группу гуминовых кислот. Сейчас гиматомелановые кислоты выделяют в особую группу.

Группа гуминовых кислот по содержанию углерода, оптической плотности и другим признакам разделяется на две подгруппы: черные (серые) и бурые гуминовые кислоты. Разделение черных (серых) и бурых гуминовых кислот осуществляют методом высаливания: в 2 н. растворе NaCl черные (серые) гуминовые кислоты коагулируют и выпадают в осадок.

Термин фульвокислоты (ФК) употребляется в двух значениях [46]:

– фульвокислоты – это сумма кислоторастворимых органических веществ, выделяемых в ходе анализа группового и фракционного состава гумуса по методу И. В. Тюрина и представлены как, собственно, фульвокислотами, так и большим набором лабильных органических соединений;

– собственно фульвокислоты – специфические гумусовые кислоты, растворимые в водных, щелочных и кислых растворах; их выделяют из смеси кислоторастворимых органических веществ адсорбцией на активированном угле по методу У. Форсита.

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

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

Гумин (или негидролизуемый остаток) – это та часть органического вещества, которая не извлекается из почвы растворами кислот, щелочей или органическими растворителями. Перевести ее в раствор удается только после разрушения силикатной части почвы (обработка почвы HF) или после окисления, вызывающего очень сильное изменение состава и свойств веществ, входящих в негидролизуемый остаток.

Негидролизуемый остаток почвенного гумуса включает ряд групп веществ: гумусовые кислоты, прочно связанные с минеральной частью, декарбоксилированные гуминовые вещества, утратившие способность растворяться в щелочах, неспецифические и нерастворимые органические соединения; вероятно, присутствие остатков, не утративших анатомического строения (обломки хитиного покрова насекомых).

Гумусовые вещества не имеют регулярной структуры, и молекулы их не

имеют одинакового строения, хотя имеют сходный элементный состав и набор функциональных химических групп.

Гумус представляет собой устойчивый остаточный продукт разложения растительных остатков микробным сообществом, не поддающийся дальнейшему прямому разложению. Химически же он является продуктом трансформации этих остатков в устойчивое соединение.

Гумус разлагается микробным сообществом и в зависимости от условий представляет динамический резервуар устойчивого органического углерода почвы. Для разлагающей гумус микрофлоры С. Н. Виноградским было предложено название автохлонная. Типичными организмами, развивающимися на гуминовых веществах, являются артробактеры и нокардии – олиготрофные организмы, живущие при крайне низком содержании доступной органики. Олиготрофные организмы медленно разлагают труднодоступное органическое вещество. В отличие от олиготрофов, одиночные, подвижные клетки диссипотрофов (например, спирохеты) используют доступную органику в очень низкой концентрации.

В числе органических веществ, формирующих гумус, наиболее специфичны гумусовые кислоты и их органоминеральные производные. Они и лежат в основе обобщенных характеристик гумусного состояния почв.

В сложной системе органических веществ, формирующих почвенный гумус, И. В. Тюриным было выявлено две главные черты, которые характеризуют наиболее существенные стороны почвообразования:

1. Формирование и накопление специфических гуминовых веществ – гуминовых кислот и фульвокислот, являющихся конечными продуктами гумификации;

2. Взаимодействие органических веществ с минеральными компонентами почвы, отражающее специфику групп и типов почв и влияющее на растворимость и подвижность, как отдельных групп гуминовых веществ, так и минеральных компонентов.

По И. В. Тюрину, качественные особенности гумуса различных типов почв, или его фракционно-групповой состав, характеризуются количественным соотношением групп и фракций важнейших составных частей почвенного гумуса.

Групповой состав гумуса – это набор и количественное содержание групп специфических и неспецифических веществ, входящих в состав гумуса. Под группой веществ понимается совокупность родственных по строению и свойствам соединений. Важнейшими группами являются:

– гуминовые кислоты (с подгруппами черных (серых) и бурых ГК);
– гиматомелановые кислоты;
– фульвокислоты;
– гумин (условное наименование);
– группы неспецифических соединений.

Неспецифические (индивидуальные) соединения представлены различными группами веществ, но в ходе анализа их обычно определяют совместно (за исключением специальных исследований). В составе неспецифических со-

единений выделяется группа липидов, все представители которой отличаются общим свойством – растворимостью в органических растворителях. Групповой состав гумуса – функция биохимической активности почв – отражает специфику процесса гумификации в различных типах почв.

Фракционный состав гумуса характеризует распределение веществ, входящих в те или иные группы почвенного гумуса по формам их соединений с минеральными компонентами почвы. Фракционный состав является функцией содержания и состава солей, минералогического состава почв и условий протекания реакции взаимодействия, среди которых наиболее важна степень кислотности или щелочности почв. Те же факторы влияют на формирование группового состава, поэтому часто наблюдается корреляция между групповым и фракционным составом.

Термин «фракция» применительно к гумусовым веществам употребляют в двух значениях. В узком смысле (по И. В. Тюрину и В. В. Пономаревой) *фракцией* называют часть группы, отличающуюся от других частей той же группы гуминовых веществ формой связи с минеральными компонентами почвы. И.В. Тюрин и В.В. Пономарева различают следующие фракции гуминовых веществ:

– свободные (не связанные с минеральными компонентами);

– связанные с подвижными формами полуторных оксидов;

– связанные с кальцием;

– связанные с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами;

– вещества нерастворимого остатка («гумин»).

В общем смысле фракцией называют любую часть группы, отличающуюся от остальных частей по какому-либо условно избранному признаку, например, по молекулярным массам.

Все методы определения гумуса по углероду делятся на прямые и косвенные. Прямые методы основаны на учете CO_2, выделяющегося при сжигании органического вещества почвы путем прокаливания (сухое сжигание) или окисления гумуса смесью хромовой и серной кислот (мокрое сжигание). Прямые методы наиболее точны, но требуют для анализа много времени. Из прямых методов определения гумуса мокрым сжиганием наиболее распространенным является метод Кноппа.

Косвенные методы определения гумуса основаны на учете кислорода, необходимого для его окисления, при этом исходят из предположения, что при окислении весь кислород расходуется только на окисление углерода.

В настоящее время в отечественной литературе преобладают материалы по гумусному состоянию различных почв, полученных двумя методами: по И. В. Тюрину и тем же методом в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой.

По методу И. В. Тюрина определяют содержание в почве следующих групп органических соединений:

1. Вещества, растворимые в спиртобензольной смеси (липиды – различные смолы и воска);

2. Неспецифические органические соединения и часть гуминовых веществ, растворяющиеся при обработке почвы 0,05 н. HCl или H_2SO_4 (вещества декальцината);

3. Свободные гуминовые кислоты и кислоты, связанные с подвижными полуторными оксидами. Извлекают при непосредственной обработке почвы 0,1 н. NaOH без предварительного декальцирования (фракция I);

4. Гуминовые кислоты и фульвокислоты, предположительно связанные с кальцием. Извлекают обработкой почвы 0,1 н. NaOH после декальцирования (фракция II; вычисляют по разности);

5. Гуминовые кислоты и фульвокислоты, прочно связанные с минеральной частью почвы. Для их извлечения остаток почвы от предыдущей операции попеременно обрабатывают 0,1 н. H_2SO_4 и 0,1 н. NaOH (фракция III);

6. Гумин – нерастворимый остаток органических веществ почвы.

Схема Тюрина включает разделение гумуса почвы на группы, различающиеся как по природе (гуминовые кислоты, фульвокислоты и т. д.), так и по формам связи с минеральной частью почвы.

Метод отличается полнотой и информативностью. Первоначально им было предложено проводить декальцирование 0,1 н. Na_2SO_4. Использование сульфата натрия действительно обеспечивает преимущественно декальцирование, иными словами, ион натрия вытесняет из почвы только обменные катионы кальция, магния, водорода, алюминия, калия. При этом в водные растворы частично переходят некоторые соли, не исключен и частичный гидролиз органических соединений. Количественно эти явления не сильно выражены, и поэтому можно считать, что основной итог операции по декальцированию – перевод гуминовых веществ в натриевую форму – обеспечивает их хорошую последующую растворимость без сопутствующих реакций.

В методе Тюрина исчерпывающая попеременная обработка кислотой и щелочью обеспечивает полный выход наиболее прочно связанных с минеральной частью гуминовых веществ. Содержание гумина по методу Тюрина определяется непосредственно в остатке почвы, что исключает суммирование всех ошибок в этой последней величине.

Несмотря на перечисленные положительные стороны, наибольшее распространение получила модификация метода по В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой. Одна из причин, заключается в ускорении и облегчении некоторых операций.

Методика определения состава гумуса в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой дает возможность определить в составе почвенного гумуса три фракции гуминовых кислот и четыре фракции фульвокислот.

Гуминовые кислоты.

Фракция 1 – растворимая непосредственно в 0,1 н. NaOH, свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами.

Фракция 2 – растворимая в 0,1 н. NaOH только после декальцирования почвы и связанная в основном с кальцием.

Фракция 3 – растворимая в 0,02 н. NaOH при 6-часовом нагревании в водяной бане, связанная с глинистыми минералами и устойчивыми полутор-

ными оксидами.

Фульвокислоты.

Фракция 1а – растворимая в 0,1 н. H_2SO_4 при декальцировании почвы, свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами.

Фракция 1 – растворимая непосредственно в 0,1 н. NaOH и связанная в почве с фракцией 1 гуминовых кислот.

Фракция 2 – растворимая в 0,1 н. NaOH только после декальцирования и связанная с фракцией 2 гуминовых кислот.

Фракция 3 – растворимая в 0,02 н. NaOH при 6-часовом нагревании на водяной бане и связанная с фракцией 2 гуминовых кислот.

Метод В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой имеет ряд недостатков. Все операции по извлечению гуминовых веществ являются однократными, только декальцирование проводят до полного удаления кальция. Нахождение фракций ГК, предположительно связанных с кальцием, осуществляют по разности, при этом нередко получается отрицательная величина.

Для определения органического углерода в органогенных материалах (лесные подстилки, торфяные почвы, растительные материалы, органические удобрения и др.) метод И. В. Тюрина непригоден. Поэтому используют метод сухого сжигания Кноппа или метод Анстета. Наиболее употребителен в настоящее время метод Анстета в модифиюции В. В. Пономаревой и Т. А. Николаевой.

Экспресс-метод по М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой для определения состава гумуса основан на извлечении из почвы гумусовых веществ смесью пирофосфата натрия и NaOH. В ускоренном пирофосфатном методе определения состава гумуса исключен длительный (особенно в случае карбонатных почв) процесс декальцирования почвы. Кроме того, однократное настаивание почвы со смесью пирофосфата натрия и NaOH без последующего отмывания водой значительно сокращает время анализа. Выход гумусовых веществ близок к результатам по сокращенной схеме Тюрина.

В пирофосфатно-щелочную вытяжку переходят гумусовые вещества свободные и связанные с несиликатными формами железа и алюминия, а также связанные с кальцием. Разграничение этих двух фракций производят путем дополнительного определения количества гумусовых веществ, извлекаемых из декальцированной почвы 0,1 М NaOH.

Контрольные вопросы

1. Что называется гумусом и каковы пути ого образования?

2. Дайте характеристику гумусовым кислотам прогуминовым соединениям.

3. Что включает в себя групповой и фракционный состав гумуса?

4. На чем основаны прямые и косвенные методы определения гумуса?

5. Объясните сущность методов определения гумуса: по И. В. Тюрину, по И. В. Тюрину в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой, экспресс-метод по М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой.

Тема 6. Соединения азота и методы его определения

Ключевые вопросы темы

Неорганические и органические формы азота. Синтез белка в растениях. Мобилизация азота.

Методические рекомендации

Азот входит в состав важных органических соединений, таких, как белки, нуклеиновые кислоты, фосфолипиды и составляет около 1,5 % сухой массы растений. Азот находиться в составе соединений группы порфиринов, которые лежат в основе хлорофилла и цитохромов, и многочисленных коферментов, в том числе НАД и НАДФ, в состав гормонов роста, таких, как ауксины и цитокинины, а также во многие витамины.

Формы азота в окружающей растения среде разнообразны: в атмосфере газообразный азот и пары аммиака, в почве – неорганические формы азота (азот аммиака, аммония, нитратов, нитритов) и органические (азот аминокислот, амидов, белка, гумуса и др.).

Высшие растения поглощают соединения азота из почвы. Основным источником азотного питания для растений являются нитраты и аммиак.

Корневые системы растений хорошо усваивают нитраты, которые, поступая в корни растения, подвергаются ферментативному восстановлению до нитритов и далее до аммиака. Этот процесс происходит главным образом в корнях.

Восстановление нитратов до аммиака идет через ряд этапов. Нитраты восстанавливаются до нитритов при участии фермента нитратредуктазы. Нитратредуктаза относится к индуцибельным ферментам. Ее новообразование вызывается присутствием в среде нитратов. Вместе с тем накопление продукта реакции нитритов репрессирует образование нитратредуктазы. Цитокинины также индуцируют синтез нитратредуктазы. Восстановление нитратов до аммиака катализируется ферментом нитритредуктазой и идет через образование нитроксила (NOH) и гидроксиламина (NH_2OH) в качестве вероятных промежуточных соединений.

Для восстановления нитратов необходимо присутствие донора водорода и электронов, которыми являются восстановленные никотинамиды (НАДФ·H_2 или НАД·H_2). Поставщиком этих соединений являются процесс дыхания и световые реакции фотосинтеза. Поэтому восстановление нитратов тесно связано с дыхательным газообменом. Для нормального протекания процесса дыхания растение должно быть обеспечено углеводами.

Наряду с нитратами в растение могут поступать и нитриты, которые также подвергаются восстановлению до аммиака. Однако нитриты при накоплении могут оказаться ядовитыми. Нитриты образуются в цитоплазме, фермент нитритредуктаза локализован в хлоропластах. Передвижение нитритов в хлоропласты стимулируется *Ca*. При недостатке *Ca* нитриты не восстанавливаются до аммиака и накапливаются в клетках.

Важнейшим источником азотного питания является аммонийный азот. При этом он поступает в растения даже быстрее, чем нитраты. Более быстрое поглощение аммиака объясняется тем, что для его использования на построе-

ние органических веществ не требуется предварительного восстановления, которое необходимо при питании растений нитратами. Аммиак представляет собой основное и, часто, единственное соединение, вовлекаемое в процессы азотистого обмена. При этом аммиак может быть разного происхождения: непосредственно поступивший из почвы, образовавшийся в результате восстановления нитратов или в результате вторичного распада белка в стареющих органах и клетках. Накопление аммиака в клетках, как растений, так и животных приводит к нежелательным последствиям и даже отравлению организма. Однако растения обладают способностью обезвреживать аммиак путем присоединения его к органическим кислотам с образованием **амидов** (глутамина, аспарагина). Этот процесс аналогичен обезвреживанию аммиака животными организмами в виде мочевины.

Существует целая группа растений, накапливающая большое количество органических кислот и с их помощью обезвреживающая аммиак, образуя соли. Это позволило разделить растения на амидные, образующие амиды аспарагин и глутамин, и аммиачные, образующие соли аммония. Изменяя pH клеточного сока, можно менять направление азотистого обмена, превращать растения с амидным типом обмена в аммиачные и наоборот.

Растительный организм обладает способностью синтезировать все необходимые ему аминокислоты из неорганических соединений в разных органах растений. Некоторые аминокислоты образуются непосредственно в хлоропластах и здесь используются на образование белка. Наиболее интенсивно синтез белка происходит в меристематических и молодых развивающихся тканях.

Для нормального протекания синтеза белка в растительном организме нужны следующие условия:

1) обеспеченность азотом;

2) обеспеченность углеводами, которые необходимы как материал для построения углеродистого скелета аминокислот, и как субстрат для дыхания;

3) высокая интенсивность и сопряженность процесса дыхания и фосфорилирования – на всех этапах преобразования азотистых веществ (восстановление нитратов, образование амидов, активизация аминокислот при синтезе белка и др.) необходима энергия, заключенная в макроэргических фосфорных связях (АТФ);

4) присутствие нуклеиновых кислот – ДНК необходима как вещество, в котором зашифрована информация о последовательности аминокислот в синтезируемой молекуле белка; и-РНК – как агент, обеспечивающий перенос информации от ДНК к рибосомам; т-РНК – как обеспечивающая перенос аминокислот к рибосомам, где происходит синтез белка;

5) наличие катализатора синтеза белка – белка-фермента аминоацил-тРНК-синтетазы;

6) присутствие ряда минеральных элементов (например, иона Ca^{2+}).

Образованием белка заканчивается прогрессивная ветвь азотистого обмена в растениях, которая преобладает главным образом в молодых растущих органах (первичный синтез белковых веществ). Однако в растениях идет и непрерывный распад белка.

Регрессивная ветвь азотистого обмена начинается с процесса распада белков. Белки распадаются до аминокислот и далее до аммиака. Аммиак обезвреживается в виде амидов (аспарагин и глутамин). На основе этих соединений образуются аминокислоты. Это позволяет организму синтезировать новый набор аминокислот, который обеспечит построение иных белков со своим специфическим набором и последовательностью аминокислот (вторичный синтез белковых веществ).

Устойчивые, постоянно присутствующие в почвах соединения азота представлены его формами с валентностями –3 и +5. Соединения с иными степенями окисления азота встречаются в малых количествах или эфемерно.

