

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СЛИ)

Кафедра «Охрана окружающей среды и техносферная безопасность»

О. А. Конык, Т. В. Шахова

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГРУНТОВ

Учебное пособие

Утверждено учебно-методическим советом

*Сыктывкарского лесного института в качестве учебного пособия
для студентов направлений подготовки бакалавриата 18.03.02 «Энерго-
и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды и рациональное
использование природных ресурсов»), 20.03.01 «Техносферная безопасность»
(профиль «Инженерная защита окружающей среды») всех форм обучения*

Издание 2-е, дополненное и переработанное

Самостоятельное учебное электронное издание

СЫКТЫВКАР 2018

УДК 631.4
ББК 40.3
К64

Издается по решению редакционно-издательского совета Сыктывкарского лесного института.

Ответственный редактор: **А. П. Карманов**, доктор химических наук, профессор

Рецензенты: **кафедра химии** (Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина); **С. А. Рубцова**, доктор химических наук (Институт химии Коми научного центра УрО РАН)

Коньк, О. А.

К64 Контроль качества грунтов [Электронный ресурс] : учебное пособие : самостоятельное учебное электронное издание / О. А. Коньк, Т. В. Шахова ; Сыкт. лесн. ин-т. — Изд. 2-е, доп. и перераб. — Электрон. дан. — Сыктывкар : СЛИ, 2018. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. — Загл. с экрана.

В учебном пособии представлены материалы по деградации почв и земель, нормированию качества почв, приведены сведения по физическим и гранулометрическим параметрам почв, ее структуре, химическим особенностям, показаны лабораторные исследования физических (гранулометрический, агрегатный состав, водопрочность, плотность, пористость и др.) и химических свойств почвы (поглонительная способность, кислотнo-основные свойства, сумма водорастворимых веществ), почвенному экологическому мониторингу. Приведены расчеты ущерба от деградации земель и почв, а также загрязнения химическими веществами.

Предназначено для студентов направлений подготовки бакалавриата 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»), 20.03.01 «Техносферная безопасность» (профиль «Инженерная защита окружающей среды») всех форм обучения.

Издание 2-е, переработанное и дополненное (1-е издание вышло в 2013 г. в электронном виде).

УДК 631.4
ББК 40.3

Темплан 2017/18 учеб.г. Изд. № 246.

* * *

Самостоятельное учебное электронное издание

КОНЬК Ольга Ананиевна, кандидат технических наук, доцент;
ШАХОВА Татьяна Валериевна, преподаватель

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГРУНТОВ

Учебное пособие

Электронный формат pdf. Разрешено к публикации 16.04.2018. Объем 8,6 уч.-изд. л.
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СЛИ)
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com
Издано в СЛИ. Заказ № 18.

© Коньк О. А., Шахова Т. В., 2018
© СЛИ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. Грунты, почвы, их функции и типы деградации почв	9
1.1. Основные особенности грунтов и почв	9
1.2. Функции почвы	11
1.3. Деградация почв и земель	15
Контрольные вопросы	18
Глава 2. Нормирование химического загрязнения почв	19
Контрольные вопросы	22
Глава 3. Полевое исследование почв	23
3.1. Закладка разреза, их виды. Почвенный генетический профиль и горизонты	23
3.2. Изучение морфологических признаков почвы: окраска почвы. Влажность почвы. Гранулометрический состав почвы. Структура и сложение почвы	26
3.3. Корневые системы растений, землерои, новообразования и включения в почве	31
3.4. Техника отбора образцов почвы	35
Контрольные вопросы	35
Глава 4. Физические свойства почвы и их лабораторное исследование	37
4.1. Гранулометрический состав почвы	37
4.1.1. Определение гранулометрического состава почв методом пипетки (вариант Н.А. Качинского с подготовкой почвы к анализу пирофосфатным методом по С.И. Долгову и А.И. Личмановой)	41
4.1.2. Определение гранулометрического состава почвы методом Рутковского	44
4.2. Агрегатный (структурный) анализ и определение водопрочности почвенных агрегатов	47
4.3. Водные свойства почвы	50
4.3.1. Определение полевой влажности почвы	52
4.3.2. Определение гигроскопической влажности почвы	53
4.3.3. Определение наименьшей влагоемкости почвы	54

4.4. Общие физические свойства почвы	56
4.4.1. Определение плотности твердой фазы почвы	58
4.4.2. Определение плотности сложения почвы	59
4.4.3. Определение общей пористости и степени аэрации почвы расчетным методом	61
Контрольные вопросы	62
Глава 5. Химические свойства почвы и их лабораторные исследования	63
5.1. Органическое вещество почвы	64
5.1.1. Определение общего содержания гумуса в почве методом И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова	66
5.1.2. Изучение свойств гумусных веществ почвы	70
5.2. Поглотительная способность почвы	72
5.2.1. Качественное определение основных видов поглотительной способности почвы	74
5.2.2. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена-Гильковица	76
5.3. Кислотно-основные свойства почвы	78
5.3.1. Определение рН водной вытяжки (актуальной кислотности) потенциометрическим методом	81
5.3.2. Определение рН солевой вытяжки (обменной кислотности) потенциометрическим методом	82
5.3.3. Определение гидролитической кислотности	82
5.3.4. Вычисление степени насыщенности почвы основаниями	83
5.3.5. Вычисление потребности почвы в извести по величине гидролитической кислотности	84
5.4. Засоленность почв	85
5.4.1. Определение общей суммы водорастворимых веществ (сухой остаток)	86
5.4.2. Качественный анализ водной вытяжки	88
5.4.3. Определение содержания карбонатов ацидиметрическим методом	90
Контрольные вопросы	91
Глава 6. Почвенный экологический мониторинг: понятия, показатели, виды, объекты, методы	93
6.1. Понятие о почвенном экологическом мониторинге	93

6.2. Показатели почвенного экологического мониторинга	93
6.3. Виды почвенного экологического мониторинга	94
6.4. Объекты почвенного экологического мониторинга	96
Контрольные вопросы	97
Глава 7. Специфический почвенный экологический мониторинг	98
7.1. Виды специфического экологического мониторинга загрязненных почв	98
7.2. Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв	100
7.3. Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв	106
7.4. Экологическое нормирование качества загрязненных почв	108
Контрольные вопросы	120
Глава 8. Комплексный экологический мониторинг почв	121
8.1. Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию	121
8.2. Интегральная оценка степени деградации почв	125
Контрольные вопросы	126
Глава 9. Универсальный почвенный экологический мониторинг	128
9.1. Мониторинг микробиологического состава почв	128
9.2. Мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный мониторинг)	132
Контрольные вопросы	135
Глава 10. Глобальный почвенный экологический мониторинг	136
Контрольные вопросы	139
Глава 11. Экономическое регулирование качества почв и земель	140
11.1. Исчисление размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды	140
11.2. Порядок расчета размера ущерба от деградации почв и земель	147
Проверочные тесты	151
Библиографический список	153

ВВЕДЕНИЕ

В течение многих веков хозяйственная деятельность людей определялась принципом неограниченного экономического роста, что привело к истощению природных ресурсов, деградации природной среды, ухудшению качества среды обитания. Сегодня продолжается загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, изменяется растительный покров, сокращаются лесные площади, уменьшаются запасы лекарственных растений и снижается численность промысловых зверей и птиц. Под отходы производства и потребления отчуждаются огромные площади земель, земли становятся непригодными для хозяйственного использования, снижается их плодородие, они загрязняются пестицидами, агрохимикатами, диоксинами, дифенилами, неорганическими и органическими веществами [6].

По подсчетам эколога Ю. Одума, для обеспечения материального благополучия, для здоровья и психического комфорта каждому человеку в среднем необходима территория в 2 га, в том числе 0,6 -1,0 га – для производства продовольствия (из них 0,3 га должно приходиться на пашню), 0,2 га – для расселения жителей и их производственных нужд, 0,8 – 1,2 га – должны оставаться нетронутыми (естественный ландшафт), что необходимо для отдыха и путешествий, для сохранения экологически устойчивой биосферы [3].

Россия является самым большим по площади государством в мире. Россия имеет высокую обеспеченность земельными ресурсами. В России на 1 человека приходится около 12 га территории.

Ошибочным является представление о безграничности и неисчерпаемости земельных и почвенных ресурсов. Эти ресурсы ограничены в России ее природно-климатическими условиями и антропогенными негативными воздействиями.

Сегодня мониторинг земель проводится в соответствии с Земельным кадастром РФ на глобальном, региональном и локальном уровнях [2]. В задачу контроля за загрязнением почвенного покрова входит:

- определение современного уровня концентраций химических веществ в почве;
- выявление пространственного расположения зон загрязнения и установление степени их опасности;
- изучение временной динамики загрязнения почв, закономерностей распространения и концентрации загрязняющих веществ в почвенном профиле;
- прогноз изменения химического состава почв;
- оценка возможных последствий загрязнения.

В зависимости от поставленных задач исследования контроль почв и земель проводится в виде:

- систематических наблюдений в течение определенного промежутка времени;

- комплексных наблюдений процессов миграции вещества в системе: атмосферный воздух – почва – растения – поверхностные и грунтовые воды – донные отложения;

- изучения вертикальной миграции загрязняющих веществ по почвенному профилю;

- отслеживания уровня загрязнения почв в определенных пунктах, характеризующих источники загрязнения.

Контроль за уровнем загрязнения почв носит, как правило, экспедиционный характер и выполняется в соответствии с нормативными требованиями на определенной площади по регулярной сети опробования; на ключевых участках, характеризующих типичные сочетания природных условий и антропогенного воздействия; на отдельных почвенно-геохимических профилях, закладываемых по определенным направлениям и пересекающих основные элементы рельефа [7].

Пункты сети наблюдений за загрязнением почв – это сельскохозяйственные угодья (поля), отдельные лесные массивы зон отдыха (парки, санатории, дома отдыха) и прибрежные зоны [2].

В связи с вышесказанным студентам природоохранной направленности целесообразно овладеть знаниями и умениями, связанными с контролем качества почв и грунтов.

Учебная дисциплина «Контроль качества грунтов» [1] предназначена для студентов всех форм обучения направлений бакалавриата «Энего- и ресурсоберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов») и «Техносферная безопасность» (профиль «Инженерная защита окружающей среды»).

В процессе изучения данной дисциплины студентам предлагается ознакомиться с основными особенностями грунтов и почв, функциями почв, причинами их деградации, нормированием химического загрязнения почв, методикой полевого исследования почв, физическими и химическими свойствами почв и их лабораторными исследованиями, проведением почвенного экологического мониторинга. Кроме того, предлагаются экономические расчеты по исчислению размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды и расчет ущерба от деградации почв и земель.

В конце учебного пособия приведен список литературы, который поможет расширить кругозор студентов по ряду вопросов.

Для проверки полученных знаний студентам предлагаются в конце каждой главы контрольные вопросы, а в конце пособия тесты.

ГЛАВА 1. ГРУНТЫ, ПОЧВЫ, ИХ ФУНКЦИИ И ТИПЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

1.1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРУНТОВ И ПОЧВ

Грунт (нем. Grund – основа, почва) – любые горные породы, почвы, осадки, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентные, динамичные системы, являющиеся компонентами геологической среды и объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека [2].

Различают:

- **скальные и полускальные грунты** – монолитные грунты с жесткими структурными связями (рис.1);

- **дисперсные грунты** – раздельнозернистые грунты без жестких структурных связей: связные – глинистые; несвязные – песчаные и крупнообломочные. В связи с этим, дальше речь будет идти о дисперсных грунтах, а если более точно, то о почвах.

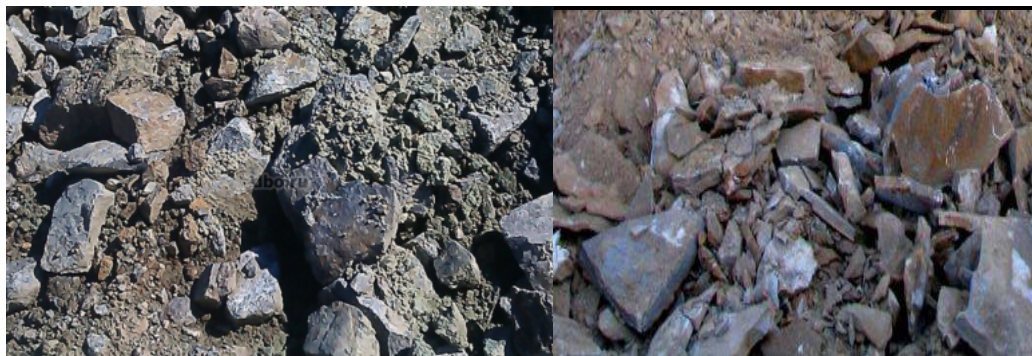


Рис.1. Скальные и полускальные грунты

Почва – это самый поверхностный, рыхлый, часто тонкий слой земной коры, покрытый растительностью и состоящий из минеральных частиц, органического вещества, воды, воздуха и живых организмов.

Почва возникла в результате изменения горных пород под воздействием различных организмов в условиях разных климатов и форм рельефа. Почвы так же разнообразны, как и природные условия суши (рис.2).

Как химическая система почва гетерогенна и состоит из трех фаз:

- твердой,
- жидкой,
- газообразной.

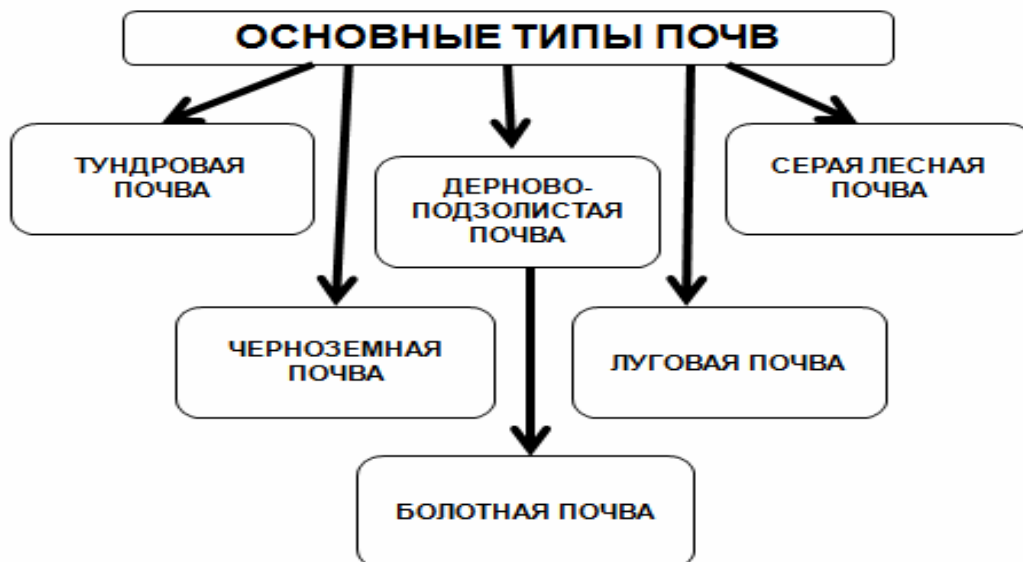


Рис.2. Типы почв

Твердая фаза почвы содержит основной запас питательных веществ для растений. Она состоит на 90% и более из сложных минералов и примерно на 10% и менее – из органических веществ, которые играют важную роль в плодородии почвы. Почти половина массы твердой фазы почвы приходится на связанный кислород, одна треть - на кремний, более 10% - на алюминий и железо и только 7% - на остальные элементы.

Совокупность мелкораздробленных (коллоидных) частиц почвы и органических веществ составляет *почвенный поглощающий комплекс* (ППК). Суммарный заряд ППК большинства почв отрицательный, и тем самым он удерживает на своей поверхности в поглощенном состоянии в основном положительно заряженные ионы – катионы (рис.3).

Схема 1

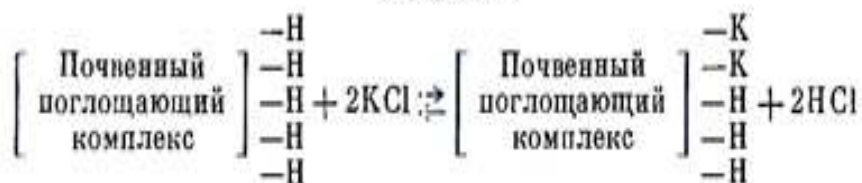


Схема 2

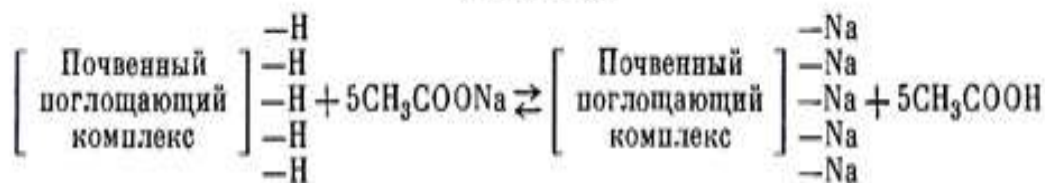


Рис. 3. Схемы обменных реакций в почвенном поглощающем комплексе

Почвенный раствор – наиболее подвижная и активная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой растения непосредственно усваивают питательные вещества.

Почвенный воздух служит основным источником кислорода для дыхания корней растений (рис.4). Он отличается от атмосферного повышенным содержанием углекислого газа и несколько меньшим – кислорода.

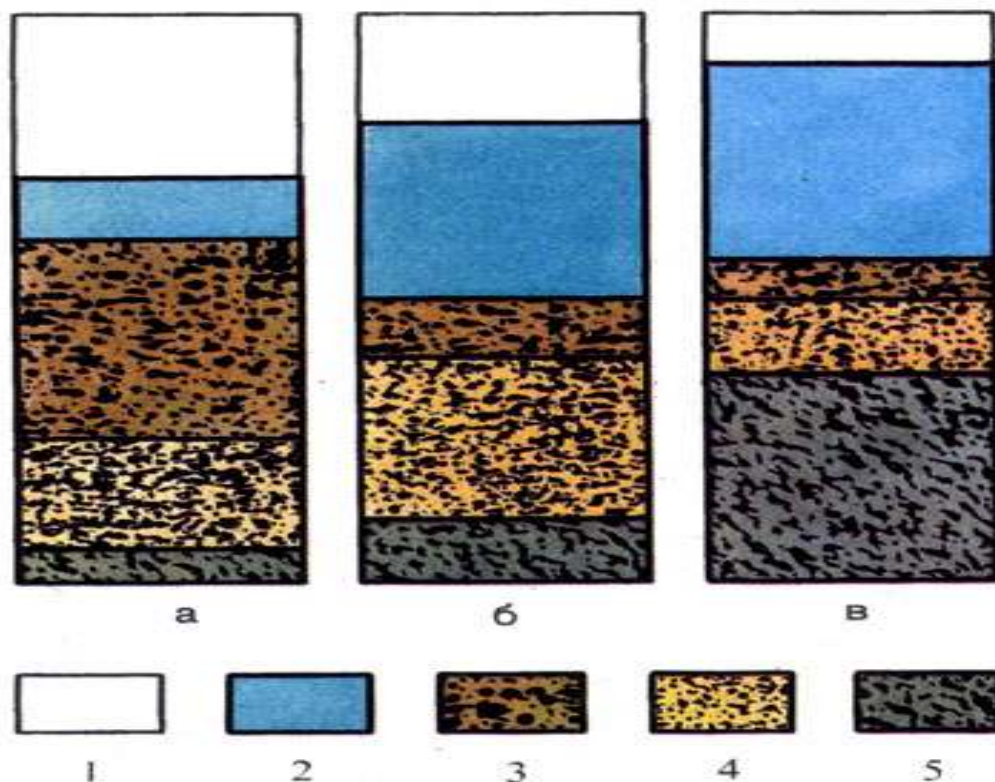


Рис.4. Состав почвенного воздуха в различных видах почв:
1 - воздух, 2 - вода, 3 - грубый песок, 4 - мелкий порошкообразный песок,
5 - частицы ила; а) почва песчаная, б) почва глинистая, в) почва илистая

От состава и содержания различных групп соединений зависят плодородие и мелиоративные особенности почв.

1.2. ФУНКЦИИ ПОЧВЫ

В настоящее время существует фундаментально новый подход для оценки воздействия землепользования на почву и он связан с ее функциями [4].

Почва выполняет шесть основных функций (рис. 5).

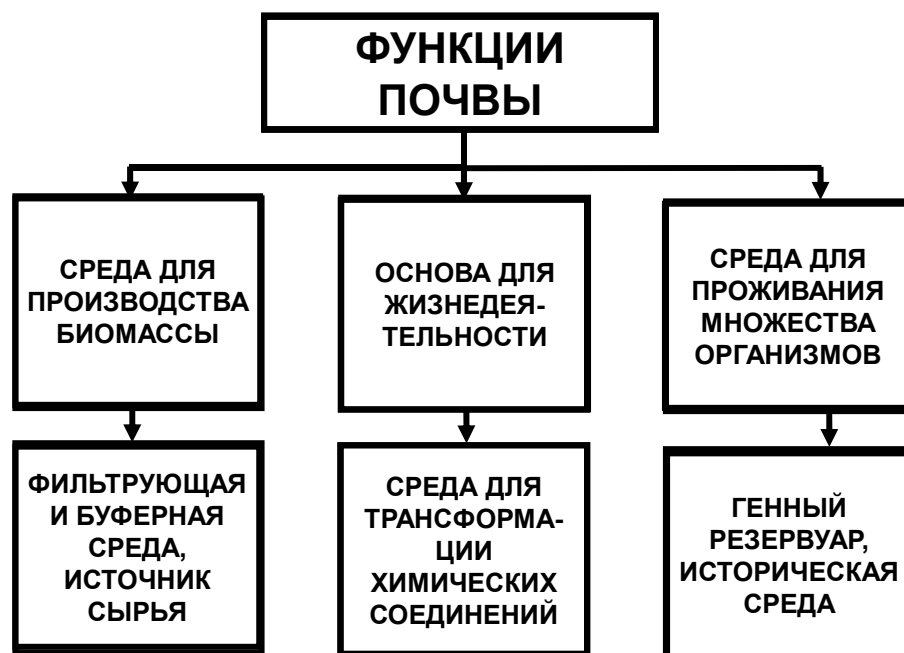


Рис.5. Функции почвы

Первые четыре функции являются экологическими, а последние две выдвигают на первый план технико-промышленные, социоэкономические и культурные аспекты.

Почва – среда для производства биомассы. Большая часть производства пищи, кормов или возобновляемых сырьевых материалов связаны с почвой, с питательными веществами, воздухом, водой и средой, в которую проникают корни растений. Серьезная деградация почвы в результате человеческой деятельности может вызвать падение производства пищи и древесины. Эрозия и сжатие почв – это важнейшие угрозы для устойчивого земледелия. К концу 90-х годов им подверглось до 20% земель в Европе.

Почва – фильтрующая и буферная среда. Лишь в последнее десятилетие было осознано полное значение этих функций почвы. Они позволяют почвам задерживать опасные соединения, попавшие в них, и препятствуют их движению в грунтовые воды и попаданию в пищевые цепочки. Эти соединения могут быть механически отфильтрованы почвой, адсорбированы или осаждены, а органические загрязнители разложены или трансформированы. Эти свойства почв являются важнейшими, так как примерно 65% населения Европы и Северной Америки потребляют в качестве питьевой именно грунтовую воду.