Аммиак NH_3 в свободной форме в почвах практически не встречается. Он может продуцироваться при разложении органических удобрений, но в небольших количествах. Аммиак хорошо растворим в воде до 50–70 г NH_3 на 100 г воды при 10–20 °С. При растворении NH_3 в воде образуются гидраты $NH_3 \cdot H_2O$, и частично происходит реакция:

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-.$$

Аммониевые («ониевые») соединения – это соединения, образованные путем обобщения свободной электронной пары с веществом, имеющим вакантную орбиту. Общая формула таких соединений [46]:

$$R_{n+1}Э^+X^-,$$

где $Э^+$ – атом N, P, O и т. п.; *n* – его низшая степень окисления; R – водород или органический радикал; X^- – анион.

В случае хлорида аммония соответствующая формула записывается так:

$$[H_{3+1}N^{3+}] + Cl^- \text{ или } NH_4Cl.$$

Если Э представлен атомом P, то такие соединения называют фосфониевыми, если S – сульфониевыми, O – оксониевыми и т. д.

Преобладающая часть азота почвы представлена органическими соединениями. В гумусовых горизонтах почв на органически соединения приходится 93 – 99 % всего азота. В глубоких горизонтах доля органического азота падает часто за счет так называемого фиксированного аммония; до 30 – 60 % всего азота малогумусных горизонтов может находиться в виде фиксированного аммония.

Минеральные соединения азота кроме аммония представлены нитратами и нитритами. Содержание нитритов в почве очень низкое – десятые доли миллиграмма азота на 1 кг почвы. Кроме того, в газовой фазе обнаруживаются оксиды азота. В доступных растениям минеральных соединениях находится, как правило, 1–3 % общего количества азота почвы. Но не весь минеральный азот доступен растениям; недоступен, в частности, фиксированный аммоний.

Резервы азота для питания растений представлены органическими соединениями. Химическая (или биохимическая) трансформация этих веществ, в результате которой образуются доступные растениям соединения азота, называется *мобилизацией азота.* Даже бедные дерново-подзолистые почвы содержат в пахотном слое 2–4 т/га азота, которого при условии мобилизации достаточно для формирования высоких урожаев в течение 50–60 лет. Запасов азота в черноземе хватило бы на 300–400 лет. Однако мобилизация азота допустима

только в небольших пределах, поскольку в ее результате происходит постепенное разрушение гумуса и, как следствие, утрата почвой всех ее агрономических ценных свойств.

В органической части почв главные соединения азота представлены следующими группами: азот аминогрупп, аммонийный азот, азот аминосахаров, негидрализуемый азот. Перечисленные органические соединения азота входят как в состав неспецифических органических соединений, так и в состав гумусовых кислот.

Трансформация соединений азота в почвах включает следующие процессы:

• фиксацию атмосферного азота свободноживущими и клубеньковыми бактериями;

• превращение азотсодержащих соединений органических остатков в гумусовые кислоты;

• аммонификацию органических азотсодержащих соединений;

• процессы нитрификации;

• денитрификацию и потерю азота в атмосферу;

• фиксацию иона NH_4^+ глинистыми минералами;

• вымывание различных соединений азота с внутрипочвенным и поверхностным стоками.

Рассмотрим важнейшие процессы, влияющие на баланс и доступность азота растениям. Ион аммония попадает в почву с удобрениями (аммонийная селитра) или образуется в результате процесса аммонификации.

Аммонификация – это процесс разложения содержащих азот органических веществ, протекающий с участием специфических микроорганизмов и ведущий к образованию NH_3 или NH_4^+. Ион аммония почвенного раствора может быть потерян в результате вымывания или входить в почвенный поглощающий комплекс и таким способом закрепляться в почве. Реакция NH_4^+ происходит по типу либо обменного, либо необменного поглощения.

Необменные поглощения называют также фиксацией катионов. Фиксация ионов NH_4^+ обусловлена присутствием в почве трехслойных глинистых минералов. В минералах с расширяющейся решеткой, как в монтмориллоните, связь между заряженным слоем и межпакетными катионами сравнительно слабая; в межпакетные промежутки легко проникают молекулы воды и некоторые органические вещества, вызывающие расширение решетки.

Катионы, компенсирующие избыток отрицательного заряда решетки и связывающие пакеты, вступают в обменные реакции. В минералах с высоким отрицательным зарядом решетки межплоскостные катионы образуют прочные связи между пакетами.

Содержание фиксированного аммония в почвах меняется в широких пределах. Потенциальная способность почв и минералов фиксировать NH_4^+ составляет несколько мг-экв/100 г, достигая в некоторых случаях 10–12 мг-экв/100 г.

Наряду с ионом NH_4^+ часть азота, как указано выше, может находиться и в форме аммиака NH_3. Аммиак образуется при разложении мочевины, некото-

рых других органических соединений или вносится в почву в виде водного или безводного NH_3 в качестве удобрений. Аммиак сорбируется твердыми фазами почв за счет межмолекулярных сил; легко происходит хемосорбция NH_3. Аммиак может удерживаться водородными связями на поверхности глинистых минералов.

Аммонификацию можно рассматривать как первую стадию минерализации содержащих органических соединений. Следующая стадия – *нитрификация.* При нитрификации аммиак окисляется до нитритов и нитратов. Этот процесс протекает в два этапа.

Первый, осуществляемый бактериями *Nitrosomonas* и др., заключается в окислении NH_3 до HNO_2 через гидроксиламин NH_2OH и гипонитриты (соли азотноватистой кислоты HO – N = N – OH) как промежуточные продукты:

$$NH_3 \rightarrow NH_2O \rightarrow HO - N{=}N\text{-}OH \rightarrow HO\text{-}N{=}O.$$

Второй этап инициируется бактериями *Nitrobacter* и др., при этом трехвалентный азот окисляется до пятивалентного. Скорость второго этапа значительно выше, чем скорость первого. Поэтому нитриты в почвах редки, за исключением щелочных почв.

Нитрификация протекает в почве при окислительных условиях. Если аэрация почвы затруднена, то нитрификация сначала тормозится, а при развитии восстановительных условий прекращается. Начинают господствовать процессы денитрификации, которые ведут к газообразным потерям азота. До 15 % вносимых азотных удобрений подвергается денитрификации.

Денитрификация осуществляется либо биологическим путем, с помощью бактерий дитрификаторов, либо химическим путем. Денитрификация в корнеобитаемом слое снижает обеспеченность растений азотом. Газообразные потери азота происходят не только в форме N_2, но и в виде закиси азота N_2O.

Чтобы снизить газообразные потери азота, используют ингибиторы процесса денитрификации, т. е. вещества, подавляющие этот процесс. В качестве ингибиторов применяют такие соединения, как 2-хлор-6-трихлорметилпиридин (торговое название «N-serve») и 2-амино-4-хлор-6-метилпиридин (торговая марка «АМ») [46].

Для определения количества минеральных форм азота почву анализируют на содержание обменного и водорастворимого аммония и нитратов. Для выяснения способности почв к мобилизации органических соединений азота устанавливают нитрифицирующую способность почв.

Метод Корнфилда для определения щелочегидролизуемого азота основан на гидролизе органических соединений почвы 1 М раствором NaOH. Выделяющийся при этом аммиак учитывают микродиффузионным методом при поглощении его раствором борной кислоты путем титрования 0,01 М раствором H_2SO_4.

Метод И. В. Тюрина и М. М. Кононовой для определения подвижных форм азота основан на обработке почвы 0,25 М раствором H_2SO_4 при комнатной температуре и последующем определении общего количества азота, переходящего в вытяжку. При этом обычно учитывается как минеральный азот (аммиак и нитраты), так и водорастворимые и гидролизуемые формы органи-

ческих соединений азота (аминокислоты, амиды, некоторые группы белковых веществ).

Аммонийный азот находится в почве в форме обменного катиона и в виде водорастворимых солей. Его извлекают обработкой почвы 1 М раствором KCl и определяют колориметрически или по методу Кьельдаля (микрометод).

Колориметрическое определение основано на взаимодействии NH_4 с реактивом Несслера, при котором образуется йодистый меркураммоний, окрашенный в желтый цвет:

$$NH_4OH + 2K_2HgI_4 + 3KOH = NH_2Hg_2OI + 7KI + 3H_2O.$$

Для связывания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, которые также переходят в раствор и мешают определению, к раствору прибавляют сегнетовою соль $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$.

Метод Кьельдаля дает возможность определить весь органический азот в почве. Количество минеральных соединений азота (нитриты, нитраты) этим методом не учитывается.

Принцип метода Кьельдаля основан на том, что все органическое вещество почвы сжигается концентрированной серной кислотой. Азот при этом переходит в форму $(NH_4)_2SO_4$. Образовавшийся $(NH_4)_2SO_4$ разрушают щелочью, а выделяющийся при этой реакции NH_3 улавливают в определенный объем титрованного раствора H_2SO_4. Избыток H_2SO_4, не израсходованный на связывание азота, оттитровывают раствором NaOH или KOH.

По методу Грандваля–Ляжу нитраты извлекают из почвы дистиллированной водой или 0,1 М KCl и определяют колориметрически. Тогда при взаимодействии нитратов с дисульфофеноловой кислотой в щелочной среде образуются производные, окрашенные в желтый цвет. Вначале образуются тринитрофенолы:

$$\underset{\text{дисульфофеноловая кислота}}{C_6H_3OH\,(HSO_3)_2} + 3HNO_3 = \underset{\text{тринитрофенол}}{C_6H_2OH\,(NO_2)_3} + 2H_2SO_4 + H_2O,$$

а после прибавления щелочи – нитропроизводные, окрашенные в желтый цвет (определению мешают хлориды и аммиачные соли):

$$C_6H_2OH\,(NO_2)_3 + KOH = C_6H_2\,(NO_2)_3 \cdot OK + H_2O.$$

Контрольные вопросы

1. В каких формах азот находится в окружающей среде?
2. Каким образом происходит поступление азота в растение и его трансформация как источника питания?
3. Каковы условия нормального протекания синтеза белка в растениях?
4. Дайте характеристику устойчивых соединений азота в почвах.
5. Каковы пути трансформации азота в почвах?
6. Объясните сущность методов определения азота: по Корндфилду, по И. В. Тюрину и М. М. Кононовой, по Кьельдалю, по методу Грандваля–Ляжу.

Тема 7. Соединения фосфора и калия и методы их определения

Ключевые вопросы темы

Фосфорилирование. Трансфосфорилирование. Минерализация органи-

ческих соединений фосфора. Изменение подвижности фосфорных соединений. Иммобилизация фосфора. Фиксация фосфатов. Формы соединений калия. Общий, ближний и потенциальный резерв калия. Методы определения групп минеральных соединений фосфора и калия в почвах

Методические рекомендации

Содержание *фосфора* в растениях составляет около 0,2 % на сухую массу. Фосфор поступает в корневую систему растений в виде окисленных соединений, главным образом остатка ортофосфорной кислоты ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}). Физиологическое значение фосфора состоит в том, что он входит в состав ряда органических соединений (нуклеиновые кислоты, нуклеотиды, фосфолипиды, витамины и др.), играющие центральную роль в обмене веществ. Многие фосфорсодержащие витамины и их производные являются коферментами и принимают непосредственное участие в каталитическом акте, ускоряющем течение важнейших процессов обмена (фотосинтез, дыхание и др.). Все превращения сводятся лишь к присоединению или переносу остатка фосфорной кислоты (фосфорилирование и трансфосфорилирование).

Фосфорилирование – присоединение остатка фосфорной кислоты к какому-либо органическому соединению с образованием эфирной связи. Например, взаимодействие фосфорной кислоты с карбонильной, карбоксильной или спиртовой группировками.

Трансфосфорилирование – процесс, при котором остаток фосфорной кислоты, включенный в состав одного органического вещества, переносится на другое органическое вещество. Ряд важнейших в биологическом отношении фосфорных соединений содержит несколько остатков фосфорной кислоты. Для фосфора характерна способность к образованию связей с высоким энергетическим потенциалом (макроэргические связи). Такие связи нестабильны, это облегчает их обмен и позволяет использовать энергию на самые различные биохимические и физиологические процессы.

Важным соединением, содержащим макроэргические фосфорные связи, является АТФ. Фосфорная кислота, поступая в живые клетки корня, быстро включается в состав нуклеотидов, образуя АМФ и АДФ. Далее в процессе субстратного и окислительного фосфорилирования (анаэробная и аэробная фазы дыхания) образуется АТФ. Образовавшаяся АТФ используется на активацию сахаров, аминокислот, синтез нуклеиновых кислот, белков и на другие процессы.

Недостаток фосфора влияет на все процессы жизнедеятельности растений. Фотосинтез, дыхание, рост требуют для нормального протекания достаточного снабжения фосфором.

Структура внешней электронной оболочки атома фосфора записывается формулой $3s^2 3p^3$ в соответствии с такой структурой для фосфора наиболее характерны степени окисления – 3 (например, фосфин PH_3), +3 (например, PCl_3) и + 5 (ортофосфорная кислота H_3PO_4). Несмотря на исключительно большое разнообразие минеральных и органических соединений фосфора, в природе в виде минералов встречаются практически только производные ортофосфорной кислоты – ортофосфаты, причем около 95 % всех природных фосфатов –

это фосфаты кальция.

В почву и другие компоненты биосферы фосфор поступает с растительными и животными остатками, удобрениями; значительная часть его привносится почвообразующей породой. Некоторая часть фосфора поступает с атмосферными осадками, с космической и атмосферной пылью и техногенным путем, например, в результате применения инсектицидов и фунгицидов.

Большая часть природных фосфатов представлена преимущественно кальциевыми ортофосфатами. Кроме фосфатов кальция существенное значение имеют фосфаты алюминия и железа.

Соединения фосфора в почвах подвергаются различным превращениям. Из них наибольшее значение для генезиса и плодородия почв имеют:

• минерализация органических соединений фосфора;
• изменение подвижности фосфорных соединений;
• иммобилизация фосфора;
• фиксация фосфатов.

Минерализацией называют превращение органических соединений фосфора в минеральные в результате деятельности микроорганизмов. Под действием различных ферментов, например фитаз, от органических фосфорсодержащих соединений отщепляются остатки ортофосфорной кислоты.

На долю органических соединений фосфора в почвах приходится от 10–20 до 70–80 % всех запасов фосфора. Поэтому органические соединения служат важным резервом обеспечения растений фосфором.

Изменение подвижности («мобилизация») фосфорсодержащих веществ – это превращение труднорастворимых соединений в легкорастворимые или их переход в почвенный раствор. Главный путь изменения (увеличения) подвижности связан с превращением трикальцийфосфата в ди– или монокальцийфосфат:

$$Ca_3(PO_4)_2 \rightarrow CaHPO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 .$$

Эта реакция идет в присутствии свободных кислот, образующихся, в частности, путем биохимической трансформации почвенных углеводов в органические кислоты.

Иммобилизацией называют превращение неорганических соединений фосфора в органические формы (фосфолипиды, нуклеиновые кислоты) микробных клеток. В результате иммобилизованный фосфор оказывается недоступным для других организмов.

Фиксация фосфора заключается в потере растворимости фосфорсодержащих соединений за счет образования прочных связей с минеральными компонентами почвы.

В почвенный раствор фосфат–ионы поступают в результате минерализации органофосфатов либо за счет удобрений. Если их концентрация повышается, то часть фосфатов фиксируется твердыми фазами. Фактически бывает трудно отличить фиксацию за счет образования труднорастворимых минералов от фиксации за счет хемосорбции. Хемосорбция осуществляется вследствие взаимодействия фосфат-ионов с атомами *Al*, *Fe* или *Ca* на поверхности твердых фаз.

Многообразие видов взаимодействия фосфат–ионов с твердыми фазами почвы не позволяют оценить фосфатное состояние почвы только одним или двумя показателями. С этой целью обычно прибегают к *групповой характеристике почвенных фосфатов.* В наиболее общей форме различают:

1) фосфаты почвенного раствора – наиболее доступные растениям и легко мигрирующие в почвенном профиле;

2) фосфаты твердых фаз, частично способные переходить в раствор – это адсорбированные фосфаты и некоторые ортофосфаты кальция и других металлов, практически нерастворимые фосфаты, окклюдированные минералами группы гидроксидов, карбонатами, гипсом и т. п.

Поглощение фосфатов почвами может осуществляться в результате специфической адсорбции, ведущей к образованию координированных соединений на поверхности сорбента, а также путем неспецифической адсорбции в диффузной части двойного электрического слоя.

Содержание *калия* в растении в среднем составляет 0,9 %. Он поступает в растение в виде иона K^+. Физиологическую роль калия нельзя считать полностью выясненной. Калий не входит ни в одно органическое соединение. Большая часть его (70 %) в клетке находится в свободной ионной форме и легко извлекается холодной водой, остальные 30 % в адсорбированном состоянии. Калий снижает вязкость протоплазмы, повышает ее оводненность. Такая особенность действия калия проявляется в том, что в его солях плазмолиз имеет выпуклую форму, протоплазма легко отстает от клеточной оболочки.