Почвенное органическое вещество является важнейшим фактором в создании **буферной емкости почвы**.

Почва амортизирует химические воздействия, а также колебания температуры. Поступление химических веществ извне, например кислых соединений, амортизируются основными катионами (Na, K, Ca, Mg), присутствующими в почве и накопившимися в результате выветривания глинистых минералов. Почва, таким образом, действует как бассейн для стоков, в котором накапливаются загрязнители, до тех пор пока ее буферная емкость не будет исчерпана. В

оптимальных условиях более 99% пестицидов трансформируются в нетоксичные соединения в пределах пахотного слоя на орошаемых почвах. Оставшийся 1% веществ, которые не разлагаются, но способны угрожать качеству питьевой воды в регионах с высокими нормами применения пестицидов.

Более того, буферная функция почвы изменяется со временем, и, когда она истощена, почва может превратиться в источник загрязняющих веществ, которые начнут вымываться в грунтовые воды. Это метафора «химической бомбы замедленного действия».

За разложение органических веществ и трансформацию таких веществ как сульфаты и нитраты, ответственны почвенные микроорганизмы. Изменения в окружающей среде могут существенно снизить емкость почвы по отношению к загрязнителям. В связи с этим, *почва – это центральный фактор* в определении критических нагрузок на природные экосистемы.

Почва – среда обитания и хранитель генов. Почва создает среду обитания для многочисленных организмов и микроорганизмов, она является также генным резервуаром.

Ухудшение качества почв вызывает уменьшение биоразнообразия. Потеря биологической активности и численности видов животных могут быть вызваны удалением или сжиганием растительности, избыточным применением удобрений или биоцидов, а также закислением почв в результате атмосферного загрязнения.

Часто биологическая деградация почв связана с их физической или химической деградацией. Например, сжатие почвы ведет к снижению ее аэрации, что может привести к уменьшению активности земляных червей, а это, в свою очередь, вызовет дальнейшую деградацию почвенной структуры. Закисление может привести к гибели образующих гумус бактерий и корневых грибов. К сожалению, степень биологической деградации почвы очень трудно оценить.

Почва – основа современной жизни. Почва является физической средой для создания инфраструктуры – домов, промышленных предприятий, дорог, зон отдыха и зон оздоровления, и средой для размещения отходов.

Сегодня застроенные территории занимают 2% общей площади земли в Европе: от 0,5% в Исландии до 12% в Венгрии, 13% в Италии и 14% в Голландии. «Закрывание» почвы при урбанизации преобладает в регионах с наибольшей плотностью населения и в главных промышленных зонах Западной Европы, например, в Германии ежегодно «теряется около 120 га земли. Это приводит к увеличению площади непроницаемой поверхности и снижает проникновение воды в почву.

Почва – источник сырьевых материалов. В толще Земли находится огромное количество месторождений полезных ископаемых, которые в процессе разведки, добычи не только играют положительную роль, обеспечивая потребности населения планеты в минеральных ресурсах, но и оказывают серьезное воздействие на ландшафт и грунтовые воды (рис. 5)



Рис.5. Загрязнение тундры отходами производства

Почва – историческая среда. Почва содержит археологические находки – произведения искусства и предметы палеонтологии, которые являются уникальным источником исторической информации.

Функции почвы могут **взаимодействовать во времени и пространстве**, создавая конфликты между различными землепользователями.

Взаимодействия в пространстве могут быть вызваны, например, сельскохозяйственной практикой, которая влияет не только на сельскохозяйственные угодья, но и на соседние несельскохозяйственные земли и почвы, грунтовую воду. Так, передвижение пестицидов с водой может воздействовать на чувствительные виды организмов, а перенос удобрений с ветром или водой сельскохозяйственных угодий к граничащим с ними природным водоемам может привести к евтрофикации экосистем, бедных питательными веществами.

Почвенные функции могут также **изменяться во времени**, например, сельскохозяйственная территория может оказаться заброшенной или быть осознанно превращена в полуприродный ландшафт для восстановления ее функций.

На протяжении многих веков все почвенные функции сохранялись без осложнений. Проблемы возникли в начале XX века, когда ускоряющееся развитие общества начало входить в противоречие с экологическими функциями почвы. Расширение поселений и увеличение инфраструктуры, особенно для промышленности и транспорта, отведение земли под свалки для отходов, добыча полезных ископаемых и интенсивное сельское хозяйство привели к огромному «давлению» на почву. Деятельность человека привела к ухудшению

почвенных характеристик и к вырождению одной или нескольких функций почвы.

1.3. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

Масштабная деградация и растущая скудность земельных и водных ресурсов угрожают основным продовольственным системам мира и усложняют задачу обеспечения продовольствием населения мира, которое, по прогнозам, вырастет до 9 млрд. человек к 2050 г., говорится в докладе ФАО «Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства». Сегодня **25% земли в мире деградировано**. Еще 8% - умеренно деградированы, 36% стабильны или слегка повреждены и 10% классифицированы как «улучшающиеся». Оставшиеся земельные ресурсы либо пустые (примерно 18%), либо покрыты внутренними водоемами (примерно 2%). Эти цифры включают все типы землепользования, а не только фермерские земли. Большие территории на всех континентах испытывают земельную деградацию, особенно масштабные прецеденты наблюдались на западном побережье Америки, на побережье Средиземного моря в Южной Европе и Северной Африке, в районе Сахел и Африканского Рога, а также по всей Азии. Самую серьезную угрозу после потери биоразнообразия и сокращения водных ресурсов представляет ухудшение качества почвы [4, 6].

Деградация почв и земель представляет собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель [4].

Под степенью деградации (деградированности) почв и земель понимается характеристика их состояния, отражающая ухудшение состава и свойств. Крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова и порча земель.

Выделяются следующие *основные типы деградации почв и земель*:

- технологическая (эксплуатационная) деградация, в т.ч.:
 - нарушение земель;
 - физическая деградация;
 - агроистощение;
- эрозия, в т.ч.:
 - водная;
 - ветровая;
- засоление, в т.ч.:
 - собственно засоление;
 - осолонцевание;
- заболачивание.

Основные факторы деградации почв и земель показаны на рис. 6.

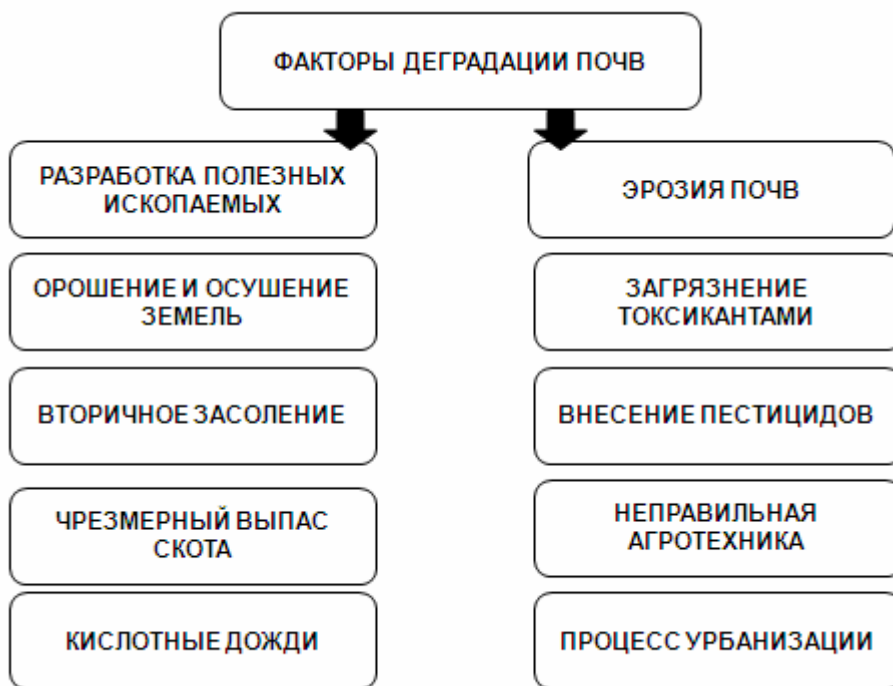


Рис. 6. Основные факторы деградации почв и земель

Под технологической деградацией понимается ухудшение свойств почв, их физического состояния и агрономических характеристик, которое происходит в результате эксплуатационных нагрузок при всех видах землепользования (рис.7).

Нарушение земель представляет собой механическое разрушение почвенного покрова и обусловлено открытыми и закрытыми разработками полезных ископаемых и торфа; строительными и геологоразведочными работами и др. К нарушенным землям относятся все земли со снятым или перекрытым гумусовым горизонтом и непригодные для использования без предварительного восстановления плодородия, т.е. земли, утратившие в связи с их нарушением первоначальную ценность.

Физическая деградация почв характеризуется нарушением (деформацией) сложения почв, ухудшением комплекса их физических свойств.

Агроистощение почв представляет собой потерю почвенного плодородия в результате сельскохозяйственной деятельности. Агроистощение почв, как правило, сопровождается физической деградацией почв вплоть до полного разрушения почвенного покрова.



Рис.7. Деградация почвы

Эрозия представляет собой разрушение почвенного покрова под действием поверхностного стока и ветра с последующим перемещением и переотложением почвенного материала.

Водная эрозия представляет собой разрушение почвенного покрова под действием поверхностного стока. Выделяется плоскостная и линейная эрозия.

Плоскостная эрозия проявляется в виде смывости поверхностных горизонтов (слоев) почв.

Линейная (овражная) эрозия представляет собой размыв почв и подстилающих пород, проявляющихся в виде формирования различного рода промоин и оврагов.

Под ветровой эрозией понимается захват и перенос частиц поверхностных слоев почв ветровыми потоками, приводящий к разрушению почвенного покрова.

Засоление почв и земель представляет собой процесс накопления водорастворимых солей, включая и накопление в почвенном поглощающем комплексе ионов натрия и магния.

Собственно засоление - это избыточное накопление водорастворимых солей и возможное изменение реакции среды вследствие изменения их катионно-анионного состава.

Осолонцевание представляет собой приобретение почвой специфических свойств, обусловленное вхождением ионов натрия и магния в почвенный поглощающий комплекс.

Под заболачиванием понимается изменение водного режима, выражающееся в длительном переувлажнении, подтоплении и затоплении почв и земель.

Для оценки степени деградации почв и земель используются индикаторные показатели, по которым установлены пороговые значения для определения потери природно-хозяйственной значимости земель. При этом необходимо вве-

дение дополнительных показателей, более полно характеризующих деградацию почв и земель.

Деградация почв и земель по каждому индикаторному показателю характеризуется пятью степенями:

- 0 - недеградированные (ненарушенные);
- 1 - слабodeградированные;
- 2 - среднедеградированные;
- 3 - сильнодеградированные;
- 4 - очень сильнодеградированные (разрушенные).

Контрольные вопросы

1. Чем грунт отличается от почвы?
2. Как классифицируют грунты?
3. Что понимают под почвенным поглощающим комплексом?
4. Как можно охарактеризовать почвенный раствор?
5. Чем почвенный воздух отличается от атмосферного воздуха?
6. Какие шесть функций выполняет почва?
7. Что понимают под деградацией почв и земель?
8. Какие существуют типы деградации почв и земель?
9. Какие известны факторы деградации почв?
10. Что используют для оценки степени деградации почв и как можно охарактеризовать эти показатели?

ГЛАВА 2. НОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Нормирование химического загрязнения почв устанавливается по *предельно допустимым концентрациям (ПДК_n)*.

По своей величине ПДК_n значительно отличаются от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха (в большую сторону). Это объясняется тем, что непосредственное поступление вредных веществ в организм из почвы происходит лишь в исключительных случаях и незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (вода, воздух, растения). Нормы ПДК для почв стали вводиться лишь с 1980 г. и в настоящее время установлены для более ста веществ [2].

ПДК_n - это концентрация химического вещества (мг/кг) в пахотном слое почвы, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы [2].

ПДК_n учитывает шесть лимитирующих показателей:

- органолептический,
- общесанитарный,
- токсикологический,
- миграционный водный,
- миграционный воздушный,
- фитоаккумуляционный (ФА).

Органолептический показатель - это минимальное содержание вещества в почве, вызывающее достоверные отрицательные изменения в пищевой ценности растительной пищи.

Общесанитарный показатель характеризует самоочищающую способность почвы и микробиоценоз. Он представляет собой максимальную концентрацию токсиканта в почве, которая за 7 сут не приводит к сокращению на 50 % и более численности микроорганизмов или к отрицательным изменениям (свыше 25 %) двух и более показателей биологической активности почвы.

Токсикологический показатель - максимальная не действующая на организм человека при непосредственном контакте доза загрязнителя в почве.

Миграционно-воздушный показатель вредности учитывает поступление химических веществ из почвы в атмосферный воздух с почвенной пылью, водными парами и другими носителями. При этом за пороговую концентрацию по этому показателю вредности принимают то содержание химического вещества в почве (в мг/кг абсолютно сухой почвы), при котором его среднесуточное поступление в атмосферный воздух не приведёт к превышению установленной для него среднесуточной ПДК в атмосферном воздухе.

Миграционно-водный показатель вредности характеризует процессы миграции химических веществ в поверхностные и грунтовые воды. Пороговой концентрацией по этому показателю вредности является максимальное количество химического вещества в почве, при котором его поступление в грунтовые

воды и открытые водоёмы с поверхностным стоком не создает концентраций, превышающих *ПДК* для воды водоёмов.

Фитоаккумуляционный (транслокационный) показатель вредности характеризует процесс миграции химического вещества из почвы в культурное растение и накопления его в фитомассе товарной части растения, используемой в качестве продуктов питания. Под пороговой концентрацией по этому показателю вредности понимают то количество химического вещества в почве, при котором накопление этого вещества фитомассой товарных частей к моменту сбора урожая не превысит установленных для продуктов питания допустимых концентраций (*ПДК*). С учётом миграции вредных веществ в сельскохозяйственную продукцию устанавливают *ПДК* для почв сельскохозяйственного назначения.

ПДК_п некоторых веществ приведены в табл. 1.

Табл. 1. Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование веществ	<i>ПДК</i> , мг/кг почвы с учётом фона	Показатели вредности (K_{\max})				Класс опасности
		Транслокационный K_1	Миграционный		Общесанитарный K_4	
			Водный K_2	Воздушный K_3		
Медь	3,0	3,5	72,0	–	3,0	2
Хром	6,0	6,0	6,0	–	6,0	2
Никель	4,0	6,7	14,0	–	4,0	2
Цинк	23,0	23,0	200,0	–	37,0	1
Кобальт	5,0	25,0	>1000,0	–	5,0	2
Фтор	10,0	10,0	10,0	–	25,0	1
Сурьма	4,5	4,5	4,5	–	50,0	2
Марганец	1500,0	3500,0	1500,0	–	1500,0	3
Ванадий	150,0	170,0	350,0	–	150,0	3
Марганец + ванадий	1000,0 + 100,0	1500,0 + 150,0	2000,0 + 200,0	–	1000,0 + 100,0	3
Свинец	30,0	35,0	260,0	–	30,0	1
Мышьяк	2,0	2,0	15,0	–	10,0	1
Ртуть	2,1	2,1	33,0	–	5,0	1
Свинец + ртуть	20,0 + 1,0	20,0 + 1,0	30,0 + 2,0	–	50,0 + 2,0	1
Хлористый калий	560,0	1000,0	560,0	1000,0	5000,0	3
Нитраты	130,0	180,0	130,0	–	225,0	2
Бенз(а)пирен	0,02	0,2	0,5	–	0,02	1
Бензол	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0	2
Толуол	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0	2
Изопропилбензол	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0	1
Альфа метил-	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0	2

стирол						
Стирол	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0	2
Ксилол	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0	2
сероводород	0.4	160.0	140.0	0.4	160.0	3
элементарная сера	160,0	180,0	380,0	–	160,0	3
серная кислота	160,0	180,0	380,0	–	160,0	1
Отходы флота- ции угля	3000,0	9000,0	3000,0	6000,0	3000,0	2
Комплексные гранулирован- ные удобрения (N:P:K = 64:0:15)	120,0	800,0	120,0	800,0	800,0	3
Жидкие ком- плексные удобрения (N:P:K = 10:34:0)	80,0	800,0	80,0	>800,0	800,0	3

Примечание: ПДК могут корректироваться в соответствии с действующими нормативными документами.

В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют ПДК_п, проводят расчет временных допустимых концентраций (ВДК_п):

$$(1)$$

где ПДК_{пр} - предельно допустимая концентрация для продуктов (овощные и плодовые культуры), мг/кг.

Для почв установлены нормы ВДК свыше 75 соединений.

При выявлении зон чрезвычайной ситуации и экологического бедствия загрязнение почв оценивается по суммарному показателю Z_c химического загрязнения. Он определяется как сумма коэффициентов концентраций отдельных компонентов загрязнений по формуле

$$Z_c = K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1), \quad (2)$$

где n - число определяемых элементов;

K_{ci} - коэффициент концентрации i -го загрязнителя, равный частному от деления его массовых долей в загрязненной и «фоновой» почвах (для тяжелых металлов).

Для загрязняющих веществ антропогенного генезиса коэффициенты концентрации определяются как частное от деления массовой доли загрязнителя на его предельно допустимую концентрацию.

При определении предельно допустимых концентраций химических веществ в почве определяют пороговые концентрации по всем рассмотренным показателям вредности и принимают в качестве ПДК наименьшее значение.

Контрольные вопросы

1. Какой показатель является определяющим при нормировании химического загрязнения почв?
2. Что понимают под ПДК почвы?
3. Сколько лимитирующих показателей учитывает ПДК почвы?
4. Что понимают под органолептическим показателем?
5. Что характеризует общесанитарный показатель?
6. По какому показателю оценивается почва в зонах чрезвычайной ситуации и экологического бедствия?

ГЛАВА 3. ПОЛЕВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ

3.1. ЗАКЛАДКА РАЗРЕЗА, ИХ ВИДЫ. ПОЧВЕННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И ГОРИЗОНТЫ

Почва – природное тело с вертикальным изменением свойств, поэтому его изучение проводят в специально выкопанных ямах – почвенных разрезах[5] . Общий вид почвенного разреза представлен на рис. 8.

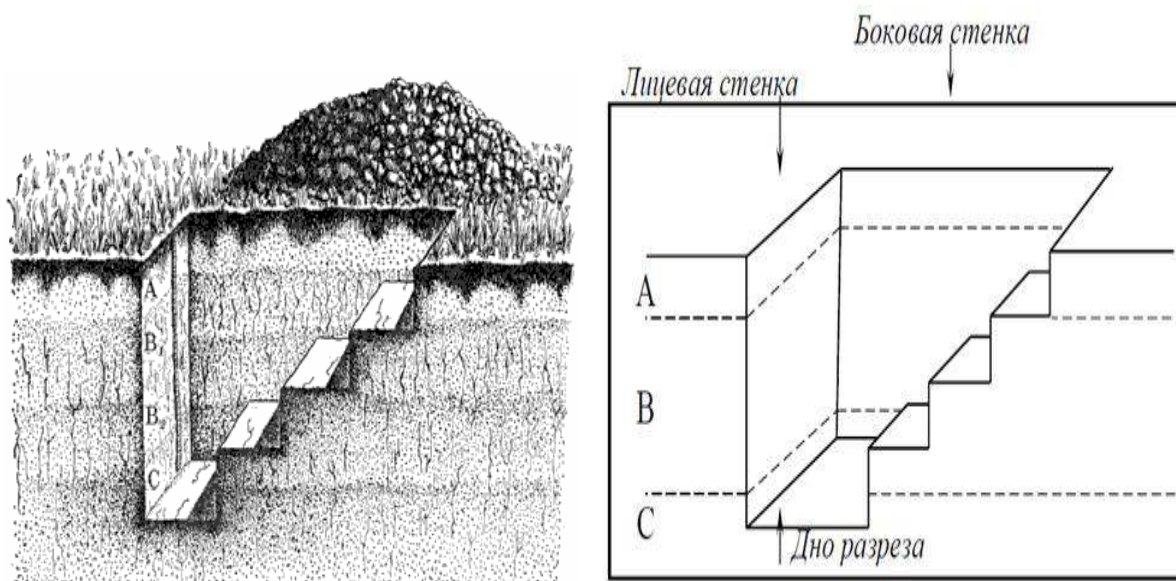


Рис. 8. Почвенный разрез

Перед закладкой почвенного разреза тщательным образом осматривают местность, отмечая особенности и актуальное состояние основных факторов почвообразования: растительности, рельефа, человеческой деятельности. Разрез необходимо закладывать в наиболее характерном месте обследуемой территории, исключая участки с нетипичными элементами микрорельефа, признаками нарушения почв.

Почвенный разрез ориентируют так, чтобы на момент описания профиля почвы передняя стенка была обращена к солнцу. Вначале, наметив общий контур разреза, аккуратно подрезают дерн (снимают лесную подстилку). При рытье разреза материал верхних темных (гумусированных) горизонтов почвы и нижних, более светлых горизонтов, отсыпают отдельно на боковые стороны разреза. Передняя стенка шириной 70-80 см должна оставаться ненарушенной. Переднюю и боковые стенки разреза следует делать отвесными во избежание обвалов и осыпей, а заднюю – в виде ступенек через 30-50 см. Длина разреза составляет обычно 150-200 см, а глубина может варьировать в зависимости от типа разреза.

Почвенные разрезы бывают трех типов: полные (основные) разрезы, контрольные разрезы и прикопки.

Полные, или основные разрезы при почвенном обследовании территории закладывают в наиболее характерных местах. Они предназначаются для всестороннего изучения не только почв, но и материнских пород, поэтому их глубина должна составлять 150-250 см. Такие разрезы служат для специального детального изучения морфологических свойств почв и взятия образцов для физических и химических анализов.

Контрольные разрезы (полуразрезы, полуямы) служат для установления контуров распространения почв и выявления наиболее существенных свойств почв, охарактеризованных полными разрезами. Они имеют глубину 75-150 см. Если при описании полуямы обнаружены признаки, не отмеченные при описании полного разреза, то в этом месте необходимо закладывать полный разрез.

Прикопки закладывают для уточнения границ распространения почв и установления изменения каких-либо отдельных свойств. Глубина их колеблется в зависимости от особенностей почв в пределах от 40 до 75 см.

После закладки почвенного разреза приступают к описанию почвенного генетического профиля. Результаты описания фиксируют на специальных бланках или в полевом журнале. Передняя стенка разреза должна быть наполовину (по вертикальной оси) отпрепарирована почвенным ножом. В таком виде легче определить морфологические особенности почвы: структуру, границы почвенных горизонтов и др.

Почвенный генетический профиль представлен на передней освещенной стенке разреза в виде последовательно сменяющих друг друга почвенных генетических горизонтов. Эти горизонты отличаются друг от друга по цвету, структуре, сложению и ряду других признаков. Переход от одного горизонта к другому, как правило, постепенный. На передней стенке разреза ножом намечают границы почвенных горизонтов и отмечают их мощность с помощью измерительной ленты, закрепленной на верхней бровке передней стенки. Выделение генетических горизонтов почвы требует некоторого навыка, но главным критерием этого выделения является видимое изменение свойств почвы (относительно резкое, или постепенное) на границе горизонтов и относительная однородность почвы в пределах одного горизонта.