Калий активирует работу многих ферментных систем, например гексокиназу (фермент, катализирующий фосфорилирование сахаров), пируваткиназу (фермент, катализирующий перенос фосфорной кислоты с пирувата на АДФ), а также ферменты, участвующие в образовании АТФ в процессе окислительного фосфорилирования. В связи с этим при недостатке калия резко падает содержание макроэргических фосфатов. Калий активирует и ряд ферментов цикла Кребса. Многие ферменты, участвующие в синтезе белка, требуют для своего действия присутствия калия.

Недостаток калия замедляет транспорт сахарозы по флоэме. Влияние калия на передвижение органических веществ проявляется благодаря образованию градиента электрического потенциала на ситовидных пластинках, который возникает при циркуляции калия между ситовидной трубкой и сопровождающими клетками.

Соли калия растворимы и участвуют в регуляции осмотического потенциала клетки. Большое значение имеет K^+ в регуляции работы устьиц – открытие устьиц на свету связано с накоплением в замыкающих клетках ионов калия. При этом K^+ в обмен на H^+ поступает из клеток, окружающих устьичные.

Калий участвует в построении многих соединений, формирующих почвенную массу. В почвах и породах калий входит в состав нескольких групп соединений. Преобладающая его часть сосредоточена в кислых и основных полевых шпатах и слюдах.

Важными формами соединений являются обменные катионы K^+ входящие в почвенный поглощающий комплекс и растворимые соли. В почвах за-

соленного ряда K^+ водорастворимых солей может доминировать.

Соотношение разных форм соединений калия хорошо иллюстрирует схема распределения элементов по различным видам резервов, предложенная Н. И. Горбуновым. Валовое содержание элемента Н. И. Горбунов называет общим резервом, который включает непосредственный, ближний и потенциальный резервы. Количество элемента, извлекаемое из почвы вытяжками, называется непосредственным резервом. В него входят катионы растворимых солей и обменные катионы. Содержание элементов в илистой фракции почв составляет его *ближний резерв.* Это преимущественно катионы межслоевых позиций минералов с разбухающей или стабильной решеткой. Элементы *потенциального резерва* представлены преимущественно кислыми плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами, которые входят во фракции механических элементов более 0,001 мм.

Общее содержание (или общий резерв) зависит от механического и минералогического состава почв. В легких почвах все виды резервов ниже, особенно если фракция более 0,001 мм обогащена кварцем. В почвах, развитых на каолинитовых глинах, резервы ниже, чем в почвах, обогащенных смектитовыми минералами. Ближний резерв в значительной мере зависит от емкости катионного обмена. Доля непосредственных резервов калия максимальна в засоленных почвах.

Калий входит в состав полевых шпатов и алюмосиликатов группы слюд, особенно в состав иллитов. Калиевые полевые шпаты, встречающиеся в почвах, представлены микроклином, ортоклазом, санидином, адуляром, общая формула которых $K[AlSi_3O_8]$. Содержание калия в слюдах и полевых шпатах может значительно варьировать в зависимости от наличия примесей или степени выветривания минералов.

Приуроченность калия к слюдам обусловлена их кристаллохимическими особенностями. Слюды относятся к трехслойным силикатам, в которых октаэдрический слой гидраргиллитового типа заключен между двумя слоями кремнекислородных тетраэдров.

В тетраэдрических слоях около четверти ионов Si^{4+} замещены на Al^{3+}, что создает избыточный отрицательный заряд, который компенсируется ионами калия.

В структуре мусковита внешние атомы кислорода тетраэдрических слоев расположены так, что образуют гексагональные кольца. Два трехслойных пакета, образующие элементарную ячейку мусковита, совмещены таким образом, что противоположные гексагональные кольца совпадают, образуя пустоты, в которых и размещаются ионы K^+ в двенадцатикратной координации.

В каркасных силикатах ионы металлов расположены в пустотах жесткой решетки, и меньший по размерам ион может легче занимать различные положения.

Эти особенности калия отражаются на их распределении по резервам и по гранулометрическим фракциям. Полевые шпаты и другие первичные минералы тяготеют к крупным фракциям, тогда как слюдоподобные минералы – к тонкодисперсной части почв.

В песчаных фракциях солонца резко понижено содержание *К* – в 10 и даже 20 раз по сравнению с почвой в целом, что вызвано преобладанием кварца или других минералов, не содержащих калия. Количество калия непрерывно нарастает от среднего песка к илу. Это объясняется тем, что в илистой фракции преобладают слоистые силикаты с повышенным содержанием калия.

Специфика калия проявляется также в зональном распределении обменных K^+. Обменный K^+ распределен в различных почвах более равномерно в соответствии с содержанием слюдистых минералов и емкостью катионного обмена. Это создает необходимые условия для питания калием растений. Почвы, богатые калием, содержат 0,3 – 0,5 мг-экв обменного K^+ в 100 г.

В практике агрохимической и агроэкологической оценки почв предложены и используются различные методы определения групп минеральных соединений фосфора и калия в почвах. Они основаны на их различной растворимости в растворах кислот и щелочей.

Методом А. Т. Кирсанова определяются подвижные соединения фосфора и калия, которые переходят в раствор при обработке почвы 0,2 М раствором HCl. Раствор этот извлекает из почвы фосфаты кальция, большую часть фосфатов железа и алюминия, но не затрагивает органических соединений фосфора. Одновременно вытесняются обменный калий и его водорастворимые формы. Метод пригоден для некарбонатных почв.

По методу Б. П. Мачигина подвижные соединения фосфора и калия извлекают 1%-ным раствором углекислого аммония, имеющего pH 9 и дающего большей частью неокрашенные вытяжки.

Метод О. Г. Ониани для определения подвижных форм фосфора и калия в почвах основан на извлечении из почвы подвижных форм фосфора и калия 0,05 М раствором H_2SO_4 при отношении объема почвы к раствору 1:25 и времени взаимодействия 3 мин. При этом в вытяжке определяются главным образом фосфаты кальция, частично фосфаты алюминия и железа, а также водорастворимые соединения и обменный калий. Метод предназначен для бескарбонатных почв.

В последнее время большое внимание уделяется методу фракционирования почвенных фосфатов. Общая схема заключается в последовательной обработке одной навески почвы.

Обменный калий считается доступным растениям, и его определяют методами вытеснения; например, по методу Масловой ион K^+ вытесняют из почвы 1 н. раствором CH_3COONH_4:

$$ПК^+ + CH_3COONH_4 \leftrightarrow ПHN_4^+ + CH3COO^- + K^+.$$

Контрольные вопросы

1. В чем заключается физиологическое значение фосфора?
2. Дайте характеристику основным направлениям трансформации фосфора в почве.
3. В чем заключается сущность групповой характеристики почвенных фосфатов?
4. Каково физиологическое значение калия?
5. Каковы особенности содержания калия в почвах?

6. Объясните сущность методов определения фосфора и калия методами А. Т. Кирсанова, Б. М. Мачигина, О. Г. Ониани; фосфора – методом Чанга и Джексона; калия – методом Масловой.

Тема 8. Соединения микроэлементов и методы их определения

Ключевые вопросы темы

Характеристика микроэлементов (марганец, медь, цинк, молибден, бор, хлор, кобальт, натрий, ванадий). Подвижные соединения химических элементов. Первичные минералы исходных пород. Ассоциации микроэлементов. Методы определения микроэлементов.

Методические рекомендации

Практическая значимость исследований по микроэлементам связана с тем, что есть почвенные провинции, где остро недостает того или иного из них. Кроме того, часто в почве микроэлементы находятся в неусвояемом для растительного организма состоянии, поэтому внесение микроудобрений в почву очень полезно. Однако надо учитывать, что высокие дозы микроэлементов могут оказать ядовитое влияние.

Микроэлементы в подавляющем большинстве активируют определенные каталитические и ферментативные системы. Это осуществляется непосредственным участием в составе молекул ферментов или их активацией.

Важным моментом в действии всех микроэлементов является их способность давать комплексные соединения с белками и другими органическими соединениями. Разные микроэлементы могут давать комплексные соединения с одними и теми же органическими веществами, благодаря чему они могут выступать как антагонисты. Поэтому для нормального роста растений необходимо определенное соотношение микроэлементов (железа к марганцу, меди к бору и т. д.).

Марганец поступает в растение в виде ионов Mn^{2+}. Среднее содержание марганца в растениях 0,001 %. Марганец принимает активное участие в процессе дыхания, особенно его аэробной фазе: он активирует ферменты, катализирующие реакции цикла Кребса (дегидрогеназы яблочной кислоты, лимонной кислоты, декарбоксилазу щавелевоуксусной кислоты и др.). Однако, имеются данные, что в некоторых из этих реакций марганец может быть заменен кобальтом.

Марганец принимает участие в азотном обмене в процессе восстановления нитратов до аммиака – процесс проходит через этапы, катализируемые рядом ферментов, некоторые из которых, зависимы от марганца. Поэтому растения, испытывающие недостаток марганца, не могут использовать нитраты в качестве источника азотного питания. Марганец активирует ферменты, участвующие в окислении важнейшего фитогормона – ауксина.

Марганец характеризуется высоким значением окислительно-восстановительного потенциала. Он необходим для нормального протекания фотосинтеза на этапе разложения воды и выделения кислорода. Этот элемент играет специфическую роль в поддержании структуры хлоропластов: в отсутствие марганца хлорофилл быстро разрушается на свету.

Медь поступает в растение в виде иона Cu^{2+} или Cu^{+}. Она входит непосредственно в состав ряда ферментных систем, относящихся к группе оксидаз, таких, как полифенолоксидаза, аскорбатоксидаза, цитохромоксидаза. В этих ферментах медь соединена с белком через SH-группы. Кроме того, медь активирует ряд ферментов, в частности нитритредуктазу, а также протеазы. Отсюда вытекает роль меди в азотном обмене. Большая часть меди (75 % от всего содержания меди в листьях) концентрируется в хлоропластах. В хлоропластах сосредоточен и пластоцианин – медьсодержащий белок синего цвета. Содержание меди в пластоцианине составляет 0,57 %. Медь, подобно железу и марганцу, обладает способностью к обратимому окислению и восстановлению. Именно поэтому пластоцианин занимает определенное место в цепи переноса электронов между первой и второй фотосистемами. В связи с этим понятно значение меди для процесса фотосинтеза.

Цинк поступает в растение в виде ионов Zn^{2+}. Он входит в состав ферментов фосфатазы, карбоангидразы и др. Карбоангидраза катализирует разложение гидрата окиси углерода на воду и углекислый газ. Эта реакция важна для процесса фотосинтеза. Углекислый газ, поступая в клетку, растворяется в воде, образуя H_2CO_3. Фермент карбоангидраза, катализируя высвобождение CO_2 из гидрата окиси углерода, способствует его использованию в процессе фотосинтеза. Кроме того, цинк активирует такие ферменты, как енолаза, альдолаза, гексокиназа, триозофосфатдегидрогеназа. Отсюда понятно значение цинка для процесса дыхания. Цинк играет важную роль при образовании фитогормона ауксина. Это связано с тем, что цинк, повышая активность триптофансинтетазы, влияет на образование аминокислоты триптофана – предшественника ауксина. Внесение цинка повышает содержание ауксинов и заметно сказывается на темпах роста растений.

Молибден поступает в растение в виде аниона MoO_4^{2-}. При недостатке молибдена происходят изменения в азотном обмене растений – наблюдается уменьшение синтеза белка при одновременном снижении содержания аминокислот и амидов. Нарушения в азотном обмене проявляются на фоне питания растений нитратами. Это связано с тем, что молибден входит в активный центр нитратредуктазы, – фермента, восстанавливающего нитраты до нитритов. Нитратредуктаза – это флавопротеид, простетической группой которого является флавинадениндинуклеотид (ФАД). При восстановлении нитратов молибден действует как переносчик электронов от флавинадениндинуклеотида к нитрату, при этом NO^{3-} переходит в NO^{2-}, а Mo^{5+} переходит в Mo^{6+}.

Молибден вместе с железом входит в состав ферментного комплекса нитрогеназы в виде *Mo–Fe*–белок и участвует в фиксации азота атмосферы микроорганизмами. По-видимому, он обладает и другими функциями, так как необходим растению и в условиях достаточного уровня аммиачного питания. При недостатке молибдена содержание аскорбиновой кислоты резко падает. При отсутствии молибдена наблюдаются нарушения в фосфорном обмене растений.

Бор поступает в растение в виде аниона борной кислоты – BO_3^{3-}. Среднее содержание бора в растениях 0,0001 %. Роль бора выяснена недостаточно.

Это связано с тем, что бор, в отличие от большинства других микроэлементов, не входит в состав ни одного фермента.

Большое значение для осуществления функции бора имеет его способность давать комплексные соединения. Комплексы с борной кислотой образуют простые сахара, полисахариды, спирты, фенольные соединения и др. В этой связи можно предположить, что бор влияет на скорость ферментативных реакций, активируя или инактивируя не сами ферменты, а субстраты, на которые действуют ферменты. Комплексы органических соединений с борной кислотой могут иметь и иное значение. Так, способность бора образовывать комплексы с углеводами оказывает влияние на клеточную оболочку, регулируя ориентацию мицелл целлюлозы, что способствует ее большей эластичности. У растений, испытывающих недостаток бора, наблюдается быстрая потеря эластичности клеточных оболочек, что, в свою очередь, связано с более жесткой ориентацией мицелл целлюлозы.

Комплексы сахаров с бором – сахаробораты, легче проникают через мембраны и быстрее передвигаются по растению. При недостатке бора сахара накапливаются в листьях и их отток резко тормозится.

При недостатке бора нарушается синтез нуклеиновых кислот. В борнедостаточных растениях заторможен процесс аминирования органических кислот. Бор может выступать как ингибитор активности ряда ферментов, в первую очередь катализирующих образование токсичных фенольных соединений. При недостатке бора наблюдается накопление ингибиторов роста растений – кофейной и хлорогеновой кислот. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы. В этой связи опрыскивание бором способствует оплодотворению.

Хлор поступает в растение в виде Cl^-. Показана его необходимость при фотосинтетическом окислении воды.

Кобальт входит в состав витамина B_{12} и некоторых связанных с ним соединений. Витамин B_{12} не поступает извне, а синтезируется в растениях даже в стерильных условиях.

Кобальт, наряду с молибденом, необходим при фиксации азота атмосферы симбиотическими микроорганизмами, поэтому в нем сильнее нуждаются бобовые растения. Установлена необходимость кобальта для сине-зеленых водорослей. Трудность решения вопроса о необходимости кобальта для всех растений заключается в том, что потребность в нем чрезвычайно мала.

Для роста некоторых растений засоленных почв (галофитов) оказывается полезным *натрий*. Благоприятное влияние оказывает натрий на рост сахарной свеклы и цианобактерий.

Для роста диатомовых водорослей необходим *кремний.* Он улучшает рост некоторых злаков, таких, как рис и кукуруза. Кремний повышает устойчивость растений против полегания, так как входит в состав клеточных стенок.

Показана необходимость *ванадия* для Scenedesmus (зеленая одноклеточная водоросль), причем это очень специфическая потребность, так как даже для роста хлореллы ванадий не нужен.

Не все растения одинаково нуждаются и в тех элементах, которые относят к необходимым. Бор и кальций необходимы абсолютно для всех высших растений, что касается низших, то во многих случаях они могут расти и в отсутствие этих элементов. Для некоторых бактерий и грибов кальций может быть заменен стронцием или барием. Бобовые больше нуждаются в молибдене по сравнению с другими семействами. Калий в некоторых случаях и в небольших количествах может быть заменен рубидием или цезием. Бериллий может заменить магний для некоторых грибов и частично для томатов.

Первичные минералы исходных пород – это основной источник всех микроэлементов почвы за исключением йода и брома, главным источником которых является океан. Общие закономерности распространения микроэлементов в литосфере и их приуроченность к определенным группам минералов обусловлены как строением атомов элементов, так и кристаллохимией минералов. Согласно закону Ф. У. Кларка – В. И. Вернадского, в почвах распространены все известные в природе химические элементы. Закон В. М. Гольдшмидта гласит, что абсолютное количество элементов в земной коре зависит, главным образом, от строения атомного ядра, а распространение элементов, связанное с их миграцией, обусловлено строением наружных электронных оболочек атомов.

Основную группу составляют элементы, изоморфно замещающие атомы в решетке минералов. Вторую группу составляют элементы, адсорбированные на поверхности или в дефектах структуры, в пустотах решеток минералов. Третью – микроэлементы, входящие в состав акцессорных минералов – так называемых минеральных аккумуляций.

Концентрации микроэлементов в минералах варьируют в очень широких пределах. Повышенные концентрации Ga, Sr, Ba могут наблюдаться в плагиоклазах; Cr, V, Ni, Co, Mn – в пироксенах; Cr, V, Cu – в шпинелях.

Дифференциация микроэлементного состава различных минералов обеспечивает диапазон концентраций этих элементов в разных породах. В магматических и метаморфических кислых породах (гранитах, липаритах, гранитогнейсах) накапливаются редкоземельные элементы, Ba, Sr. Глины и сланцы, на долю которых приходится около 80 % всех осадочных пород, близки по своему составу к транитам. В изверженных породах среднего состава (андезитах базальтах) концентрируются халькофилы Cu, Zn, Pb и др., в изверженных породах основного и ультраосновного состава – сидерофильные элементы V, Co, Cr и др. В карбонатных породах, как правило, низко содержание большинства микроэлементов за исключением Sr, в органогенных породах (углях, углистых сланцах) высока концентрации B, Ge, Mo. Носителями бора в кислых породах являются серитизированные плагиоклазы, в гранитах содержание бора может определяться присутствием турмалина. В осадочных породах высокий уровень содержания бора обеспечивают бораты.