Следуя традиции, заложенной в трудах В.В. Докучаева, почвенные горизонты обозначают индексами – буквами латинского алфавита – А, В, С, D (рис.9). Внутри каждого горизонта выделяют подгоризонты, которые обозначают арабскими цифрами (А1, А2; В1, В2). Кроме того, выделяют горизонты, совмещающие признаки соседних горизонтов (А1В; А1А2 и т.п.). Ниже приведена краткая характеристика основных почвенных горизонтов.

Горизонт А – гумусово-аккумулятивный. В этом горизонте происходит разложение отмершего органического вещества: его минерализация (до простых неорганических соединений) и гумификация – превращение в гумус, специфическое почвенное органическое вещество.

Верхняя часть данного горизонта содержит большое количество отмершей органики, смешанной с минеральной частью почвы – это **горизонт А0** (лесная подстилка, степной войлок). **Гумусово-аккумулятивный горизонт А1** выделяется темным (от черного до бурого) цветом. Интенсивность цвета зависит от содержания гумуса, а оттенок – от состава гумусовых веществ. Часть гумусово-аккумулятивного горизонта, подвергающегося вспашке, обозначают как **пахотный горизонт Апах** (или Аа).

В процессе почвообразования гумусовые вещества из горизонта А вымываются в нижележащие горизонты. Вымыванию подвергаются и другие вещества: соли (хлориды, сульфаты, карбонаты), соединения железа, алюминия, марганца, коллоидные и тонко дисперсные илистые частицы. В нижней части горизонта А эти процессы наиболее очевидны. В лесных почвах эту часть гумусового горизонта обозначают **А2 – элювиальный горизонт**.

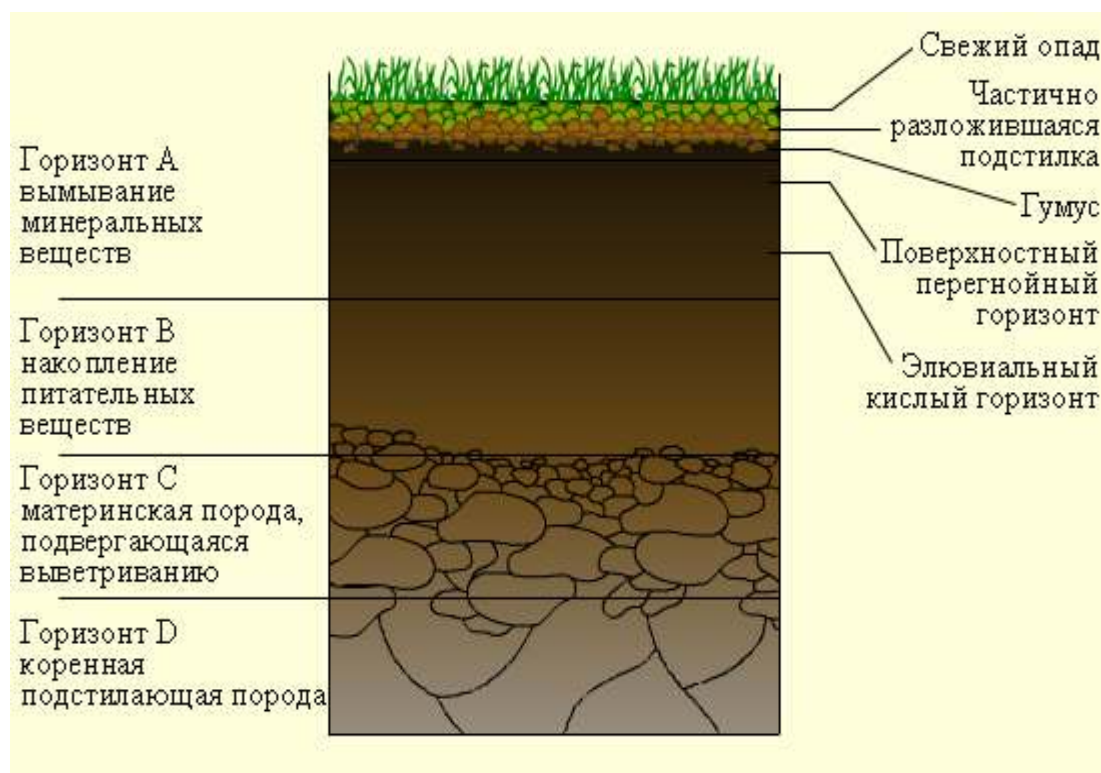


Рис. 9. Почвенный горизонт

Горизонт В – иллювиальный, горизонт вымывания. Этот горизонт отличается от горизонта А изменением цвета и структуры. Цвет может быть бурым, серовато-бурым, красновато-бурым, охристо-бурым.

Горизонт В хорошо оструктурен, более уплотнен и утяжелен благодаря накоплению глины, оксидов железа и алюминия, других коллоидных веществ, вмываемых из вышележащих горизонтов. Это горизонт, переходный к почвообразующей породе, в нем постепенно ослабевают почвообразовательные процессы.

Горизонт С – почвообразующая (материнская) горная порода, из которой сформировалась данная почва, существенно не измененная специфическими процессами почвообразования.

Горизонт D – подстилающая горная порода, которая была вскрыта в почвенном разрезе, и отличающаяся по свойствам (главным образом, по литологии) от материнской породы.

Последовательность почвенных генетических горизонтов – главный классификационный признак почв.

После выделения почвенных горизонтов и подгоризонтов проводят **описание их морфологических признаков**: мощности, цвета, структуры, сложения, распределения корней и следов деятельности землероев, новообразований, включений, а также характера перехода одного горизонта в другой. Кроме того, используя полевые методы, **определяют некоторые физические свойства почвы**: влажность, гранулометрический состав. По качественной реакции на наличие карбонатов (реакция с 10%-ным раствором соляной кислоты), определяют глубину «вскипания» почвы – степень выщелоченности профиля от карбонатов.

Мощность каждого горизонта обозначают в таком виде:

A1 3 – 18/15 см,

где цифры над чертой свидетельствуют о верхней и нижней границе горизонта, а под чертой – мощность его.

3.2. ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПОЧВЫ: ОКРАСКА ПОЧВЫ. ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ. СТРУКТУРА И СЛОЖЕНИЕ ПОЧВЫ.

Цвет (окраска) почвы – важнейший морфологический признак, характеризующий многие ее свойства [5] (рис.10). Для определения цвета почвенного горизонта необходимо:

- а) установить преобладающий цвет;
- б) определить насыщенность этого цвета (темно-серый, светло-серый и т.п.);
- в) отметить оттенки основного цвета (буровато-светло-серый, коричневатобурый, серовато-палевый и т.п.).

Отмечают также степень однородности цвета. Горизонт может быть равномерно однородного цвета или неравномерно однородного цвета (если интенсивность постепенно меняется от верхней части горизонта к нижней). В случае неоднородности цвета возможны такие варианты:

пятнистая окраска – пятна одного цвета нерегулярно располагаются на фоне другого цвета;

крупчатая окраска – мелкие (до 5 мм) пятна одного цвета нерегулярно разбросаны по однородному фону;

полосчатая окраска – регулярное чередование полос разного цвета;

мраморовидная – пестрая окраска из пятен и прожилок разного цвета.

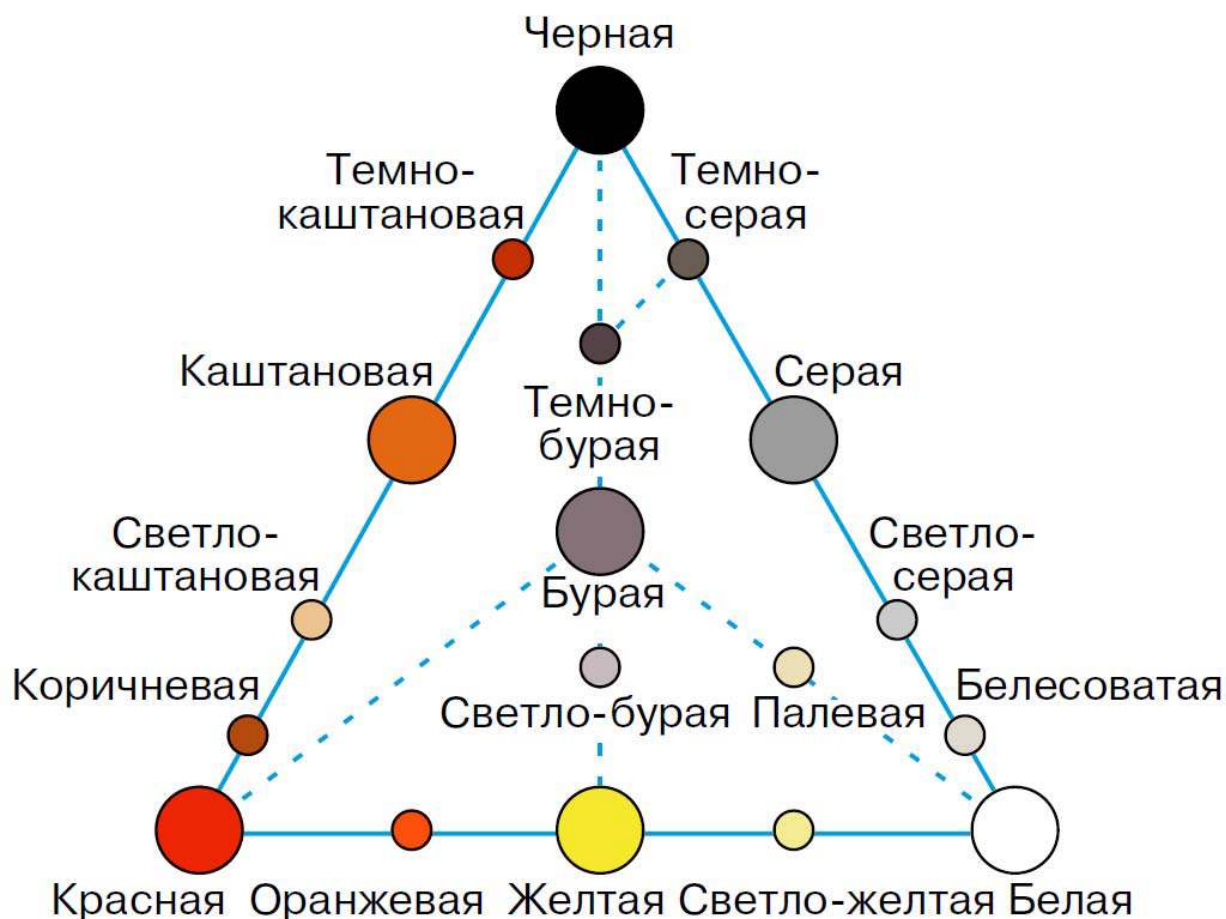


Рис.10. Окраска почвы

Следует иметь в виду, что цвет почвы зависит от ее влажности. Поэтому окончательное обозначение цвета можно сделать в лабораторных условиях после высушивания отобранных образцов. Унифицировать обозначения цвета почвы можно, используя как в полевых, так и в лабораторных условиях цветовую шкалу Манселла (Munsell Soil Color Charts).

Влажность почвы – оценивают, используя пять степеней влажности:

сухая почва – пылит, присутствие влаги в ней на ощупь не ощущается, не холодит руку;

влажноватая почва – холодит руку, не пылит, при подсыхании немного светлеет;

влажная почва – на ощупь явно ощущается влага, почва увлажняет фильтровальную бумагу, при подсыхании значительно светлеет и сохраняет форму, приданную почве при сжатии рукой;

сырая почва – при сжимании в руке превращается в тестообразную массу, а вода смачивает руку, но не сочится между пальцами;

мокрая почва – при сжимании в руке из почвы выделяется вода, которая сочится между пальцами, почвенная масса обнаруживает текучесть.

Гранулометрический состав почвы – относительное содержание в почве частиц разного размера. Близкое по смыслу понятие «механический состав»

обозначает соотношение в почве фракций «физической глины» (частиц размером менее 0,01 мм) и «физического песка» (частицы крупнее 0,01 мм). Количественно этот показатель определяют в лабораторных условиях.

В полевых условиях используют «*сухой*» и «*мокрый*» способ качественного определения гранулометрического состава.

«Мокрый» способ еще называют «методом шнура» (рис.11), его показатели следующие:

A - шнур сплошной, кольцо цельное – глина

B - шнур сплошной, кольцо с трещинами – тяжелый суглинок;

C - шнур сплошной, кольцо при свертывании распадается – средний суглинок;

D - шнур дробится при раскатывании – легкий суглинок;

E - зачатки шнура – супесь;

F - шнур не образуется – песок.

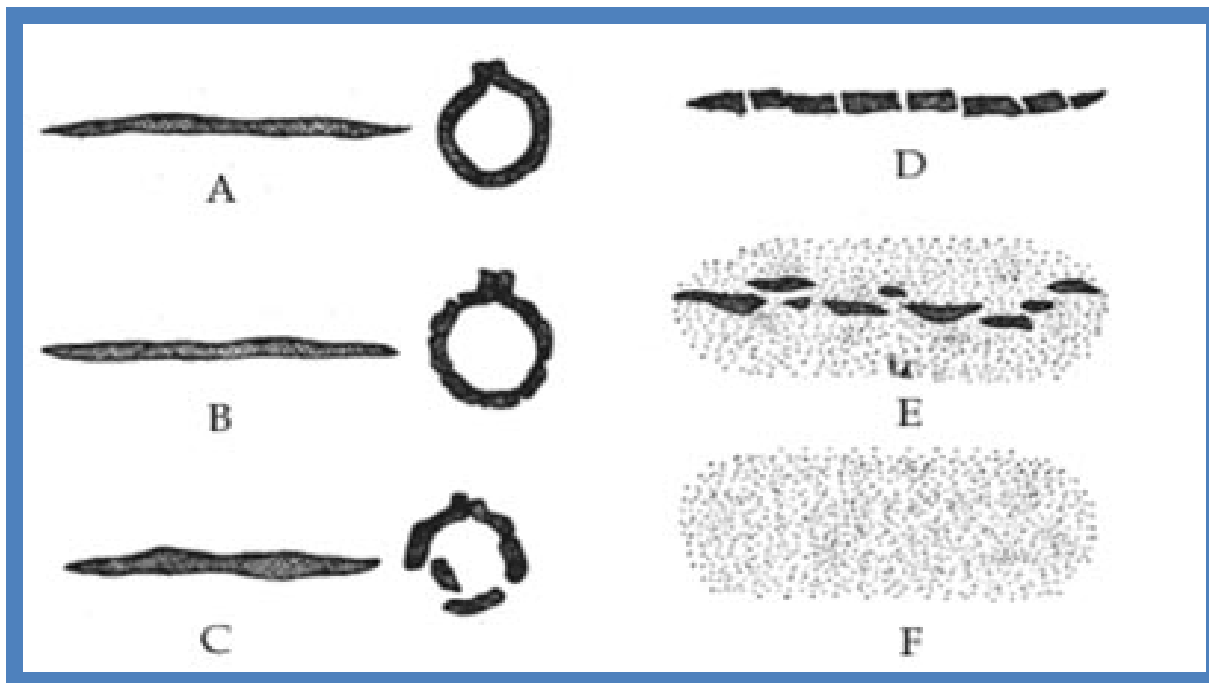


Рис.11. «Мокрый» способ качественного определения гранулометрического состава (метод шнура)

По гранулометрическому составу выделяют **песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые почвы.**

Песчаные почвы состоят только из песчаных зерен с небольшой примесью пылеватых и глинистых частиц. Почва бесструктурная, не обладает связностью.

Супесчаные почвы легко растираются между пальцами. В растертом состоянии явно преобладают песчаные частицы, заметные даже на глаз. Во влажном состоянии образуются только зачатки шнура.

Суглинистые почвы при растирании в сухом состоянии дают тонкий порошок, в котором прощупывается некоторое количество песчаных частиц. Во влажном состоянии раскатываются в шнур, который разламывается при сгибании в кольцо. Легкий суглинок не дает кольца, а шнур растрескивается и дробится при раскатывании. Тяжелый суглинок дает кольцо с трещинами.

Глинистые почвы в сухом состоянии с большим трудом растираются между пальцами, но в растертом состоянии ощущается однородный тонкий порошок. Во влажном состоянии эти почвы сильно мажутся, хорошо скатываются в длинный шнур, из которого можно сделать кольцо.

Структура почвы – важный диагностический показатель почвы – совокупность агрегатов (структурных отдельностей) различной величины, формы и качественного состава и их взаимное расположение в почвенном профиле. В полевых условиях структура почвы определяется следующим образом. Небольшой образец почвы вырезают из соответствующего горизонта в передней стенке разреза и подбрасывают на ладони или лопате до тех пор, пока образец не распадется на структурные отдельности. Эти структурные элементы рассматривают, определяют степень их однородности, размер, форму, характер поверхности. Данные наблюдений фиксируют в полевом журнале.

По форме структурных отдельностей выделяют **три типа почвенной структуры** (по С.А. Захарову):

1. **Кубовидная** (равномерное развитие структуры по трем взаимно перпендикулярным осям). Если грани и ребра структурных отдельностей выражены плохо, то в данном типе структуре выделяют роды глыбистой, комковатой и пылеватой структур. Если грани и ребра агрегатов хорошо выражены, то выделяют роды ореховатой и зернистой структур почвы.

2. **Призмовидная** (развитие структуры происходит главным образом по вертикальной оси). В этом типе выделяют род столбовидной структуры, если грани и ребра агрегатов плохо выражены; а также роды столбчатой и призматической структур, если грани и ребра агрегатов выражены хорошо.

3. **Плитовидная** (развитие структуры по горизонтальным осям). В этом типе выделяют роды плитчатой и чешуйчатой структур.

По размерам агрегатов каждый род почвенной структуры подразделяется на виды.

Основные виды почвенных агрегатов представлены в табл. 2.

Табл. 2. Виды структурных отдельностей почв (по С.А. Захарову) [2]

I. Кубовидная структура	Размер ребра куба
1. Крупнокомковатая	5-3 см
2. Среднекомковатая	3-1 см
3. Мелкокомковатая	1-0,5 см
4. Пылеватая	< 0,5 мм
5. Крупноореховатая	> 10 мм
6. Ореховатая	10-7 мм
7. Мелкоореховатая	7-5 мм
8. Крупнозернистая	5-3 мм
9. Зернистая	3-1 мм
10. Порошистая	1-0,5 мм
II. Призмовидная структура	Диаметр
11. Столбчатая	5-3 см
12. Столбовидная	5-3 см
13. Крупнопризматическая	> 5 см
14. Призматическая	5-3 см
15. Мелкопризматическая	3-1 см
16. Тонкопризматическая	< 1 см
III. Плитовидная структура	Толщина
17. Сланцевая	> 5 см
18. Пластинчатая	3-1 мм
19. Листовая	< 1мм
20. Грубочешуйчатая	3-1 мм
21. Мелкочешуйчатая	< 1мм

Если структура почвы неоднородна в пределах одного генетического горизонта, то для ее обозначения используют двойные названия (комковато-зернистая, ореховато-призматическая и т.п.), последним словом указывая преобладающий вид структуры. При изменении характера распределения структурных элементов внутри горизонта в почвенном дневнике обязательно отмечается это различие.

На формирование почвенной структуры значительное влияние оказывает *жизнедеятельность почвенной биоты*. Особо стоит отметить роль дождевых червей. Их экскременты – копролиты – формируют довольно прочные структурные отдельности округлой формы, большое количество которых свидетельствует о высокой биогенности почвы.

Сложение почвы – внешнее выражение пористости и плотности почвы. Характер плотности почвы может быть определен в поле по сопротивлению, которое оказывает почва при вдавливании в нее ножа.

Выделяют **сложение почвы**:

рыхлое – нож входит легко;

уплотненное – нож входит с некоторым усилием;

плотное – нож входит с трудом.

Характер пористости почвы определяют по величине пор внутри агрегатов и ширине трещин между структурными отдельностями. Обычно встречается сложение следующих видов:

мелкопористое – диаметр пор менее 1 мм;

пористое – с более крупными порами;

тонкотрещиноватое – с шириной трещин менее 3 мм;

трещиноватое – с шириной трещин более 3 мм.

3.3. КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ, ЗЕМЛЕРОИ, НОВООБРАЗОВАНИЯ И ВКЛЮЧЕНИЯ В ПОЧВЕ

Корневые системы растений. При описании почвенных горизонтов необходимо отмечать распределение (количество) корней травянистых растений и деревьев, кустарников (рис.12), т.к. они играют большую роль в гумусообразовании, формировании структуры и сложения почвы. Для определения обилия корней пользуются такими градациями:

- корни отсутствуют;
- корни редкие (2-5 шт. на 1 дм²);
- корни частые (5-50 шт. на 1 дм²);
- корни обильные (более 50 шт. на 1 дм²).

Корневые системы травянистых растений в верхней части горизонта А могут формировать дернину (рис.12) – слой с высокой концентрацией корней. Этот слой выделяется как **горизонт Ad (или Av)**, фиксируется его мощность.



Рис.12. Корневая система растений и дернина

Животные-землерои (грызуны, насекомоядные, насекомые), перемешивая почвенную массу, принимают активное участие в формировании профиля почвы (рис.13). Выделяют разные типы ходов землероев: червороины,

кротовины (ходы крота и слепыша), сусликовины, сурчины. Если горизонт сильно перерыт землярями, его обозначают *индексом z (Alz)*.

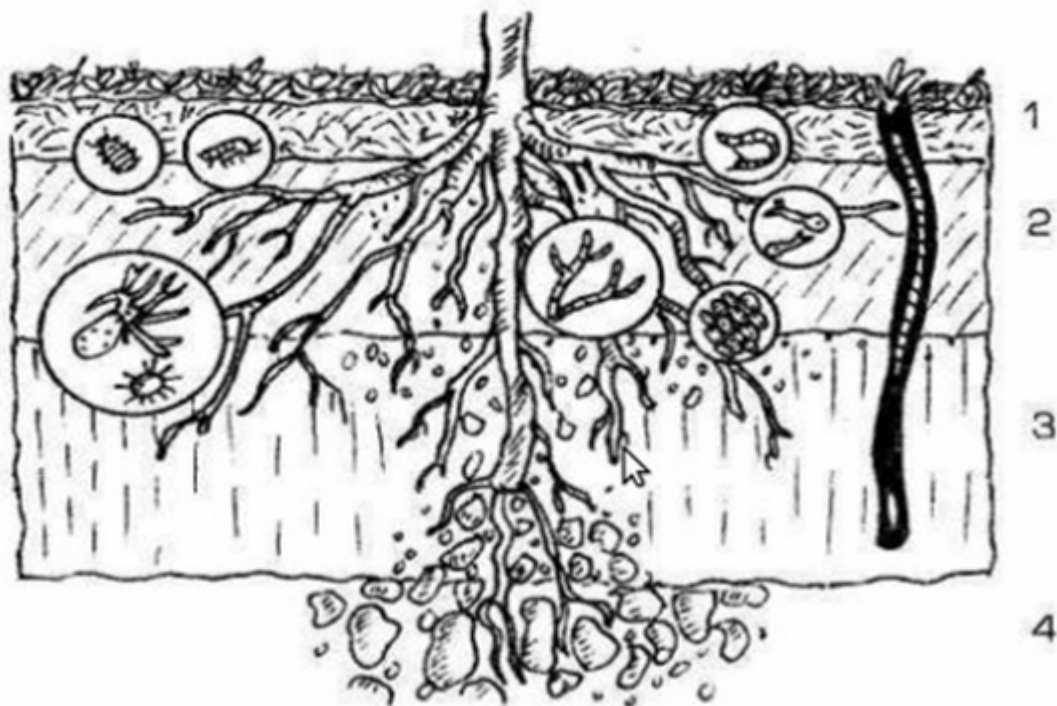


Рис. 13. Животные - землерои в почве: 1 – увлажняемый слой; 2 - гумусный слой; 3 – минеральный слой с ограниченной биологической активностью; 4 – подпочва с минеральными составными частями

Новообразования – морфологически оформленные химические соединения, четко обособленные от вмещающей почвенной массы, являющиеся следствием почвообразовательного процесс (рис.14). Наличие новообразований – существенный диагностический признак почв, имеющий классификационное значение.