Концентрация микроэлементов в осадочных породах связана с основными закономерностями распределения их в процессе литогенеза.

Обогащенность основных пород металлами обусловлена присутствием в качестве породообразующих минералов плагиоклазов, пироксенов, амфибо-

лов, роговых обманок, слюд, оливина, авгита, богатых элементами группы железа.

Образование структуры системы соединений микроэлементов почвы как компонента ландшафта происходит под влиянием потоков веществ, формирующихся на разных уровнях организации природной системы и связанных с перераспределением веществ в гетерогенной системе соединений химических элементов каждого почвенного горизонта, с вертикальной внутрипрофильной миграцией, с биологическим круговоротом и латеральным переносом веществ.

В наибольшей мере исследован биологический круговорот веществ. Способность живого органического вещества потреблять и накапливать микроэлементы характеризует показатель биологического поглощения элементов, предложенный Б. Б. Полыновым. Степень концентрирования химических элементов в растениях – это функция растений, их систематического положения, происхождения, возраста, а также условий произрастания растений, в том числе общего содержания и форм нахождения элементов в почве.

Растения проявляют два вида биогеохимической специализации: систематическую (или филогенетическую) и онтогенетическую.

Филогенетическая связана с закреплением в растениях видовых свойств, приобретенных при эволюции биосферы в течение геологического времени, которые определяют способность каждого вида растений к формированию того или иного химического состава в определенных геохимических условиях.

Исследуя причины избирательного поглощения растениями химических элементов, А. Д. Айвазян разделил растения на гумидокатные и ариданитные. Центры происхождения первых (береза, осина, ель, мхи и др.) находились в гумидных областях и накапливали катионогенные элементы, которые обладают наибольшей подвижностью в этих условиях. Вторая группа растений (полынь, ковыль и др.) происходит из аридных регионов и концентрирует подвижные в этих областях анионогенные элементы. В соответствии с этим выделены 4 ассоциации микроэлементов:

1 – типичные катионогенные элементы (Zn, Mn), которые накапливаются в гумидокатных растениях;

2 – катионогенные элементы (Cu, Ag, Pb, Co, Sr, Ni), которые накапливаются в гумидокатных и в ариданитных растениях, причем поглощению металлов ариданитными видами растений способствует подвижность их в этих условиях, возникающая благодаря образованию растворимых карбонатных и бикарбонатных комплексов;

3 – анионогенные элементы (Mo, B), которые активно накапливаются в ариданитных и менее активно в гумидокатных растениях;

4 – типичные анионогенные элементы (Cr, V, Ti, частично Zn), накапливающиеся только в ариданитных растениях, особенно в растениях на солонцах, где они образуют подвижные комплексы.

Онтогенетическая специализация растений проявляется в том, что различия в поглощении химических элементов имеют не только разные виды растений, а их различные органы. Многолетние органы (кора, корни), поглощают и накапливают химические элементы в основном безбарьерно, т. е. в

прямой зависимости от содержания веществ в почве, вегетативные и репродуктивные органы способны регулировать накопление элементов в биомассе с помощью физиологических барьеров.

А. И. Перельман разделил химические элементы по величине коэффициентов биологического поглощения растениями и выделил группы биологического поглощения разного уровня и биологического захвата элементов. А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас полагают, что у разных растений существует общая тенденция в поглощении особо необходимых растениям микроэлементов, и называют в числе сильно накапливающихся элементов B, Br, Cd, Pd, Cs, а слабо потребляемых – Ba, Ti, Zn, Sc, Bi, Ga. Грибы, имеющие специфический механизм питания, могут накапливать Hg, Cd, Zn, Cu, Se.

Распределение микроэлементов в различных ярусах растительного покрова и в органах растений (подземных, наземных, многолетних, вегетативных) характеризует размеры возврата их в почву с опадом, растительными остатками, влияет на распределение элементов в почве и в подстилке, на соотношение выноса элементов растениями и их возврата в почву.

Микроорганизмы играют важную роль и в аккумуляции, и в миграции микроэлементов. Масса микроорганизмов в почвах измеряется величинами от десятых долей до единиц т/га, накопление в них элементов составляет в среднем для Ni – 350, Ca– 310, Zn – 250, Co – 150, Mo – 148, Pb – 8 т/га, что соответствует сотым и десятым долям от общего запаса элементов в слое почвы 0 – 20 см. Сменяющиеся в течение года поколения микроорганизмов включают в общий биологический круговорот в среднем такие количества металлов (кг/га): Ni – 147, Zn – 104, Cu – 78, Co – 28.

Биогенное повышение общего содержания микроэлементов в верхних горизонтах почв прослеживается далеко не всегда. Но во всех без исключения случаях в гумусированных горизонтах почв наблюдается повышенное содержание микроэлементов, удерживаемых органическими веществами.

Потребление химических элементов растениями определяется запасом их подвижных соединений в почвах.

Подвижные соединения химических элементов – важнейшая группа химических веществ в почве. К. К. Гедройц подчеркивал, что образование подвижных соединений химических элементов – суть процессов почвообразования. Подвижные химические вещества обусловливают возможность выполнения почвой ее основных экологических функций и как естественноисторического тела, и как источника плодородия и защиты от загрязнения природных сред.

Почвоведы традиционно определяют подвижные соединения главных педогенных элементов Si, Al, Fe, характер распределения которых по почвенному профилю имеет диагностическое и классификационное значение.

По уровню содержания в почвах подвижных соединений микроэлементов устанавливается как недостаток, так и избыток их для растений, характеризуется экологическое состояние почв.

Как правило, подвижные соединения любых химических элементов извлекают из почв экстракциями. С определенной мерой приближенности ис-

пользуемые реагенты имитируют растворяющее действие на почвенные частицы природных вод и растений.

Определение доступных соединений экстракционными методами носит условный характер, так как количество извлекаемых из почвы растениями химических элементов является сложной функцией как состава и свойств почв, так и вида, сорта, фенологической стадии и других свойств растений. Я. В. Пейве и Г. Я. Ринькис предложили серию экстрагентов для определения подвижных форм микроэлементов, а именно 1 н. *KCl* – для *Zn*, 1 н. *HCl* – для *Cu*, вытяжку Бергера – Труога (водой при кипячении) для *B*, вытяжку Грига (оксалатный буфер) для *Mo*, а Е. В. Аринушкина, Н. К. Крупский и А. М. Александрова – 1 н. NH_4CN_3COO – в качестве группового экстрагента большого числа микроэлементов.

Учение о физико-химической поглотительной способности получило в настоящее время дальнейшее развитие. Анализ процессов взаимодействия химических веществ в гетерогенной почвенной системе проводится с использованием методов химической термодинамики и химической кинетики.

Контрольные вопросы

1. Какова роль микроэлементов в биологических процессах?
2. Дайте характеристику необходимым микроэлементам.
3. Нахождение микроэлементов в природе.
4. С чем связано избирательное поглощение микроэлементов растениями?
5. Какова роль почвенных микроорганизмов в аккумуляции и миграции микроэлементов?
6. Какова роль подвижных микроэлементов в почве?
7. Методы определения подвижных микроэлементов.

Тема 9. Агрономическая классификация и типология почв

Ключевые вопросы темы

Основные типы почв. Агропроизводственные группировки почв.

Методические рекомендации

По существующей в России классификации все почвы по степени обеспеченности питательными элементами и реакции группируют в 6 классов. Эту классификацию используют при агрохимических обследованиях почв, составлении агрохимических карт паспортов полей и для разработок рекомендаций по определению оптимальных доз удобрений и мелиорантов под возделываемые культуры.

Однако после принятия биосферной парадигмы природопользования, ориентированной на обеспечение экологической устойчивости агроландшафтов такой подход, часто, является недопустимым. В настоящее время основной материал, характеризующий земельные фонды хозяйств, представлен почвенными картами и интерпретирующими их агропроизводственными группировками почв, которые представляют собой разноску выявленных при крупномасштабном картографировании разностей по группам почв, различающихся по сочетанию свойств, с которыми коррелирует плодородие.

В соответствии с современными представлениями сельскохозяйственное использование почв является частью природопользования, которое предполагает сохранение и восстановление экологических функций почв. Такое природопользование достигается посредством освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия и наукоемких (точных) агротехнологий. Они проектируются на основе геоинформационных систем, которые охватывают все многообразие агроэкологических условий, учитывающих, помимо биологических особенностей сельскохозяйственных культур, технологий их возделывания, мелиоративных задач, целый комплекс природных факторов, определяющих экологическую устойчивость агроэкосистем: почвенно-ландшафтные связи, энергомассоперенос, почвенно-гидрологические, почвенно-геохимические, почвенно-биологические и другие процессы.

Основные типы почв. Изучение почв России можно проводить либо в последовательности классификационных категорий (стволов, отделов), либо в порядке географического расположения природных зон. Мы остановимся на втором варианте так как для нашей страны четко прослеживаются и горизонтальная, и вертикальная зональности.

Рассмотрим наиболее распространенные и характерные типы почв по природным зонам (от тундры до субтропиков).

Тундровые глеевые почвы. Профиль почвы маломощный, слаборасчлененный на генетические горизонты. Глеевый горизонт серо-сизого или сизо-голубого цвета с отдельными ржаво-охристыми пятнами, переходящий в слой многолетней мерзлоты.

Тип глееземы подразделяют на следующие подтипы.

1. Типичные (O – G – CG).
2. Грубогумусированные (Oao – G – CG).
3. Перегнойные (Oh – G – CG).
4. Оподзоленные (O – Ge – G – CG).
5. Криогенно-ожелезненные (O – Gef – G – C G**).**
6. Потечно-гумусовые (O – Ghi – G – CG).
7. Иллювиально-ожелезненные (O – Gf – G – CG).
8. Криотурбированные (O – Gctr – CG).

Почвы бедны питательными веществами и имеют неблагоприятные водно-воздушный и тепловой режимы Содержание гумуса в горизонте А колеблется от 1 до 3 %, преобладают фульвокислоты, реакция среды от нейтральной или слабощелочной до кислой. Гранулометрический состав разнообразен (глинистые, суглинистые, супесчаные, песчаные, часто каменистые). Их используют, прежде всего, в качестве пастбищ; при вовлечении в культуру земледелия выбирают почвы легкого гранулометрического состава, применяют высокие дозы минеральных, органических и бактериальных удобрений, глубокое рыхление и дренаж, а также гребни.

Подзолы. Эти почвы, характерные для зоны тайги имеют глубокий, четко разделенный на генетические горизонты профиль, с ярким белесым или светло-серым элювиальным (подзолистым) горизонтом и красно-бурым, бурым или коричневым иллювиальным.

Тип подзолы подразделяют на следующие подтипы.

1. Грубогумусированные (Oao – E – BHF – C).
2. Перегнойные (Oh – BHF – C).
3. Иллювиально-железистые (O – E – BF – C).
4. Иллювиально-гумусовые (O – E – BH (BF) – C).
5. Охристые (O – E – BHFan – C).
6. Псевдофибровые (O – E – BHFff – C).
7. Языковатые (O – E – BHFy – C).
8. Литобарьерные (O – E – BHF – De – D).
9. Глинисто-иллювированные (O – E – BHF – Dt – D).
10. Контактно-осветленные (O – E – BHF – E – D).
11. Глееватые (O – E – BHF – BHFg – Cg).
12. Турбированные ([O + E + BHF] tr – BHF – C).

Содержание питательных веществ в этих почвах невысокое, содержание гумуса (обычно фульватного типа) в горизонте A_0A_1 колеблется в пределах 1–5 %, но в горизонте A_0 количество органического вещества может достигать нескольких десятков процентов. Реакция почвенного раствора кислая или сильно кислая. Степень насыщенности низкая, емкость поглощения малая.

При сельскохозяйственном использовании подзолистых почв необходимы мелиорация, известкование, очистка от камней, применение высоких доз органических и минеральных удобрений и др.

Дерново-подзолистые почвы. Почвы характерны для зоны смешанных лесов, и, частично, северной часть лесостепи, имеют хорошо развитый почвенный профиль, четко дифференцированный по элювиально-иллювиальному типу [36, 37, 52].

Тип дерново-подзолистых почв подразделяют на следующие подтипы.

1. Типичные (AY – EL– BEL – BT – C).
2. С микропрофилем подзола [AY – EL(e-hf) – BEL – BT – C].
3. Дерново-палево-подзолистые [AY – ELf(EL) – BEL – BT – C].
4. Контактно-осветленные [AY – EL(e-hf) – EL – BEL – BT – C] или (AY – EL – BEL – BT – C).
5. Языковатые (AY – EL – BEL – BTy – BT – C).
6. Сегрегационно-отбеленные (подбелы светлые) (AY – ELnn – BEL – BT – C).
7. Со вторым гумусовым горизонтом [AY – EL – EL[hh] (EL) – BEL – BT – C].
8. Глееватые [AY – EL – BEL(g) – BTg – Cg].
9. Турбированные [(AY – EL) tr – BEL – BT – C].

Дерново-подзолистые почвы отличаются от подзолистых большей гумусированностью и меньшей кислотностью. Содержание гумуса в гумусово-элювиальном горизонте колеблется в пределах 3–7 %. Тип гумуса фульватный или гуматно-фульватный. Среди обменно-поглощенных катионов преобладают кальций и магний. Значительно повышается емкость поглощения.

Дерново-подзолистые почвы под воздействием сельскохозяйственного производства могут образовывать отдельные типы агропочв, например агро-

дерново-подзолистые [P – (EL) – BEL – BT – C], агродерново-подзолистые глеевые [P – (ELgl) – BEL – BTg – G – CG]. Для увеличения плодородия этих почв необходимы известкование, травосеяние и систематическое применение органических и минеральных удобрений.

Буроземы, или бурые лесные почвы. Эти почвы сформировались преимущественно на щебнистом элювии или элюво-делювии магматических и плотных осадочных пород под широколиственными лесами в условиях теплого и влажного лета при промывном типе водного режима. Буроземы имеют неглубокий профиль: под лесной подстилкой (A_0) находится темно-бурый или серовато-бурый горизонт (A_1 или AY) мощностью 0 – 25 см, рыхлый, с мелкокомковатой или комковато-ореховатой структурой, постепенно переходящий в структурно-метаморфический или иллювиальный (B или BM) горизонт бурой или темно-коричневой окраски, комковато-ореховатый или мелкоглыбистый, нередко уплотнен. Признаки иллювиированности выражены слабо или отсутствуют. Буроземы содержат 3–15 % гумуса гуматно-фульватного типа, имеют кислую или слабокислую реакцию, насыщенность основаниями в пределах 50–80 % ЕКО.

Тип буроземы подразделяют на подтипы.

1. Типичные (AY – BM – C).
2. Грубогумусированные (AYao – BM – C).
3. Оподзоленные (AYe – BM – C).
4. Глееватые (AY – BMg – Cg).
5. Турбированные ([AY – BM]tr – BM – C).

Серые лесные почвы. Почвы характерны для лесостепной зоны, встречаются в зоне широколиственных лесов. Профиль серой лесной почвы отличается от профиля дерново-подзолистой почвы наличием серогумусового аккумулятивного горизонта (AY) мощностью 20–25 см, а также отсутствием характерного для дерново-подзолистых почв собственно элювиального горизонта (EL).

Содержание гумуса в серых лесных почвах достаточно высокое – от 2 до 6 % в горизонте A_1, гумус фульватно-гуматного и гуматно-фульватного типов. Реакция почвенного раствора кислая или слабокислая, в материнской породе нейтральная. Емкость катионного обмена, обычно 20–40 мг. экв/100 г почвы, насыщенность основаниями сравнительно высокая (70 –80 %).

Серые лесные почвы подразделяют на три подтипа.

1. Типичные (AY – AEL – BEL – BT – C).
2. Со вторым гумусовым горизонтом
(AY – AEL([hh]) – BEL([hh]) – BT – C).
3. Глееватые (AY – AEL – BEL(g) – BTg – Cg).

Темно-серые лесные почвы. Эти почвы также характерны для лесостепной зоны. По агрогенетическим показателям представляют собой переход от серых лесных почв к черноземам. Отличаются от серых лесных почв большей гумусированностью и меньшей оподзоленностью. Поэтому в профиле гумусово-элювиальный и субэлювиальный горизонты соответственно сменяются гумусовым слабоэлювиированным и гумусово-иллювиальным горизонтами.

Гумус фульватно-гуматный, содержание его в верхнем горизонте A_1(AU) 5–8 %, ЕКО обычно 35 – 45 мг-экв/100г почвы. Реакция среды слабокислая, насыщенность основаниями 80–90 %.

Черноземы. Это наиболее плодородные почвы лесостепной и степной зон, которые отражают зональные закономерности и фациальные особенности педогенеза:

– оподзоленные и выщелоченные – преобладают на севере лесостепи;

– обыкновенные – преобладают в северной части степной зоны;

– южные – преобладают в центральной части степной зоны;

– сверхмощные рыхлые предкавказские и приазовские – преобладают в предгорье Кавказа (на Кубани);

– маломощные сибирские промерзающие черноземы – преобладают в Сибири.

Профиль чернозема хорошо гумусированный, мощный (до 150 см), с постепенным переходом (уменьшением содержания гумуса) от верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта (А или AU) к материнской (почвообразующей) породе.

Содержание гумуса в черноземах колеблется от 4 до 12 %, тип гумуса обычно гуматный, реакция почвенного раствора от слабокислой до слабощелочной, ЕКО 30 – 70 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 80–100 %, в составе обменно-поглощенных катионов доминирует кальций. Содержание ила и валовой химический состав черноземов типичного и обыкновенного однородны по всему профилю.

Лугово-черноземные почвы. Эти почвы содержат наибольшее среди черноземов количество гумуса и питательных веществ, обладают наивысшим природным плодородием. Располагаются лугово-черноземные почвы на пониженных элементах рельефа, где уровень грунтовых вод выше 5 м. Почвообразующая порода или нижняя часть профиля этих почв оглеена.

Согласно «Классификации и диагностике почв России» (2004) черноземы входят в отдел «аккумулятивно-гумусовые почвы» и разделены на десять типов, пять из которых характеризуются процессами природного педогенеза.

1. Тип. Черноземы глинисто-иллювиальные (AU – BI – C_{Ca}). Диагностируют по наличию двух горизонтов: темногумусового и глинисто-иллювиального. По признакам элювиирования, оглеения и гидрометаморфизма выделяют подтипы.

1.1. Типичные (AU – BI – C_{Ca})**,** в этот подтип входят черноземы выщелоченные.

1.2. Оподзоленные (AU – AUe – BI – C_{Ca})**,** в этот подтип входят черноземы оподзоленные.

1.3. Глеевые (AU – BIg – Cg), в этот подтип входят оподзоленные лугово-черноземные почвы.

1.4. Гидрометаморфизованные (AU – AUg – BIg – Cg), в этот подтип входят выщелоченные лугово-черноземные почвы.

2. Тип. Черноземы (AU – BCa – C_{Ca}). Диагностируют по наличию двух генетических горизонтов: темногумусового и аккумулятивного карбонатного.

По форме выделения карбонатов и их расположению по профилю, а также по наличию признаков солонцеватости, слитизации, засоления, осолодения и гидрометаморфизма выделяют подтипы.

2.1. Сегрегационные (AU – BCAnc – C_{Ca}), в этот подтип входят черноземы обыкновенные.

2.2. Миграционно-мицеллярные (AU – AUIe – BCAmc – C_{Ca}), в этот подтип входят черноземы типичные.

2.3. Миграционно-сегрегационные (AU – AUIc – BCAnc – C_{Ca}), в этот подтип входят черноземы предкавказские и приазовские.

2.4. Криогенно-мицеллярные (AU – BCAmc – BCAg– C_{Ca}, g), в этот подтип входят черноземы лесостепи Западной и Средней Сибири (сибирские), в нижней части профиля которых имеется надмерзлотное оглеение.

2.5. Дисперсно-карбонатные (AU – BCA – C_{Ca}), в этот подтип входят короткопрофильные черноземы аридных степных ландшафтов Сибири с пропиточными (в виде крупных расплывчатых пятен) формами карбонатов в аккумулятивно-карбонатном горизонте.

2.6. Солонцеватые (AU – AUsn – BCA – C_{Ca}), в этот подтип входят черноземы солонцеватые, глубокосолонцеватые и остаточно-солонцеватые.

2.7. Засоленные [AU(s) – BCA(s) – Ca, s], в этот подтип входят черноземы, содержащие в пределах профиля легкорастворимые соли в количестве более 0,1 %, но не более 1 % в верхнем (20 см) слое.

2.8. Осолоделые (AU – AUe – BCA – C_{Ca}), в этот подтип входят черноземы осолоделые, имеющие в нижней части темногумусового горизонта осветление и перераспределение ила по профилю.

2.9. Слитизированные [AU – AUv – BCA(v) – C_{Ca}], В этот подтип входят черноземы слитые, имеющие четкие признаки слитизации в нижней части гумусового горизонта и сформировавшиеся на тяжелых иловато-глинистых отложениях преимущественно на территориях Предкавказья.

2.10. Гидрометаморфизованные (AU – BCAg – C_{Ca}), этот подтип характеризуется наличием в аккумулятивно-карбонатном горизонте признаков оглеения: оливковых и сизоватых оттенков, мелких (Mn-Fe) конкреций. В подтип входят плодородные лугово-черноземные почвы.

3. Тип. Черноземы текстурно-карбонатные (AU – CAT – C_{Ca}). Почвы этого типа формируются в условиях сухих степей на Русской равнине и Зауралье и соответствуют черноземам южным. Профиль неглубокий, аккумулятивно-гумусовый горизонт языками заходит в подгумусовую часть, последняя отличается коричневыми и рыжевато-коричневыми оттенками, ореховатой или ореховато-призмовидной с глубинной структурой. В текстурно-карбонатном горизонте содержание ила на 3–5 % больше, чем в вышерасположенном. Реакция среды нейтральная или слабощелочная. Тип черноземы текстурно-карбонатные разделяют по наличию признаков засоления, солонцеватости, осолодения и оглеения на следующие подтипы.

3.1. Солонцеватые (AU – AUsn – CAT – C_{Ca}).

3.2. Засоленные [AU(s) – CAT(s) – C_{Ca}, s].

3.3. Осолоделые (AU – AUe – CAT – C_{Ca}).

3.4. Гидрометаморфизованные (AU – CATg – C_{Ca}g)

4. Тип. Темные слитые (AU – AUv – V – C_{Ca}). Диагностируются по наличию в почвенном профиле очень плотного слитого горизонта. Верхний темногумусовый горизонт неоднородный: в верхней его части (AU) нет признаков слитости, сложение рыхлое, структура мелкокрупитчатая; нижняя часть (AUv) плотная, трещиноватая, структура мелкоореховатая или мелкоглыбистая угловатая, неводопрочная, агрегаты плотно упакованы, внутриагрегатные поры практически отсутствуют, грани глянцевые, окраска темно-серая с бурым или оливковым оттенком. Нижняя граница темногумусового горизонта резкая, темной окраски, не коррелирующей с содержанием гумуса. Подгумусовый собственно слитой горизонт (V) обычно оливково-бурый, вязкий и пластичный во влажном состоянии, очень плотный (до 1,8 г/см^3) в сухом, постепенно переходит в оливковую или бурую, серую с мелкими охристыми пятнами глину. Почва содержит 70–80 % физической глины и 40–60 % ила, при этом минералогический состав глин гидрослюдисто-смектитовый, с максимумом смектитовой фазы в слитом горизонте (15–25 %). Емкость поглощения (ЕКО) высокая – около 50 мг-экв/100 г почвы, в составе обменно-поглощенных катионов магний занимает 25–50 % суммы оснований, натрия мало – до 5 %. Содержание гумуса 3–8 % при соотношении $C_{гк}$: $C_{фк}$, равном 1,5–2. Карбонаты присутствуют обычно в нижней (80–100 см) части профиля. Темные слитые почвы формируются на породах тяжелого гранулометрического состава (иногда на засоленных глинах) под лугово-степной и степной растительностью, образуя локальные ареалы в лесостепи и степи Предкавказья.

Темные слитые почвы по наличию признаков солонцеватости, засолению и гидрометаморфизма разделяют на следующие подтипы.

4.1. Типичные (AU – AUv – V – C_{Ca},v).

4.2. Солонцеватые (AU – AUv, sn – V – C_{Ca},V).

4.3. Засоленные (AU – AUv – s – C_{Ca},s).

4.4. Гидрометаморфизованные (AU – AUv – Vg – C_{Ca},g).

5. Тип. Черноземовидные (Aug,nn – BMg – Cg). Диагностируются по наличию признаков оглеения и хорошей гумусированности. Профиль почвы аналогичен профилю типичного чернозема, но отличается оглеением и наличием структурно-метаморфического горизонта, залегающего под темногумусовым горизонтом. Окраска темно-серая до черной, в верхней части профиля переходит с глубинной в темно-бурую или серо-бурую с сизыми и ржавыми пятнами, с (Fe-Mn) конкрециями. Структура комковато-пороховидная, ЕКО высокая (30–45 мг-экв/100 г), почва насыщена основаниями, в составе обменно-поглощенных катионов преобладает кальций. Содержание гумуса 5–10 %, тип гумуса фульватно-гуматный. Реакция среды слабокислая (pH 5,8–6,5). Формируются черноземовидные почвы под остепненными лугами на слаборасчлененных низменных равнинах и древних речных террасах в условиях муссонного климата (юг дальнего Востока). В данном типе почв выделяют только один подтип – типичные.

Остальные пять типов лугово-черноземных почв относятся к группе антропогенно-преобразованных агропочв.

Каштановые почвы. Этот тип почв характерен для зоны сухих степей и диагностируется по наличию светлогумусового, ксерометаморфического и текстурно-карбонатного горизонтов.

Каштановые почвы содержат 2–3,5 (5) % гумуса, ЕКО 25–40 мг-экв/100 г, реакция среды нейтральная или щелочная, в глубине профиля всегда щелочная.

Выделяют пять подтипов каштановых почв.

1. Типичные (AJ – BMK – CAT – C_{Ca}).
2. Солонцеватые (AJ – BMKsn – CAT – C_{Ca}).
3. Засоленные (AJ – BMKs – CATs – C_{Ca},s).
4. Гидрометаморфизованные (AJ – BMK – CATg – $C_{Ca,g}$).
5. Турбированные ([AJ – BMK]tr – BMK – CAT – C_{Ca}).

Бурые, или бурые полупустынные почвы. Этот тип почв характерен для зоны полупустынь. Почвенный профиль короткий, слабогумусирован и ясно дифференцирован на генетические горизонты.

Верхний ксерогумусовый (AKL) или гумусово-элювиальный горизонт (A) состоит из двух подгоризонтов: пористой налево-серой корочки (2–4 см) и подкоркового слоя (12–15 см) светло-серого цвета, со слоевато-чешуйчатой или непрочнокомковатой структурой. Глубже расположен ксерометаморфический уплотненный горизонт. Под ним залегает более светлый аккумулятивно-карбонатный горизонт (BCA или $B_к$), плотный, с грубокомковато-ореховатой структурой; карбонаты в виде белоглазки и расплывчатых пятен. Реакция среды слабощелочная в верхней части профиля и щелочная в нижней. ЕКО 15 – 20 мг-экв/100 г почвы, обменно-поглощенного магния 20–25 % ЕКО, натрия 2–3 %. Содержание гумуса 1–1,5 %, тип гуматно-фульватный [36, 52].

По наличию признаков солонцеватости, засоления, гидрометаморфизации и антропогенного воздействия выделяют следующие подтипы.

1. Типичные (AKL – BMK – BCA – C_{Ca}).
2. Солонцеватые (AKL – BMKsn – BCA – C_{Ca}).
3. Засоленные (AKL – BMKs – BCAs – C_{Ca},s).
4. Гидрометаморфизованные (AKL – BMK – BCAg – C_{Ca}).
5. Турбированные ([AKL – BMK]tr – BCA – C_{Ca}).

Солончаки. Это интразональные почвы, они могут встречаться более или менее крупными пятнами в комплексе с зональными почвами в различных природных зонах, но наиболее распространены в зонах пустынь, полупустынь и степей.

Главным диагностическим признаком солончака является наличие большого (более 1 % – выше порога коагуляции) количества легкорастворимых (токсичных) солей с максимальной их концентрацией на поверхности почвы или в верхнем горизонте. Накопление солей и формирование солончаков наблюдаются при выпотном или периодически выпотном водном режиме. Реакция среды зависит от состава солей, но обычно щелочная.

В соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» (2004) солончаки входят в отдел голоморфные почвы и разделены на шесть типов.

1. Тип. Солончаки (S – C). Диагностируются по наличию слабогумуси-

рованного (1–2 % гумуса) солончакового горизонта, постепенно переходящего в засоленную почвообразующую породу. На поверхности почвы имеется соленая корка, а солончаковый горизонт содержит 5–14 % легкорастворимых солей в виде новообразований.

Разделение на подтипы проводят по особенностям дифференциации профиля, признакам оглеения и присутствию такырной корки.

1.1. Типичные (S – Cs,q).

1.2. Такыровидные (Skt – Cs).

1.3. Солонцеватые (Ssn,s – Cs).

1.4. Слабодифференцированные, или литогенные (S – Cs).

2. Тип. Солончаки глеевые (Sg – Gs – CGs). Диагностируются по наличию двух горизонтов: светлоокрашенного солончакового и засоленного глеевого, окрашенного в зеленовато-сизый цвет.

Формируются глеевые солончаки на отрицательных элементах рельефа при неглубоком (выше 1–1,5 м) залегании грунтовых вод и выпотном типе водного режима.

Выделяют только один подтип – типичные.

3. Тип. Солончаки сульфидные, или соровые (S – SS – Gs – Gg). У этих солончаков практически нет поверхностных гумусовых аккумуляций, растительность почти полностью отсутствует. Маломощный мокрый профиль имеет на поверхности солончакового горизонта соленую корку, содержащую 25–60 % легкорастворимых солей, глубже расположен черный с запахом сероводорода иловатый сульфидный соленой горизонт, подстилаемый глеевой массой, имеющей обычно сульфатное засоление. Грунтовые воды находятся на глубине 0,5–1,5 м и сильно минерализованы.

Выделяют один подтип – типичные.

4. Тип. Солончаки темные (S[AU] – Cs,g). Формируются в поймах и долинах рек, в замкнутых понижениях и на подгорных равнинах под влажными лугами. Диагностируются по наличию солончакового горизонта, образовавшегося и совмещающегося с темногумусовым горизонтом (S[AU]). Количество гумуса колеблется от 2,5 до 12 поверхность может быть задернована. Глубже гумусовой части отмечают признаки оглеения. Карбонаты в виде конкреций, пятен, мергелистой пропитки обычно выделяются в нижней части профиля. На аридных территориях почвы имеют также мелкокристаллический и мучнистый гипс.

Данный тип почвы разделяют на три подтипа по наличию признаков солонцеватости и гидрогенных карбонатных аккумуляций:

4.1. Типичные (S[AU] – Cs,g).

4.2. Солонцеватые (S[AU]sn,s – Cs,g); профиль имеет призмовидную структуру в нижней части, сильную потечность гумуса и глинисто-гумусовых веществ вследствие пептизации коллоидов, а также щелочную реакцию.

4.3. Омергеленные (S[AU] – Cml,s,g); профиль имеет в нижней части мергелистую пропитку.

5. Тип. Солончаки торфяные (S[T] – Gs– CGs). Диагностируются по наличию комплексного горизонта, сформировавшегося в процессе совмеще-

ния солончакового горизонта с торфяным или перегнойно-торфяным горизонтом. Ниже этого горизонта расположен глеевый засоленный горизонт. Солончаки торфяные формируются под болотной растительностью в условиях длительного грунтового увлажнения (глубина грунтовых вод выше 1 м).

Подтип один – типичные.

6. Тип. Солончаки вторичные (S – [A – B – C]). Это группа разных типов солончаков, в которой различные почвы: черноземы, каштановые, бурые и др. – в процессе своего развития, имея уже сформированный генетический почвенный профиль, испытали в результате изменения внешних условий воздействие растворов водорастворимых (токсичных) солей.

Образование вторичных солончаков может быть обусловлено: повышением уровня минерализованных грунтовых вод; неправильным орошением (избыточные дозы орошаемых вод, использование минерализованной воды и пр.); плохим дренажем и другими факторами. Таким образом, уже имеющийся профиль конкретной почвы пропитывается солями и формирует в верхней части хемогенный солончаковый горизонт, содержащий более 1 % легкорастворимых (токсичных) солей, и почва трансформируется, например, из чернозема в черноземовидный солончак со следующим строением (формулой) профиля:

$$S – [AU] – AUs – BCAs – C_{Ca,s}.$$

Солонцы. Это почвы, так же как солончаки, могут формироваться в разных зонах. Главная диагностическая характеристика солонцов – наличие в ППК значительного количества обменного натрия и (или) магния, что при уменьшении содержания водорастворимых солей ниже порога коагуляции (менее 1 %) приводит к пептизации почвенных коллоидов и к развитию солонцового процесса (осолонцеванию почв). В результате формируются почвы с профилем, четко дифференцированным на горизонты коллоидного элювия и иллювия, с неблагоприятными агрономическими свойствами.

В профиле солонца выделяют: гумусово-элювиальный (надсолонцовый) горизонт А, иллювиальный (солонцовый) горизонт B_1, подсолонцовый – B_2 и горизонт почвообразующей (материнской) породы – С.

В соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» (2004) солонцы входят в отдел щелочно-глинисто-дифференцированные почвы. Почвы отдела разделены на восемь типов: четыре типа – природные почвы (солонцы темные, солонцы светлые, солонцы гидрометаморфизованные темные и солонцы гидрометаморфизованные светлые) и четыре типа – агропочвы.

1. Тип. Солонцы темные (AU – EL – BSNth – BMKth – BCAth – C). Обычно формируются в лесостепной и степной зонах на засоленных породах. Диагностируются по наличию ряда специфических горизонтов: темногумусового, элювиального, солонцового, ксерометаморфического и аккумулятивно-карбонатного. Верхний горизонт имеет близкую к нейтральной реакцию раствора, а солонцовый горизонт – щелочную реакцию. ППК насыщен основаниями, но большая часть из них – катионы натрия (до 60 % суммы обменных катионов). Состав гумуса фульватно-гуматный, а в солонцовом горизонте гуматно-фульватный.