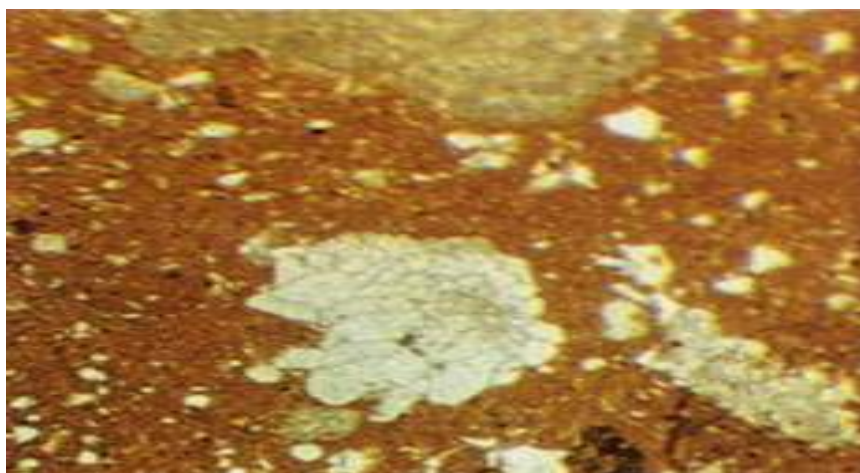


Рис.14. Новообразования кальцита в черноземе

Морфология почвенных новообразований весьма разнообразна. Это могут быть пленки, корочки, кристаллы и их сростки, друзы, конкреции разной формы, прослойки и целые плиты.

Наиболее распространены следующие типы новообразований:

карбонатные новообразования – белые выцветы, налеты, напоминающие плесень или грибницу (псевдомицелий), округлые пятна и стяжения (белоглазка), округлые твердые образования (журавчики, дутики, погремки), желваки размером в 10-20 см. Все они «вскипают» от 10%-ного раствора соляной кислоты. Их присутствие в генетическом горизонте обозначается **индексом 32А (Вса, Всса)**. Встречаются как в черноземах, так и в лесных почвах (рис.7).

Выделения кремнезема – очень характерны для элювиального процесса. Это белые или белесые пятна и языки на стенке разреза, налет (присыпка) на гранях структурных отдельностей. Не реагируют с соляной кислотой.

Железистые новообразования (часто вместе с марганцевыми) – налеты, пленки, корочки, конкреции округлой (ортштейны) или трубчатой (ро-ренштейны) формы, ожелезненные прослои (ортзанды). Цвет их охристый, желтый, бурый, темно-бурый, коричневый.

Марганцевые новообразования – черные «пятна», «точки», дробовидные конкреции.

Железистые, желозомарганцевые и марганцевые новообразования характерны для лесных почв.

Гипсовые новообразования – светлые кристаллические друзы и конкреции, не «вскипающие» от 10%-ной HCl. Встречаются они в профиле степных черноземов. Их наличие в почвенном горизонте обозначается индексом **с_с (Ccs)**.

При описании почвенного горизонта отмечают вид новообразований, их форму, цвет, относительное количество.

Включения – инородные элементы почвенной массы, не связанные с процессом почвообразования. Это различные предметы природного (кости, раковины моллюсков, древесина, обломки горных пород, не связанные с материнской породой) происхождения и остатки материальной культуры человека (строительный и бытовой мусор, археологические остатки и др.).

Включения различного характера помогают судить о происхождении почвообразующей породы, нарушениях почвы, ее возрасте.

Вскипание от соляной кислоты. При описании почвенных горизонтов проверяют наличие в них карбонатов кальция, воздействуя (из пипетки или из специальной бутылочки с соской) на стенку разреза 10%-ным раствором соляной кислоты. Определяют глубину начала вскипания (отражает степень выщелачивания почвенного профиля от карбонатов), его характер.

По характеру выделения углекислого газа вскипание может быть:

слабым – выделяются отдельные пузырьки углекислого газа, слышится слабое потрескивание;

умеренным – реакция идет спокойно, с большим количеством пузырьков углекислого газа;

бурным – вскипание происходит быстро, с характерным треском, слышатся «микровзрывы».

Кроме того, вскипание может быть равномерным (сплошное вскипание почвенной массы) или фрагментарным (вскипают отдельные участки).

Завершая описание генетического горизонта, отмечают характер его перехода в другой почвенный горизонт и форму границы перехода. Характер перехода одного почвенного горизонта в другой определяется по протяженности смены одного горизонта другим в почвенном профиле.

Выделяют следующие градации переходов:

резкий переход – смена одного горизонта другим происходит на протяжении 1 см;

ясный переход – смена горизонтов происходит на протяжении 1-3 см;

заметный переход – граница прослеживается в пределах 3-5 см;

постепенный переход – очень постепенная смена горизонтов на протяжении более 5 см.

Форма границ между почвенными горизонтами выделяется шести типов: **ровная**;

волнистая – отношение амплитуды к длине волны менее 0,5;

карманная – отношение глубины к ширине затеков (карманов) от 0,5 до 2;

языковатая – отношение глубины языков к их ширине от 2 до 5;

затечная – отношение глубины затеков к их ширине не более 5;

размытая – граница между горизонтами столь извилиста, что вся лежит в пределах какого-то слоя, выделяемого как переходный горизонт.

3.4. ТЕХНИКА ОТБОРА ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ

Образцы для анализа физико-химических свойств почвы отбирают из передней стенки разреза, зачистив ее ножом. Параллельно отбирают режущими кольцами образцы для лабораторного определения плотности сложения почвы.

Техника отбора образцов из разреза следующая [8]. Из пахотного горизонта отбирается один образец на всю его мощность. Из остальных горизонтов их отбирают по слоям не более 10 см, при этом, если мощность их значительна, то отбирают несколько.

Образцы вырезают ножом из типичной части каждого горизонта в виде прямоугольных кусков с длиной ребра около 8 см. Начинают отбирать образцы с самого нижнего горизонта, затем из вышележащего и т.д. до поверхности. При этом будет исключено осыпание и случайное смешение почвы разных горизонтов и слоев. Масса отбираемых для анализа образцов составляет от 0,5 до 1,0 кг. Взятые образцы по одному помещают в матерчатые, целлофановые мешочки или бумажные пакеты (из плотной упаковочной бумаги), куда вкладывают этикетки. На этикетках или на бумажных пакетах указывают: область, район, хозяйство, урочище, № разреза, назва-

ние почвы, горизонт, глубину взятия образца в см, дату и подпись. Заполняются они простым мягким карандашом, что исключает размазывание текста.

После отбора образцов **разрез аккуратно засыпают**: сначала материалом нижних горизонтов, а затем – верхнего плодородного слоя. Сверху укладывают снятый дерн.

По материалу главы 3 можно провести полевое занятие.

Тема занятия: Морфологические признаки почвенного профиля. Методика полевого исследования почвы.

Цель занятия: получить общее представление о почвенном генетическом профиле, познакомиться со схемой его описания, изучить морфологические признаки почвы, освоить технику закладки почвенного горизонта и отбора образцов для анализа физико-химических свойств почвы.

Оборудование: штыковые и совковые лопаты, почвенные ножи, измерительная лента, бланки для описания почвенных профилей (полевой журнал), мешочки или пакеты для отбора образцов, 10%-ный раствор соляной кислоты.

Задание:

1. Выкопать полные разрезы лесной почвы.
2. Рассмотреть строение почвенных профилей и произвести их описание.
3. Отобрать образцы для анализа физико-химических свойств почвы.

Контрольные вопросы

1. Каким образом проводят полевое исследование почв?
2. Каким образом должен быть ориентирован почвенный разрез?
3. Какие бывают почвенные разрезы?
4. Какие существуют почвенные горизонты?
5. Какие известны морфологические признаки почвы?
6. Какая бывает окраска почвы?
7. Сколько степеней влажности может иметь почва?
8. Что понимают под гранулометрическим составом почвы?
9. Как можно охарактеризовать гранулометрический состав почвы по «методу шнура»?
10. Какие типы почв выделяют по гранулометрическому составу?
11. Что понимают под структурой почвы?
12. Какие типы почвенных структур выделяют по С.А.Захарову?
13. Что понимают под сложением почвы?
14. Какие типы сложений почвы существуют?
15. Какие градации используют для определения обилия корней?
16. Какие животные и насекомые принимают участие в формировании профиля почвы?
17. Что из себя представляют новообразования в почве?
18. Как проверяют наличие в почве карбонатов кальция при описании почвенных горизонтов?
19. Какая существует градация переходов одного почвенного горизонта в другой?
20. Какие формы границ существуют между почвенными горизонтами?

ГЛАВА 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ИХ ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Физические свойства почвы определяются состоянием (составом, соотношением, взаимодействием и динамикой) четырех фаз вещества почвы: *твердой, жидкой, газообразной и живой (почвенной биоты)* [5].

К физическим свойствам почвы *относятся гранулометрический состав, структура, водные, воздушные, тепловые, общие физические и физико-механические свойства*. Во многом эти свойства почвы являются ее вновь приобретенными, новыми, прогрессивными по сравнению со свойствами горных пород, из которых она образуется. Физические свойства почвы оказывают большое влияние на развитие почвообразовательного процесса, плодородие почвы и условия обитания почвенной биоты.

Исследование физических свойств имеет большое значение для производственной оценки (бонитировки) почвы. Физические свойства почвы необходимо учитывать при определении системы ее обработки, мероприятий по улучшению ее свойств (мелиорации), противоэрозионных мероприятий. Данные лабораторных анализов физических свойств почвы используются при строительстве зданий, инженерных сооружений, в дорожном строительстве.

4.1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

Гранулометрический состав - важнейшая характеристика почвы. От него зависят практически все свойства и, в целом, плодородие. Почти все морфологические свойства почвы определяются ее гранулометрическим составом, поэтому его изучение в поле и лаборатории является самым необходимым этапом исследования почвы как природного тела. Кроме того, гранулометрический состав почв определяет их физические, водно-физические и физико-механические свойства: водопроницаемость, влагоемкость, пористость, усадка и набухание, воздушный и тепловой режим и др. Знание гранулометрического состава важно при определении производственной ценности почвы, способов обработки, сроков полевых работ, нормы удобрений, размещения сельскохозяйственных культур и т.д.

Гранулометрический состав представляет собой соотношение в почве твердых частиц различного размера. В почве механические элементы агрегированы в структурные отдельности, поэтому гранулометрический состав изучают после разрушения почвенных агрегатов физическими (растирание, кипячение) или химическими методами.

Механические элементы почвы классифицируют по размеру. Так, частицы размером менее 1 мм называют *мелкоземом*. Мелкозем образует основную массу почвы. Частицы крупнее 1 мм носят название *скелета* почвы. Его участие в почвообразовании невелико, наоборот, скелетные почвы обладают рядом неблагоприятных агрофизических свойств. Кроме того, принято выделять группу частиц мельче 0,01 мм – *физическую глину* и группу частиц

крупнее 0,01 мм – **физический песок**. Эти подразделения гранулометрического состава довольно условны, почвенно-генетическое и классификационное значение имеет более дифференцированное выделение групп частиц – **фракций гранулометрического состава** (табл. 3).