Темные солонцы разделяют на три подтипа.

1.1. Типичные (AU – EL – BSNth – BMKth – BCAth – C_{Ca}).

1.2. Гидрометаморфизованные

(AU – EL – BSNth – BMKth – BCAth,q – C_{Ca},q).

1.3. Турбированные

([AU – EL – BSNth]tr – BSNtr – BMKth – BCAth,g – $C_{Ca,g}$).

2. Тип. Солонцы светлые (AJ – EL – BSN – BMK – BCA – C_{Ca}). Данный тип почвы менее гумусирован (гумуса 3 %) и отличается более светлой окраской. Дифференциация профиля по содержанию ила и величина ЕКО выражены более ярко. Состав гумуса фульватно-гуматный.

Солонцы светлые разделяют на подтипы по признакам метаморфизма и механического нарушения надсолонцовых горизонтов.

2.1. Типичные (AJ – EL – BSN – BMK – BCA – C_{Ca}).

2.2. Гидрометаморфизованные

(AJ – EL – BSN – BMK – BCAq – C_{Ca},q).

2.3. Турбированные ([AJ – EL – BSN]tr -BCN – BMK – BCA – C_{Ca}).

3. Тип. Солонцы гидрометаморфические темные (AU – EL – BSNth – BMKth,q – BCAtg,q – Q – CQ). Формируются на участках с неглубоким (1 – 3 м) залеганием минерализованных грунтовых вод преимущественно в степной и сухостепной зонах, реже в лесостепной. Диагностируются по наличию гидрометаморфического горизонта и признаков гидрометаморфизации в подсолонцовой части профиля. Эти почвы более гумусированы в верхней части и оглеены в нижней части профиля.

Солонцы гидрометаморфические темные разделяют на два подтипа.

3.1. Типичные (AU – EL– BSNth – BMKth,q – BCAth,q – Q – CQ).

3.2. Турбированные

([AU – EL – BSNth]tr – BSN tr – BMKth,q – BCAq – Q – CQ).

4. Тип. Солонцы гидрометаморфические светлые (AJ – EL – BSN – BMKq – BCAq – Q– CQ). Формируются в местах с неглубоким (1–3 м) залеганием минерализованных грунтовых вод на юге сухостепной и в полупустынной зонах. Отличаются от светлых автоморфных солонцов большим содержанием гумуса и наличием признаков оглеения и гидрометаморфизма.

Солонцы гидрометаморфические светлые разделяют на два подтипа:

4.1. Типичные (AJ – EL – BSN – BMKq – BCAq – Q – CQ).

4.2. Турбированные

([AJ – EL – BSN]tr -BSN -BMKg – BCAg -Q -CQ).

Солоди. Данные почвы формируются в разных природных зонах и приурочены к замкнутым отрицательным элементам рельефа с временным избыточным увлажнением.

Профиль солоди четко и резко дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу, что вызвано особенностями педогенеза: воздействие на почвенную массу катионов водорода, натрия и кальция при длительном периодическом насыщении водой и промывании почвенного профиля. В результате верхние горизонты имеют кислую реакцию и значительное количество катионов водорода, а нижние – щелочную реакцию и обменно-поглощенный натрий.

В соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» (2004 г.) солоди входят в отдел текстурно-дифференцированных почв и разделены на четыре типа.

1. Солоди темногумусовые [AU – EL – BT – BCA – C_{Ca}(s)].
2. Дерново-солоди (AY – EL – BT – BCA – C_{Ca}).
3. Дерново-солоди глеевые [AY – EL – BTg – BCAg – G(s) – CG(s)].
4. Солоди перегнойно-гумусовые гидрометаморфические (AH – EL – BTq – Q – CQ).

Гидроморфные и аллювиальные почвы. Встречаются во всех природных зонах. Формирование гидроморфных почв связано с периодическим или постоянным переувлажнением всего или части почвенного профиля, приводящим к оглеению и гидрометаморфизации: процесс либо накладывается на зональные почвенные типы, либо формирует «самостоятельные» собственно гидроморфные почвы, обычно с простым трехчленным профилем (луговые, лугово-болотные, болотные).

Аллювиальные почвы формируются в условиях поемного режима, периодического затопления и отложения на поверхности поймы свежего речного или озерного аллювия.

Агропроизводственные группировки почв. В. М. Фридланд разделил агропроизводственные группировки почв на три категории. В первой категории почвы группируются в соответствии с агрономическими качествами по отношению к какой-либо сельскохозяйственной культуре. Во второй по отношению к определенным экологическим группам культур, в третьей по общим растениеводческим качествам.

Первые две категории, в которых учитывались четко выраженные запросы растений к почвенным условиям, практиковались довольно ограниченно (культуры чая, винограда, некоторые плодовые, овощные).

Наибольшее распространение получили общие группировки, построенные на свойствах почв, определяющих их качества как среды для культурных растений. Такие группировки составлены различными способами, с использованием разной терминологии, как для отдельных хозяйств, так и для регионов, республик. Большей частью они соответствуют общим принципам составления, предложенным В. М. Фридландом.

При всем значении данного подхода стройной таксономической системы в сельскохозяйственной типологии земель не сложилось. Создание такого рода классификаций оказалось весьма сложной задачей. Обращаясь к мировому опыту в этой области, нельзя не остановиться на «Классификации землепригодности США», которая пользуется наибольшей известностью.

I. Земли с высокой продуктивностью, пригодные для возделывания широкого набора культур без специальных агроприемов (противоэрозионных и пр.).

II. Земли, пригодные для возделывания полевых культур с небольшими ограничениями (небольшой уклон, умеренное проявление водной и ветровой эрозии, недостаточная мощность почвы, слабое засоление, дренирование от среднего до слабого), которые преодолеваются простыми агротехническими

приемами.

III. Земли со средним проявлением ограничивающих факторов (высокая степень подверженности водной и ветровой эрозии, переувлажненность, частые затопления, умеренное засоление, неблагоприятные климатические условия), пригодные для возделывания полевых культур при проведении достаточно трудоемких мелиоративных работ (устройство дренажной сети, террасирование, обильное удобрение и др.).

IV. Земли, пригодные для ограниченного возделывания полевых культур, главным образом трав, при сложных мелиоративных и противоэрозионных мероприятиях. Некоторые из них используются для возделывания риса, определенных видов овощей и фруктовых деревьев. Основные ограничения: крутые склоны, сильное переувлажнение, высокая степень засоления, суровые климатические условия.

V. Земли, не пригодные для возделывания полевых культур из-за каменистости, затоплений, суровых климатических условий, но пригодные для интенсивного пастбищного использования и лесопосадок.

VI. Земли, пригодные для умеренного пастбищного использования или лесопосадок.

VII. Земли, пригодные лишь для ограниченного выпаса.

VIII. Земли, не пригодные для сельскохозяйственного использования (овраги, болота, песчаные берега и т. п.).

В пределах классов землепригодности выделяют подклассы, определяемые природой ограничивающего фактора: подкласс ***C***, обусловленный климатическими факторами; подкласс ***E*** – эрозией; подкласс ***W*** – избыточной влажностью; подкласс ***S*** – маломощностью корнеобитаемого слоя. Подклассы разделяются на единицы землепригодности по набору культур и организации территории в пределах хозяйства. Эти единицы группируются из почвенных фаз.

Подобные группировки или классификации земель в различных странах имеют разную глубину наполнения: в одних глубже освещены ландшафтные аспекты идентификации земель, в других агроэкологические. Оценка лимитирующих факторов в классификациях подобного рода соотносится с уровнем интенсификации производства. Например, английские специалисты через каждые пять лет проводят корректировку данных классификации земель Великобритании, учитывая только те ограничивающие факторы, которые считают неустранимыми на уровне современного развития науки и техники.

В бывшем СССР, несмотря на большой опыт землеоценочных работ, специальные исследования, посвященные созданию классификации земель по их сельскохозяйственному использованию, были весьма ограничены, а попытка реализации такой классификации, предложенной в целом для страны, несмотря на приданный ей официальный статус, не состоялась. Приведем основное содержание этой классификации, которая включает следующие категории и классы земель.

Категория 1. Земли, пригодные под пашню.

Классы земель: 1 – окультуренные, 2 – дренированные водоразделы и

слабовыраженные склоны (до 2°), суглинистые и легкосуглинистые некарбонатные; 3 – дренированные водоразделы и слабовыраженные склоны (до 2°); суглинистые и легкосуглинистые, карбонатные; 4 – дренированные водоразделы и слабовыраженные склоны (до 2°) с повышенным влиянием легких пород, супесчаные и песчаные; 5 – дренированные водоразделы и слабовыраженные склоны (до 2°) с повышенным влиянием тяжелых пород, глинистые, включая слитые; 6 – дренированные водоразделы и слабо выраженные склоны (до 2°) с повышенным влиянием плотных пород и валунно-галечных отложений, суглинистые; 7 – слабо дренируемые кратковременно переувлажняемые глинистые и суглинистые некарбонатные; 8 – слабо дренируемые, кратковременно переувлажняемые глинистые и суглинистые карбонатные; 9 – слабо дренируемые кратковременно переувлажняемые супесчаные и песчаные на глинах и суглиниках; 10 – слабо эрозионно-опасные пологие склоны (2–5°), глинистые и суглинистые на рыхлых породах, включая слабосмытые; 11 – слабо эрозионно-опасные пологие склоны (2–5°), супесчаные на рыхлых породах, включая слабосмытые; 12 – эрозионно-опасные покатые склоны (5–10°), глинистые и суглинистые на рыхлых породах, включая смытые; 14 – опасные пологие и покатые склоны (2–10°) на плотных породах, включая смытые.

Категория II. Земли, пригодные преимущественно под сенокосы.

Классы земель: 1 – пойменные луговые, глинистые и суглинистые; 2 – пойменные луговые, супесчаные и песчаные; 3 – внепойменные луговые, глинистые и суглинистые; 4 – внепойменные луговые, супесчаные и песчаные.

Категория III. Земли пастбищные, после улучшения могут быть пригодны под другие сельскохозяйственные угодья.

Классы земель: 1 – переувлажняемые (заболоченные); 2 – солонцовые и слитые автоморфные, включая средне- и сильнокомплексные; 3 – солонцовые и слитые полугидроморфные, включая средне- и сильнокомплексные; 4 – солонцовые и слитые гидроморфные, включая средне– и сильнокомплексные; 5 – особо эрозионно-опасные крутые склоны (более 10°), включая смытые; 6 – маломощные включая сильнокаменистые и щебнистые 7 – пески задернованные.

Категория IV. Земли, пригодные под сельскохозяйственные угодья после коренных мелиораций.

Классы земель: 1 – болота торфяные низинные и переходные; 2 – болота минеральные низинные и переходные; 3 – сильно и очень сильно засоленные; 4 – такыры; 5 – овражно-балочные комплексы; 6 – пески, лишенные растительности (развеваемые).

Категория V. Земли, малопригодные под сельскохозяйственные угодья.

Классы земель: 1 – болота верховые; 2 – галечники, каменистые россыпи, щебнистые отложения и др.

Категория VI. Земли, не пригодные под сельскохозяйственные угодья.

Классы земель: 1 – скалы, обнажения плотных пород, россыпи и др.; 2 – ледники, вечные снега, под водой.

Категория VII. Нарушенные земли.

Классы земель: 1 – торфоразработки; 2 – карьеры, горные выработки, терриконники и др.

Не останавливаясь на недостатках этой классификации, можно сказать, что при ее создании не были использованы уже имевшиеся достижения в области сельскохозяйственной типологии земель.

Отмеченная «экологическая недостаточность» существующих типологий земель могла бы быть в значительной мере преодолена, если бы исследователи не прошли мимо работ Л. Г. Раменского (1929 г.), который еще в 1930-х г. заложил основы экологической типологии земель. Он рассматривал тип земель как тип среды, определяющей естественную растительность и пути ее хозяйственного использования.

В основу этого подхода к типологии земель было положено установление закономерности экологических рядов, определяемых правилом индивидуального поведения видов и непрерывности растительного покрова. Характеристики звеньев экологических рядов строятся с использованием сведений о растительности, почвах, почвенной фауне. Для определения места в экологическом ряду применяются стандартные биоиндикационные шкалы. Такие шкалы созданы Л. Г. Раменским для определения ступени увлажнения (120 ступеней), богатства и засоленности почвы (30), высотности горной поясности (15), пастбищной дигрессии (10). На основании этих шкал Л. Г. Раменским и И. А. Цаценкиным составлены экологические формулы для 4 тыс. растений, произрастающих на пастбищах и сенокосах.

Агроэкологический подход к типологии и классификации земель, наметившийся еще в 1930-е годы, не получил дальнейшего развития как по объективным, так и по субъективным причинам. Он не был востребован практическим земледелием, которое регламентировалось жестким планированием структуры посевных площадей.

Изменившаяся социально-экономическая обстановка создала предпосылки для реализации научных принципов экологизации земледелия и развития новых подходов к типологии и классификации земель. В основу подхода, предложенного В. И. Кирюшиным, был положен вслед за Л. Г. Раменским агроэкологический тип земель, т. е. территория, однородная по агроэкологическим требованиям возделывания сельскохозяйственной культуры или близких культур.

С учетом этих работ В. И. Кирюшиным была разработана новая агроэкологическая типология земель, обусловленная требованиями адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ). Исходное требование АЛСЗ определяется важнейшим системообразующим началом – агроэкологическими потребностями растений и их средообразующим влиянием.

Построение агроэкологических типов и групп земель осуществляется из первичных элементов агроландшафта. В качестве первичного структурного элемента рассматривается элементарный ареал агроландшафта (ЭАА), под которым понимается участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом или элементарной почвенной структурой при одинаковых геологических, литологических и микроклиматических условиях.

Агроэкологическая типизация земель является каркасом для построения АЛСЗ: агроэкологической группе отвечает система земледелия; в пределах агроэкологических типов формируются севообороты, сенокосообороты, пастбищеобороты и агротехнологии; агроэкологические виды земель определяют технологические операции. Совокупность агроэкологических групп земель в пределах природно-сельскохозяйственной провинции составляет зонально-провинциальный агрокомплекс.

Чтобы спроектировать АЛСЗ, необходимо посредством почвенно-ландшафтного картографирования идентифицировать агроэкологическую группу и виды земель, т. е. ЭАА, и сформировать типы земель. Последняя процедура выполняется путем сопоставления агроэкологических параметров культур с такими же параметрами земель. Близкие по экологическим условиям ЭАА объединяются в типы земель. Агроэкологическая идентификация ЭАА осуществляется в системе ландшафтно-экологической Классификации земель.

Ландшафтно-экологическая классификация земель является продолжением их агроэкологического районирования. Агроэкологическое районирование призвано интегрировать ландшафтное и экологическое направления и пока только разрабатывается. Поэтому на данном этапе можно исходить из существующей схемы природно-сельскохозяйственного районирования, формируя агроэкологическую классификацию земель на уровне климатической провинции природной зоны или подзоны для равнинных территорий и провинций горных областей.

Контрольные вопросы

1.Объясните понятие «адаптивно-ландшафтные системы земледелия».

2. Дайте характеристику основным типам почв.

3. Каковы принципы построения агропроизводственных группировок почв в зарубежной и отечественной науке?

4. Дайте краткую характеристику экологической типизации земель по Л. Г. Раменскому.

5. В чем состоит сущность агроэкологической типологии земель по В. И. Кирюшину?

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия предназначены для формирования систематизированных знаний и получения практических навыков в области агрохимической и агроэкологической оценки почв, являющихся основой для решения профессиональных задач агропочвоведения и агроэкологии.

Отчет по выполнению практического занятия должен содержать краткий конспект теоретического материала по теме работы, результаты выполнения практической работы и вывод.

При подготовке к защите практического занятия по данной теме следует ответить на контрольные вопросы. Оценка результатов выполнения задания по каждому практическому занятию производится при представлении студентом отчета о работе и на основании ответов студента на вопросы по тематике практической работы. Студент, самостоятельно выполнивший задание и продемонстрировавший знание материала получает по практическому занятию оценку «зачтено».

Защита результатов практических занятий является формой контроля текущей успеваемости студента.

Тематический план практических (семинарских) (ПЗ) занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2. Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Номер практического занятия	Содержание практического занятия	Количество часов ПЗ, очная форма
1	1	Методы агрохимической и агроэкологической оценки почв.	2
2	2	Методы определения влажности почв.	2
3	3	Методы определения воздушного режима почв.	2
4	4	Методы определения емкости катионного обмена.	2
4	5	Методы определения кислотности почв.	2
5	6	Методы определения гумуса.	4
5	7	Извлечение гумусовых веществ из почвы.	4
6	8	Методы определения азота.	4
7	9	Методы определения подвижных форм фосфора и калия.	4
8	10	Методы определения подвижных форм микроэлементов.	4
9	11	Агропроизводственные группировки почв.	4
ИТОГО			34

2.1. Методы агрохимической и агроэкологической оценки почв

Цель занятия. Формирование знаний о методах агрохимической и агроэкологической оценки почв и умений определять бонитет почвы по её признакам.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– принципы бонитировки почв нечерноземной зоны;

– методику внутрихозяйственной оценки почв;

– плодородие почв и его виды;

– модели оценки плодородия почв;

– принципы бонитировки почв по методу В. Д. Иванова.

2. В соответствии с методическими указаниями:

– определить бонитет почвы;

– на основании вычисленных баллов бонитета почв определить класс бонитета;

– результаты вычислений оформить в виде таблицы.

Методические указания. При определении баллов бонитета в нечерноземной зоне необходимо учитывать содержание гумуса (%) кислотность (pH солевой вытяжки), механический состав (% фракций физической глины), сумму поглощенных оснований (мг-экв/100 г почвы), содержание подвижных форм фосфора и калия (мг/100 г почвы).

За 100 баллов принимают следующие значения диагностических признаков: содержание гумуса – 5%, величина pH – 7, содержание фракций физической глины 45 %, сумма обменных оснований – 30 мг-экв/100 г почвы. Содержание подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) – по 250 мг/100 г почвы.

Баллы бонитета по различным диагностическим признакам в разрезе почвенных разновидностей определяются по формуле:

$$Б_{ПР} = \frac{П_Ф}{П_Э}100,$$

где $Б_{ПР}$ – балл бонитета почвы по определенному признаку, $П_Ф$ – фактическое значение признака в данной почве, $П_Э$ – максимальное или эталонное значение признака, принимаемое за 100 баллов.

При увеличении значений выше эталонных диагностических признаков используется формула:

$$Б_{ПР} = \frac{П_Ф - 2(П_Ф - П_Э)}{П_Э}100,$$

где $Б_{ПР}$ – балл бонитета почвы по признаку, $П_Ф$ – фактическое значение признака, $П_Э$ – эталонное значение признака.

Средние баллы бонитета отдельных почвенных разностей при условии, что все признаки в равной мере влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, вычисляются по формуле:

$$Б_П = \frac{\sum Б_{ПР}}{n},$$

где n – количество признаков.

На основании вычисленных баллов бонитета почв определяют класс бонитета. Для этого 100-балльную шкалу делят на 10 классов с интервалом в 10 баллов в каждом классе. Лучшие почвы с баллами 91–100 будут отнесены к 1 классу, 81–90 – ко 2 классу и т. д.

Контрольные вопросы

1. По каким почвенным характеристикам назначаются баллы бонитета для почв нечерноземной зоны?
2. В каких направлениях проводится внутрихозяйственная оценка почв?
3. Виды плодородия почв и их характеристика.
4. Дайте характеристику моделям оценки плодородия почв.
5. В чем сущность метода бонитировки почв по В. Д. Иванову?

2.2. Методы определения влажности почв

Цель занятия. Формирование знаний о почвенно-гидрологических константах и умений рассчитывать влажность почвы, запасы и дефицит влаги в почве.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– почвенно-гидрологические константы;

– роль полевой влажности почв в оценке общего запаса воды;

– гигроскопическая влага в почве и ее характеристики;

– влияние гранулометрического состава почвы на влажность завядания;

– виды влагоемкости почвы;

– стадии водопроницаемости почвы.

2. В соответствии с методическими указаниями:

– на основе исходных значений характеристики почвенного профиля по почвенно-гидрологическим константам выполнить расчет влажности почвы;

– на основе рассчитанных и заданных значений вычислить запас и дефицит влаги в почве;

– результаты расчетов оформить в виде таблиц.

Методические указания. Практическую работу выполнить в следующей последовательности.

1. *Определение влажности почвы по почвенно-гидрологическим константам*. Используя исходные данные, определить влажность почвы по почвенно-гидрологическим константам.

Вычисление максимальной гигроскопичности в процентах от объема ($МГ_{об}$) для почвенных горизонтов проводится по формуле:

$$МГ_{об} = 1{,}71 + 0{,}16ФГ,$$

где 1,71 и 0,16 – эмпирические коэффициенты; $ФГ$ – содержание физической

глины в почвенном горизонте, % от массы.

Определить влажность завядания ($ВЗ_{об}$) для каждого горизонта, учитывая, что она равна двойному значению максимальной гигроскопичности:

$$ВЗ_{об} = 2 \cdot МГ_{об}.$$

Вычислить величину наименьшей влагоемкости ($НВ_{об}$):

$$НВ_{об} = 5{,}6 + 8{,}9 МГ_{об},$$

где 5,6 и 8,9 – эмпирические коэффициенты.

Вычислить влажность разрыва капилляров ($ВРК_{об}$), которая равна среднему значению между $НВ_{об}$ и $ВЗ_{об}$:

$$ВРК_{об} = \frac{НВ_{об} + ВЗ_{об}}{2}.$$

Вычислить полную влагоемкость ($ПВ_{об}$) для каждого горизонта:

$$ПВ_{об} = \left(1 - \frac{Пл}{Пт}\right) \cdot 100\%,$$

где *Пл* – объемная плотность почвы данного горизонта, г/см^3; *Пт* – относительная плотность этого же горизонта, г/см^3.

Полученные величины внести в таблицу и путем суммирования вычислить итоговые значения по каждой константе.

2. *Расчет запасов и дефицита влаги в почве*. На основе полученных результатов и исходных данных провести расчет запасов и дефицит влаги в почве.

Запасы влаги в почве определить по формуле:

$$ЗВ = 10 \cdot В_{об} \cdot Т,$$

где *ЗВ* – запас влаги в почве при какой-либо константе, мм; $В_{об}$ – максимальная гигроскопичность почвы при какой-либо константе, % от объема; *Т* – мощность слоя почвы, м.

Запас продуктивной влаги ($ЗВ_П$) для каждого горизонта определить по формуле:

$$ЗВ_П = ЗВ_{НВ} - ЗВ_{ВЗ}.$$

Рассчитать фактический запас влаги ($ЗВ_{ФАКТ}$). При расчете за максимальную гигроскопичность почвы принять ее фактическую влажность.

Рассчитать дефицит влаги:

$$ДВ = ЗВ_{ФАКТ} - ЗВ_{НВ}.$$

Рассчитанные величины внести в таблицу и путем суммирования вычислить итоговые значения по каждой величине.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям полевая влажность почвы и общий запас воды.
2. От чего зависит количество гигроскопической влаги в почве?
3. Как влияет гранулометрический состав почвы на влажность завядания?
4. Дайте характеристику видам влагоемкости почвы.
5. Какие процессы характеризуют водопроницаемость почвы?

2.3. Методы определения воздушного режима почв

Цель занятия. Формирование знаний о методах определения воздушного режима почв и умений рассчитывать фактические значения газов в почве.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– принципы формирования газового состава почв;

– определение состава почвенного воздуха газоанализатором АФИ;

– определение воздухопроницаемости почвы методом Эванса и Кирхама;

– определение газообмена между почвой и атмосферой прибором А. В. Трофимова;

– определение газообмена по выделению диоксида углерода методом В. И. Штатнова.

2. В соответствии с методическими указаниями:

– выполнить расчет количества углекислого газа и кислорода в почве на разных глубинах по исходным данным;

– результаты вычислений фактического содержания газов в почве оформить в виде таблицы;

– на основании рассчитанных значений провести статистическую обработку фактического содержания газов в почве на разных глубинах.

Методические указания. По предложенному условию содержание углекислого газа является истинным значением без учета поправки на температуру. Для определения содержания углекислого газа в почве с учетом температуры необходимо:

1. Вычислить разность температур между выровненной и начальной температурами ($T_2 – T_1$);

2. Найти поправку для температуры, в пределах которой проводился анализ для начального объема 100 мл;

3. Искомое количество углекислого газа определяется суммированием истинного объема и величины, полученной произведением поправки на разность температур.

Определение количества кислорода в почве проводится аналогично с учетом следующих положений:

1. При вычислении разности температур за выровненную температуру принимается температура при определении истинного значения суммы углекислого газа и кислорода (T_3).

2. Поправка газа к искомому значению суммарного содержания углекислого газа и кислорода в почве определяется по объему оставшегося газа, определяемого как разность начального объема и истинного количества суммарного содержания углекислого газа и кислорода.

3. Количество кислорода является разностью между истинными значениями суммы углекислого газа и кислорода, и содержанием углекислого газа.

4. На основании рассчитанных значений провести статистическую обработку фактического содержания газов в почве на разных глубинах.

Средняя арифметическая содержания газа на заданной глубине (M) вычисляется по формуле:

$$M = \frac{\Sigma x}{n},$$

где $\sum x$ – сумма всех вариант статистического ряда (сумма значений содержания газа на заданной глубине); n – число наблюдений.

Величина колебаний значений вариант около средней арифметической измеряется средним квадратическим отклонением (σ), которое определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x - M)^2}{n-1}},$$

где $(x - M)^2$ – сумма квадратов отклонений отдельных вариант от средней арифметической.

Для оценки достоверности средней арифметической вычисляется ее *ошибка* (m_M) по формуле:

$$m_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Принято записывать значение средней арифметической вместе с ее ошибкой – M± m.

Далее, вычисляется *коэффициент вариации* (v), характеризующий степень отклонения вариант от средней арифметической в относительных числах (процентах). Он определяется по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{M} \cdot 100.$$

Для оценки варьирования применяется следующая шкала в процентах: небольшое варьирование (от нуля до 4); от 5 до 24 – «нижняя норма»; нормальное от 25 до 44 – «верхняя норма»; большое (от 45 до 64); очень большое (от 65 до 84); сверхбольшое (от 85 до 104); аномальное (от 105 и больше).

Точность определения средней арифметической оценивается показателем (P), который вычисляется по формуле:

$$P = \frac{m_M}{M} \cdot 100.$$

Точность определения средней арифметической считается достаточно точной, если P < 2%; удовлетворительной – при P ≤ 5% и неудовлетворительной – при P > 5%.

Контрольные вопросы

1. Какие процессы вызывают перенос газов в почве?

2. Поясните сущность процесса определения состава почвенного воздуха газоанализатором АФИ.

3. Дайте характеристику методу Эванса и Кирхама для определения воздухопроницаемости почвы.

4. В чем сущность метода определения газообмена между почвой и атмосферой прибором А. В. Трофимова.

5. На чем основан метод В. И. Штатнова для определения газообмена по выделению диоксида углерода?

2.4. Методы определения емкости катионного обмена

Цель работы. Формирование знаний о методах определения емкости катионного обмена, умений ее рассчитывать и определять дозы мелиорантов для гипсования почв.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– величина емкости катионного обмена почвы;

– сущность методов определения обменных катионов кальция и магния, суммы обменных оснований;

– агромелиоративные показатели солонцеватых почв;

– типы засоления почв;

– классификация солонцов в зависимости от содержания обменного натрия.

2. В соответствии с методическими указаниями по исходным данным:

– вычислить емкость катионного обмена;

– рассчитать степень солонцеватости почв;

– определить количество гипса, необходимое для мелиорации;

– вычислить количество гипса в пересчете на фосфогипс с содержанием активного вещества 80, 85, 90 и 98 процентов.

Методические указания. Емкость катионного обмена (количество поглощенного *Ba*) по методу Бобко и Аскинази вычислить по формуле:

$$ЕКО = \frac{a \cdot 100 \cdot K \cdot 1000}{233{,}42 \cdot c},$$

где *a* – масса осадка $BaSO_4$, г; 100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы; *K* – коэффициент для пересчета на сухую почву; 1000 – коэффициент для пересчета в мг-экв; 233,42 – относительная молекулярная масса $BaSO_4$; *c* – навеска сухой почвы, взятая для анализа, г.

Степень солонцеватости почв устанавливают по формуле:

$$A = \frac{Na}{T} \cdot 100,$$

где *A* – степень солонцеватости, % емкости поглощения; *Na* – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы; 100 – коэффициент пересчета в проценты; *T* – емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы.

Дозу гипса для замены натрия на кальций в поглощающем комплексе почвы вычисляют по формуле:

$$x = 0{,}086 \cdot Na \cdot H \cdot d,$$

где *x* – доза гипса, т/га; 0,086 – миллиэквиваленты гипса, г; *Na* – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы; *H* – мощность пахотного слоя, см; *d* – объемная масса мелиорируемого горизонта.

Поскольку для гипсования применяют не чистый гипс, то окончатель-

ную дозу его вычисляют с учетом содержания $CaS0_4 \cdot 2H_2O$:

$$D = \frac{x}{B} \cdot 100 \ ,$$

где D – доза гипса с учетом содержания $CaS0_4 \cdot 2H_2O$, т/га; B – содержание $CaS0_4 \cdot 2H_2O$, %.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит величина емкости катионного обмена почвы?

2. На чем основаны: комплексометрический метод определения обменных катионов кальция и магния; метод Шолленбергера для определения обменного калия или натрия; метод Бобко и Аскинази для определения емкости катионного обмена; метод Каппена-Гильковица для определения суммы обменных оснований.

3. Каковы агромелиоративные показатели солонцеватых почв?

4. Дайте характеристику типам засоления почв.

5. В чем сущность классификации солонцов в зависимости от содержания обменного натрия?

2.5. Методы определения кислотности почв

Цель работы. Формирование знаний о кислотности почв, методах её определения, умений вычислять гидролитическую кислотность по методу Г. Каппена и рассчитывать дозы известковых удобрений.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– кислотность почв и ее характеристики;

– сущность методов определения кислотности почв;

– отношение сельскохозяйственных культур к кислотности почв;

– нормы расхода известковых материалов до оптимального уровня;

– очередность известкования кислых почв.

2. В соответствии с методическими указаниями по исходным данным:

– вычислить величину гидролитической кислотности по методу Г. Каппена;

– рассчитать дозу извести $CaCO_3$;

– вычислить количество известковых удобрений с учетом содержания действующего вещества;

– результаты расчетов оформить в виде таблицы.

Методические указания. Величину гидролитической кислотности по методу Г. Каппена вычислить по формуле:

$$Hr = \frac{a \cdot T \cdot 5 \cdot 1{,}75}{10},$$

где H_r – гидролитическая кислотность, мг-экв/100г почвы; a – миллилитры 0,1 н NaOH, израсходованной на титрование; T – поправка к титру щелочи; *5* – коэффициент перерасчёта на 100 г почвы; *1,75* – коэффициент Дайкухара, (на неполноту вытеснения водорода); *10* – коэффициент перевода на миллиэквивалент.

По величине гидролитической кислотности рассчитать дозу извести, используя формулу:

$$Д_{CaCO_3} = \frac{H_r \cdot h \cdot d_v \cdot 50}{1000},$$

где $Д_{CaCO3}$ – доза извести (т/га) $CaCO_3$; *Hr* – гидролитическая кислотность (мг-экв/100 г почвы); *h* – мощность пахотного слоя (см); d_v – плотность почвы (г/см^3); 50 – молярная масса эквивалента карбоната кальция (г/моль).

Количество известкового удобрения с учетом содержания действующего вещества, его влажности, примесей и содержания частиц более 1 мм (табл. 19) рассчитать по формуле:

$$Д_У = \frac{A \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{(100 - B) \cdot (100 - K) \cdot M},$$

где $Д_У$ – количество конкретного известкового удобрения, т/га; *A* – доза $CaCO_3$, которую определили по гидролитической кислотности; *B* – влажность удобрения, %; *K* – количество примесей и частиц крупнее 1 мм, %; *M* – нейтрализующая способность известкового удобрения в перерасчете на $CaCO_3$ или ($CaCO_3$ + $MgCO_3$), %.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем обусловлена кислотность почв?

2. В чем заключается сущность: определения обменной кислотности по методу Г. Дайкухара; метода А. В. Соколова для определения подвижного (обменного) алюминия; определения гидролитической кислотности методом Г. Каппена?

3. Отношение сельскохозяйственных культур к кислотности почв.

4. Каковы нормы расхода известковых материалов до оптимального уровня?

5. Какова очередность известкования кислых почв?

2.6. Методы определения гумуса

Цель работы. Формирование знаний о методах определения гумуса и умений оценивать гумусное состояние почвы.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– гумус и его роль в формировании плодородия почв;

– подготовка образцов для определения гумуса;

– определение количества гумуса по И. В. Тюрину;

– определение содержания гумуса в почве по методу И. В. Тюрина с фотоколориметрическим окончанием;

– определение группового и фракционного состава гумуса по методу И. В. Тюрина.

2. В соответствии с методическими указаниями по исходным данным:

– вычислить содержание органического углерода;

– рассчитать количество гумуса;

– вычислить запасы гумуса;

– дать оценку гумусного состояния почвы.

Методические указания. Оценка гумусного состояния почвы проводится в следующей последовательности.

1. Содержание органического углерода С (%) в почве вычислить по формуле:

$$C = \frac{(V_1 - V_2) \cdot H \cdot 0{,}003 \cdot K \cdot 100}{m},$$

где V_1 – число миллилитров раствора соли Мора при холостом определении; V_2 – то же, при обратном титровании после окисления гумуса; H – нормальность соли Мора; 0,003 – молярная масса эквивалента углерода, г/моль; K – коэффициент для пересчета на сухую почву (поправка на содержание гигроскопической воды); m – навеска почвы, взятая для анализа, г.

2. Расчет количества гумуса $Г$ (%) провести по формуле:

$$Г = C \cdot 1{,}724,$$

где 1,724 – коэффициент пересчета углерода на гумус: в среднем на 1г углерода приходится 1,724г гумуса.

3. Расчет запасов гумуса $ЗГ$ (т/га) определить по формуле:

$$ЗГ = Г \cdot d_v \cdot h,$$

где $Г$ – количество гумуса, % к сухой почве; d_v – плотность почвы, г/см^3; h – мощность слоя почвы, см (h = 20 см).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «гумус».
2. В чем заключается подготовка образцов для определения гумуса?
3. Дайте характеристику методу определения количества гумуса по И. В. Тюрину.
4. В чем сущность метода определения содержания гумуса в почве по И. В. Тюрину с фотоколориметрическим окончанием?
5. Как проводится определение группового и фракционного состава гумуса по методу И. В. Тюрина?

2.7. Извлечение гумусовых веществ из почвы

Цель работы. Формирование знаний о методах извлечения гумусовых веществ из почвы и умений определять степень выпаханности почв и сопутствующие показатели.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– экспресс-метод по Кононовой и Бельчиковой для извлечения гумусовых веществ из почвы смесью пирофосфата;

– метод А. Анстета для определения валового содержания углерода;

– определение содержания в почве подвижных гумусовых веществ по методике Почвенного института им. В. В. Докучаева;

– методы препаративного выделении гуминовых и фульвокислот;

– методы определения легкоразлагаемого органического вещества.

2. В соответствии с методическими указаниями на основе исходных значений определить:

– содержание гумуса и содержание легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ);

– запасы гумуса и запасы ЛОВ в пахотном слое;

– отношение *C:N* в составе гумуса и в составе ЛОВ;

– степень выпаханности почв;

– возможное высвобождение азота ЛОВ;

Определить необходимое среднегодовое поступление послеуборочных остатков, органических и азотных удобрений.

Результаты расчетов оформить в виде таблицы.

Методические указания. Практическую работу выполнить в следующей последовательности.

1. Вычислить процентное содержание гумуса (*Г*, %) из расчета, что в его составе содержится в среднем 58% органического углерода (1 г углерода соответствует 1,724 г гумуса) по формуле:

$$Г = C_{ГУМ} \cdot 1{,}724,$$

где $C_{ГУМ}$ – содержание органического углерода гумуса, % к массе сухой почвы.

Процентное содержание легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ, %) вычисляется аналогично при условии, что содержание органического углерода составляет 50 % (1 г углерода соответствует 1,486 г ЛОВ) по формуле:

$$ЛОВ = C_{ЛОВ} \cdot 1{,}486,$$

где $C_{ЛОВ}$ – содержание органического углерода легкоразлагаемого органического вещества, % к массе сухой почвы

2. Запасы гумуса и запасы ЛОВ в пахотном слое (т/га) определяются по формуле:

$$ЗП_{ГУМ\,/\,ЛОВ} = a \cdot d_v \cdot C_{ГУМ\,/\,ЛОВ},$$

где *ЗП* – запасы гумуса или ЛОВ в пахотном слое, т/га; d_v – плотность почвы, г/см^3; *a* – мощность пахотного слоя, см.

3. Отношение *C:N* в составе гумуса и в составе ЛОВ определяется в частях при условии, что количество *N* принимается равным 1 части. Количество частей углерода ($Ч_C$) рассчитывается по формуле:

$$Ч_C = \frac{C_{ГУМ\,/\,ЛОВ}}{N_{ГУМ\,/\,ЛОВ}}.$$

4. Степень выпаханности почв (балл) расчитывают по формулам с последующим определением по шкале выпаханности.

$$K = \frac{C_{ЛОВ} \cdot 100}{C_{ГУМ}},$$

где *К* – относительное содержание $C_{ЛОВ}$ от $C_{ГУМ}$ почвы.

$$СВ = 25 - K,$$

где *СВ* – степени выпаханности, балл; 25 – эмпирическое значение.

Шкала оценки: 0 баллов – невыпаханные; 0,1 – 5 баллов – очень слабо-

выпаханные; 5 – 15 баллов – слабо- и средневыпаханные; 15 – 25 баллов – сильновыпаханные и очень сильновыпаханные почвы.

5. Возможное высвобождение азота ЛОВ (кг/га). Содержание ЛОВ и азота в его составе являются показателями эффективного плодородия почв. Высвобождение азота ЛОВ ($В_{ЛОВ,}$ кг/га) вычисляется, исходя из того, что 20% от общих запасов ЛОВ ежегодно минерализуется, при этом высвобождаются элементы питания, в том числе азот:

$$В_{ЛОВ} = \frac{ЗП_{ЛОВ} \cdot 20}{100}.$$

6. Определить необходимое среднегодовое поступление послеуборочных остатков, органических и азотных удобрений.

Количество пожнивных остатков и органических удобрений определяется пропорционально по фактическим значениям вероятного высвождения $С_{ЛОВ}$.

При определении необходимого среднегодового поступления азотных удобрений при *C:N* не соответствующих пределам 25 – 40, кг/га по действующему веществу следует откорректировать в соответствии с фактическими значениями. Так, например, при фактическом значении *C:N* = 10:1, необходимое среднегодовое поступление азотных удобрений вычисляется следующим образом.

1. Определяется среднее значение *C:N*: (25+40)/2=32,5.

2. Вычисляется коэффициент пересчета: 32,5/10=3,25.

3. Фактическая норма внесения азотных удобрений в зависимости от других условий составляет: 40*3,25=130 кг/га д.в.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику экспресс-методу по Кононовой и Бельчиковой для извлечения гумусовых веществ из почвы смесью пирофосфата.

2. В чем заключается сущность метода А. Анстета для определения валового содержания углерода?

3. Как проводится определение содержания в почве подвижных гумусовых веществ по методике Почвенного института им. В. В. Докучаева?

4. На чем основаны методы препаративного выделении гуминовых и фульвокислот?

5. Дайте характеристику методам определения легкоразлагаемого органического вещества.

2.8. Методы определения азота

Цель работы. Формирование знаний о методах определения азота почвы, умений проводить количественную и качественную оценку доступных форм азота.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– содержание форм азота в почвах и его физиологическая роль;

– методы диагностики азотного режима почв;

– определение подвижных форм азота;

– определение легкогидролизуемого азота;

– определение содержания аммонийного и нитратного азота.

2. В соответствии с методическими указаниями по исходным данным:

– вычислить содержание подвижного азота;

– рассчитать количество азота легкогидролизуемых соединений;

– вычислить содержание аммонийного азота;

– рассчитать количество азота нитратов.

Дать качественную оценку по уровню содержания каждого рассчитанного показателя.

Результаты расчетов оформить в виде таблицы.

Методические указания. Практическую работу выполнить в следующей последовательности.

1. Расчет подвижных форм азота (N, мг/100г) методом И. В. Тюрина и М. М. Кононовой проводят по формуле:

$$N = \frac{(a-b)\cdot 0{,}28\cdot V\cdot 100}{c\cdot V_1},$$

где a – количество 0,01 М раствора H_2SO_4, взятое для поглощения аммиака, мл; b – количество 0,01 М раствора H_2SO_4, оставшееся после поглощения аммиака, мл; V – общий объем вытяжки, мл; 0,28– коэффициент пересчета на миллиграммы азота (1 мл 0,01 М раствора H_2SO_4 соответствует 0,28 мг азота); V_1 – объем вытяжки, взятой на определение, мл; c – навеска почвы, взятая на определение, г; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

2. Расчет азота (N, мг/100г) легкогидролизуемых соединений в щелочной вытяжке методом Корнфилда:

$$N = \frac{a\cdot н\cdot 0{,}0014\cdot 1000\cdot 100\cdot k}{m},$$

где, a – количество мл раствора H_2SO_4, пошедшего на титрование; $н$ – нормальность H_2SO_4; 0,014 – молярная масса азота, г/ммоль; 1000 – коэффициент пересчета в мг; 100 – пересчет на 100 г почвы; k – коэффициент гигроскопичности; m – навеска воздушно-сухой почвы.

3. Расчет аммонийного азота и нитратного азота (N – NH_4/NH_3, мг/100г) проводят по формуле:

$$N - NH_4 / NH_3 = \frac{a\cdot V\cdot 100\cdot k}{v\cdot m},$$

где, a – количество NH_4 / NH_3 по градуировочной шкале, мг/мл; V – общий объем вытяжки, мл; 100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы; v – объем вытяжки, взятой для определения; m – навеска почвы; k – коэффициент гигроскопичности.

4. Качественная оценка уровня содержания подвижного и гидролизуемого азота, а также аммонийного и нитратного азота проводится в соответствии с нормативной документацией.

Контрольные вопросы

1. Каково содержание форм азота в почвах и его физиологическая роль?

2. Дайте характеристику методам диагностики азотного режима почв.

3. В чем заключается сущность метода определения подвижных форм азота по методу И. В. Тюрина и М. М. Кононовой?

4. Как проводится определение щелочногидролизуемого азота по Корнфилду?

5. В чем сущность методов определения содержания аммонийного и нитратного азота.

2.9. Методы определения подвижных форм фосфора и калия

Цель работы. Формирование знаний о методах определения подвижных форм фосфора и калия; умений рассчитывать количество подвижного фосфора по методу А. Т. Кирсанова, количество эффективного элемента питания и норму внесения фосфорных удобрений.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– роль фосфора и калия при формировании урожая;

– определение подвижных форм фосфора и калия методом А. Т. Кирсанова;

– порядок работы на фотоколориметре при производстве анализов;

– определение подвижных форм фосфора и калия в карбонатных почвах по Б. П. Мачигину;

– определение подвижных форм фосфора и калия в почвах по методу О. Г. Ониани.

2. В соответствии с методическими указаниями по исходным данным:

– вычислить количество подвижных форм фосфора;

– определить степень обеспеченности растений подвижными формами фосфора;

– вычислить количество эффективного элемента питания;

– рассчитать нормы внесения фосфорных удобрений.

Результаты расчетов оформить в виде таблицы.

Методические указания. Практическая работа выполняется в следующей последовательности.

1. Вычислить количество P_2O_5 в миллиграммах на 100 г сухой почвы при определении *подвижных форм по методу А. Т. Кирсанова* по формуле:

$$x = \frac{a \cdot V \cdot 100 \cdot K}{b \cdot c},$$

где a – содержание P_2O_5 в испытуемом растворе, найденное по калибровочной кривой, мг; V – общий объем фильтрата, мл; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы; K – коэффициент пересчета на сухую почву; b – объем фильтрата, взятый для анализа, мл; c – навеска почвы, г.

2. По нормативным документам определить степень обеспеченности растений подвижными формами фосфора.

3. Рассчитать:

– количество эффективного элемента питания (возможный вынос) по формуле:

$$X_{ЭФ.П} = \frac{X_У \cdot M_C \cdot K_П}{100},$$

где: $X_У$ – содержание элементов питания в почве, мг/кг; M_C – коэффициент перевода элементов питания из мг/кг почвы в кг/га; *Кп* – коэффициент использования элементов питания из почвы, %;

– норму внесения фосфорных удобрений:

$$Д = \frac{(У_З \cdot В - X_{ЭФ.П}) \cdot 100}{K_У},$$

где: *Д* – норма удобрений, кг д. в./га, $У_З$ – урожай запланированный, т/га, *В* – вынос элементов питания на образование 1 т продукции; $X_{ЭФ.П}$ – количество эффективного элемента питания, которое дает почва, кг/га (возможный вынос), $K_У$ – коэффициент использования элементов питания из удобрений, 100 – эмпирический множитель для перевода в кг д.в/га.

Контрольные вопросы

1. Какова роль фосфора и калия при формировании урожая?
2. В чем заключается сущность определения подвижных форм фосфора и калия по методу А. Т. Кирсанова?
3. Каков порядок работы на ФЭК-60 при производстве анализов?
4. Дайте характеристику методу определения подвижных форм фосфора и калия в карбонатных почвах по Б. П. Мачигину.
5. Как проводится определение подвижных форм фосфора и калия в почвах по методу О. Г. Ониани?

2.10. Методы определения подвижных форм микроэлементов

Цель работы. Формирование знаний о методах определения подвижных форм микроэлементов и умений проводить их количественную и качественную оценку.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– положение микроэлементов в периодической системе;
– физиологическое значение микроэлементов;
– определение подвижного марганца;
– определение подвижной меди;
– определение подвижного кобальта в почвах.

2. В соответствии с методическими указаниями:

– определить содержание марганца;
– определить содержание меди;
– определить содержание кобальта.

Результаты оформить в виде таблицы. В соответствии с нормативной документацией дать качественную оценку по уровню содержания каждого показателя.

Методические указания. Вычисление результатов анализа проводится по градуированному графику, составленному для каждого элемента на основе показателей колориметрировании образцовых стандартных растворов. Каждая

серия анализа имеет контрольное определение (свидетель), окончательное вычисление производится за вычетом контрольного определения в мг на 1 кг почвы.

Колориметрирование производится методом сравнения, т.е. определяют оптическую плотность исследуемого и образцового растворов. Вычисление результатов производится по формуле:

$$Мэ = \frac{A_1 \cdot C \cdot 1000}{A \cdot H},$$

где A – оптическая плотность исследуемого раствора; A_1 – оптическая плотность образцового раствора (A_1 = 1,000); C – концентрация элемента в образцовом растворе (0,1 мг Мэ); H – навеска почвы, г.; 1000 – коэффициент перевода искомого элемента на 1 кг почвы.

Контрольные вопросы

1. Как меняется содержание микроэлементов в различных типах почв?
2. Какую роль играет контрольное определение микроэлемента при колориметрировании?
3. В чем заключается сущность метода определения подвижного марганца в почвах?
4. Дайте характеристику методу определения подвижной меди.
5. Как проводится определение подвижного кобальта?

2.11. Агропроизводственные группировки почв

Цель работы. Формирование знаний о принципах группировки почв по агропроизводственным признакам и умений строить картограмму эродированности почв методом пластики рельефа.

Задание. На практическом занятии студенту необходимо выполнить следующие задания.

1. Изучить теоретический материал темы:

– агропроизводственная группировка почв;
– почвенные картограммы и их назначение;
– виды картограмм;
– карты пластики рельефа;
– морфоизографа и её функции.

2. В соответствии с методическими указаниями на основе фрагментов топографической и почвенной карт:

– составить почвенную карту методом пластики рельефа;
– составить картограмму эродированности почв с выделением неэродированных, слабоэродированных, среднеэродированных, сильноэродированных, очень сильноэродированных и катастрофически эродированных почв.

Методические указания. Составление карт пластики рельефа состоит из следующих этапов:

1. По топографической карте проводят линиями основные и второстепенные тальвеги и окружающие их водоразделы.
2. По точкам перегибов изобары отрисовывают морфоизографы.
3. Штрихами и индексами обозначают обрывы, уступы морей, озер,

овраги и т. д.

4. По характеру обособленности и специфики рисунка находят элементы почвенно-геологических тел.

5. Ареалы почвенно-геологических тел на карте пластики заполняются почвенно-эрозионным содержанием.

Контрольные вопросы

1. Как проводится агропроизводственная группировка почв?
2. Что такое картограмма, и каково её назначение?
4. Дайте характеристику видам картограмм.
3. Дайте характеристику этапам составления карт пластики рельефа.
5. Что такое морфоизографа и каковы её функции?

3. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основная литература:

1. Юсов, А. И. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – 120 с.

2. Юсов, А. И. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв: учеб.-метод. пособие по практическим занятиям для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение» / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 97 с.

Дополнительная литература:

1. Юсов, А. И. Агрохимическая оценка почв: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 110101.65 – Агрохимия и агропочвоведение; 110201.65 – Агрохимия / А. И. Юсов; ФГБОУ ВПО "КГТУ". – Калининград: КГТУ, 2011. – 284 с.

2. Пискунов, А. С. Методы агрохимических исследований: учеб. пособие / А. С. Пискунов. – Москва: КолосС, 2004. – 312 с.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

Особенность курса заключается не только в его теоретической, но и практической направленности. Методическая модель преподавания дисциплины основана на проведении еженедельного контроля текущей успеваемости обучающегося.

К текущей аттестации относится защита практической работы.

Всего запланировано 11 текущих аттестаций при изучении дисциплины.

При подготовке к текущей аттестации рекомендуется повторить лекционный материал по соответствующей тематике практического занятия.

К защите следует представлять практические работы, оформленные в полном соответствии с заданиями практического занятия. Выполнять задания следует придерживаясь алгоритма решения, представленного в учебно-методическом пособии к практическим работам.

Оценка «Зачтено» является экспертной и зависит от уровня освоения студентом практического материала (таблица 3).

Таблица 3. Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок / Критерий	**2**	**3**	**4**	**5**
	0-40 %	**41-60 %**	**61-80 %**	**81-100 %**
	«не зачтено»	**«зачтено»**		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Для успешного прохождения текущей аттестации студенту следует ответить на контрольные вопросы, представленные в конце каждой практической работы. В случае, если студент не смог дать полный и верный ответ, преподаватель может задать дополнительные вопросы

Для прохождения текущей аттестации студент должен показать набор знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект и в состоянии решить поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юсов, А. И. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки 35.03.03 « Агрохимия и агропочвоведение» / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – 120 с.

2. Юсов, А. И. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв: учеб.-методич. пособие по практическим занятиям для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение» / А. И. Юсов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 97 с.

Локальный электронный методический материал

Александр Иванович Юсов

АГРОХИМИЧЕСКАЯ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ПОЧВ

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 7,8. Печ. л. 6,0.

Издательство федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1