Табл. 3. Классификация механических элементов почв (по Н. А. Качинскому) [1]

Название фракций гранулометрического состава	Размеры механических элементов, в мм	Группы частиц	
Камни	>3	ске лет	Физический песок
Гравий	3-1		
Песок крупный	1-0,5	мелкозем	
Песок средний	0,5-0,25		
Песок мелкий	0,25-0,05		
Пыль крупная	0,05-0,01		
Пыль средняя	0,01-0,005		
Пыль мелкая	0,005-0,001		
Ил грубый	0,001-0,0005		
Ил тонкий	0,0005-0,0001		
Коллоиды	<0,0001		Физическая глина

Фракции частиц различной величины имеют **различный минеральный состав**. Частицы крупнее 3 мм состоят почти исключительно из обломков горных пород и отдельных порообразующих минералов. Частицы величиной *от 3 до 0,25 мм* – исключительно **порообразующие минералы**, причем с уменьшением размеров частиц возрастает процентное содержание кварца. Частицы *от 0,25 до 0,01 мм* состоят почти полностью **из кварца**. Частицы *мельче 0,001 мм* представляют преимущественно **смесь глинистых минералов** с незначительным количеством гидроксидов железа и некоторых других минеральных образований.

Физические свойства гранулометрических фракций также существенно различаются между собой. С уменьшением величины частиц возрастают гигроскопичность, высота капиллярного подъема воды, емкость поглощения. Наибольшее значение для формирования важных агрофизических и агрохимических свойств почв имеет илистая фракция (<0,001 мм). Такие свойства, как пластичность, липкость и набухание, в частицах крупнее 0,005 мм практически отсутствуют.

По преобладанию частиц той или иной фракции почвы относят к щебнистым, песчаным, суглинистым, глинистым разновидностям. Существуют различные классификации почв по гранулометрическому составу, наибольшее распространение в отечественном почвоведении имеет классификация Н.А. Качинского (табл. 4). По этой классификации все почвы подразделяются на категории в зависимости от содержания в них физической глины. Кроме того, в этой классификации учтены особенности гранулометрического состава почв с различным типом почвообразования.

Классификация грунтов по механическому составу В.В. Охотина (табл. 5) используется в геологических исследованиях (для рыхлых горных пород), а

также при определении гранулометрического состава почв по методу Рутковского.

Табл. 4. Классификация почв по механическому составу
(по Н. А. Качинскому) [2]

Название почв по механическому составу	Содержание физической глины (частицы с $d < 0,01$ мм) в %		
	В почвах подзолистого типа почвообразования	В почвах степного типа почвообразования, а также в красноземах и желтоземах	В солонцах и сильносолонцеватых почвах
Песок рыхлый	0-5	0-5	0-5
Песок связной	5-10	5-10	5-10
Супесчаные	10-20	10-20	10-15
Легкосуглинистые	20-30	20-30	15-20
Среднесуглинистые	30-40	30-45	20-30
Тяжелосуглинистые	40-50	45-60	30-40
Легкоглинистые	50-65	60-75	40-50
Среднеглинистые	65-80	75-85	50-65
Тяжелоглинистые	>80	>85	>65

Название разновидности почвы по гранулометрическому составу дается после определения его для пахотного слоя почвы (0-25 см), а также для нижнего горизонта, если его гранулометрический состав резко отличается от верхнего горизонта. Например, чернозем типичный среднесуглинистый, или дерново-луговая тяжелосуглинистая почва на песчаных отложениях. Подразделение почв по гранулометрическому составу может быть и более дробным, если хотят отразить соотношение различных фракций: песка ($> 0,05$ мм), пыли (0,05-0,001 мм), ила ($< 0,01$ мм). Например, чернозем легкоглинистый пылевато-иловатый, если в составе глинистых частиц преобладает фракция ила, а на втором месте – пыль.

Табл. 5. Классификация грунтов по механическому составу (по В. В. Охотину) [2]

Наименование	% частиц менее 0,005 мм (глина)	% частиц 0,005-0,25 мм (пыль)	% частиц 0,25-2 мм (песок)
Тяжелая глина	>60	-	-
Глина	60-30	-	-
Пылеватая глина	30-20	Больше, чем каждой из других фракций	-
Тяжелый суглинок	30-20	-	Больше, чем пылеватых
Пылеватый тяжелый суглинок	30-20	Больше, чем пылеватых	-
Средний суглинок	20-15	-	Больше, чем пылеватых
Пылеватый средний суглинок	20-15	Больше, чем песчаных	-
Легкий суглинок	15-10	-	Больше, чем пылеватых
Пылеватый легкий суг-	15-10	Больше, чем песчаных	-

линок			
Тяжелая супесь	10-6		Больше, чем пылеватых
Пылеватая тяжелая супесь	10-6	Больше, чем песчаных	-
Легкая супесь	6-3	-	Больше, чем пылеватых
Песок	<3		

Определение гранулометрического состава может быть предварительно произведено полевым методом, но более точное определение производится **в лабораторных условиях** с использованием различных методов выделения фракций гранулометрического состава. Песчаные и более крупные частицы могут быть выделены с помощью набора сит с различной величиной отверстий (ситовой метод). Для разделения пылеватых и илистых (глинистых) частиц применяются различные варианты седиментационного анализа. К ним относятся так называемые «пипеточные» методы, в том числе и наиболее широко используемый метод Качинского. Общим принципом седиментационного анализа является использование закона Стокса, согласно которому скорость оседания (седиментации) частиц в воде пропорциональна их размеру и массе:

$$V = K \cdot R^2, \quad (3)$$

где V – скорость оседания частицы;

R – радиус частицы;

K – константа, зависящая от природы жидкости и частицы.

$$K = \frac{2}{9} \cdot g \cdot \frac{d - d_1}{\eta}, \quad (4)$$

где g – ускорение силы тяжести,

d – плотность частицы,

d_1 – плотность жидкой среды,

η – коэффициент вязкости жидкости.

Методы седиментационного анализа отличаются точностью определения, но и, вместе с тем, сложностью техники выполнения, длительностью и использованием специального оборудования. Ниже приводится описание седиментационного анализа (вариант Качинского), рекомендуемого для выполнения курсовых и дипломных работ. Кроме того, приводится описание более простого метода Рутковского, который может быть рекомендован для лабораторных занятий.

4.1.1. Определение гранулометрического состава почв методом пипетки (вариант Н.А. Качинского с подготовкой почвы к анализу пиррофосфатным методом по С.И. Долгову и А.И. Личмановой)

Метод основывается на зависимости, существующей между скоростью падения частицы (в столбе жидкости) и ее диаметром [5]. После взмучивания суспензии почвы в мерном цилиндре через определенные промежутки времени с разной глубины отбирают пипеткой пробы почвенной суспензии и после их высушивания определяют содержание механических элементов.

Порядок работы

1. Из воздушно-сухой почвы, пропущенной через сито с отверстиями в 1 мм, отвешивают 10 г (с точностью до 0,01 г) и помещают в фарфоровую чашку диаметром 10-12 см. Наливают в стаканчик 4%-ный раствор пиррофосфата натрия: для некарбонатных, незасоленных, незагипсованных почв легкого гранулометрического состава берут 5 см³ раствора на 10 г почвы, для тяжелосуглинистых, глинистых и карбонатных почв – 10 см³, для засоленных и загипсованных 20 см³. Если используются цилиндры объемом 500 см³, то навеску почвы и количество пиррофосфата натрия уменьшают вдвое.

2. Почву в фарфоровой чашке смачивают раствором пиррофосфата до тестообразного состояния и осторожно растирают пестиком с резиновым наконечником в течение 10 минут. Выливают в чашку с почвой остаток раствора пиррофосфата, добавляют дистиллированную воду, размешивают и переносят в литровый цилиндр через сито с отверстиями 0,25 мм, вставленное в стеклянную воронку. Размешивание с добавлением новых порций воды продолжают до тех пор, пока вся почва не окажется перенесенной в мерный цилиндр. Объем суспензии в цилиндре доводят дистиллированной водой до 1 дм³.

3. Песок на сите промывают дистиллированной водой в цилиндр до тех пор, пока из-под сита не пойдет прозрачная вода. Перевернув сито, песок смывают водой в фарфоровую чашку, из которой путем декантации без потерь песок переносят в сушильный стаканчик. Избыток воды из стаканчика сливают, остаток выпаривают на электроплитке (не доводя до кипения), затем – высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы. Стаканчик охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Рассчитывают содержание крупного и среднего песка.

4. Суспензию в цилиндре взбалтывают мешалкой (быстрые движения вверх и вниз) в течение 1 мин и записывают время конца помешивания. Если мерный цилиндр закрывается пробкой, то взбалтывание суспензии производят десятикратным переворачиванием цилиндра вверх дном и обратно. Далее приступают к отбору проб суспензии пипеткой объемом 25 см³. Всего отбирают 4 пробы. Глубину отбора и интервалы времени определяют, исходя из данных табл. 6.

Табл. 6. Сроки и глубины взятия проб пипеткой

Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	№ пробы	Диаметр частиц, мм менее	Глубина погружения пипетки, см	Время отстаивания при температурах, °С		
				15	20	25
2,4	1	0,05	25	149 с	132 с	117 с
	2	0,01	10	24 мин 51 с	21 мин 59 с	19 мин 33 с
	3	0,005	10	1 ч 39 мин	1 ч 28 мин	1 ч 18 мин
	4	0,001	7	29 ч 00 мин	25 ч 28 мин	22 ч 49 мин
2,5	1	0,05	25	139 с	123 с	109 с
	2	0,01	10	23 мин 12 с	20 мин 31 с	18 мин 15 с
	3	0,005	10	1 ч 33 мин	1 ч 22 мин	1 ч 13 мин
	4	0,001	7	27 ч 04 мин	23 ч 56 мин	21 ч 17 мин
2,6	1	0,05	25	130 с	115 с	103 с
	2	0,01	10	21 мин 45 с	19 мин 44 с	17 мин 06 с
	3	0,005	10	1 ч 27 мин	1 ч 17 мин	1 ч 08 мин
	4	0,001	7	25 ч 22 мин	22 ч 26 мин	19 ч 57 мин
2,7	1	0,05	25	123 с	109 с	97 с
	2	0,01	10	20 мин 28 с	18 мин 06 с	16 мин 06 с
	3	0,005	10	1 ч 21 мин	1 ч 12 мин	1 ч 05 мин
	4	0,001	7	23 ч 53 мин	21 ч 07 мин	18 ч 48 мин

Как видно из табл. 6, при определении сроков отбора пробы необходимо знать плотность твердой фазы почвы. Для этого ее определяют заранее или пользуются ориентировочными оценками, приведенными в табл. 7.

Табл. 7. Плотность твердой фазы различных типов почв

Глубина, см	Типы почв				
	Легкие всех типов	Подзолистые и серые лесные	Черноземы обыкновенные	Черноземы южные	Каштановые
0-20	2,60-2,65	2,60	2,40	2,55	2,60
20-40	2,65	2,65	2,50	2,60	2,65
40-100	2,65	2,70	2,65	2,65	2,70
100	2,65	2,70	2,70	2,70	2,75

5. За минуту до истечения срока отстаивания цилиндр ставят под пипетку и осторожно опускают ее на заданную глубину. Засасывание проб в пипетку проводят в течение 20-30 с. Для первой пробы с диаметром частиц менее 0,05 мм время, затраченное на ее взятие, может отразиться на точности анализа, поэтому пробу следует начинать брать на 10 с раньше и заканчивать на 10 с позже времени, указанного в табл. 6.

6. Взятую пробу выпаривают на электрической плитке, высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

7. Расчет массы проб, а также их процентного содержания ведут, занося данные в табл. 8.

Табл. 8. Форма записи результатов взвешивания и расчета содержания частиц

Показатели	Крупный и средний песок	Проба			
		1	2	3	4
	1-0,25	0,05	0,01	0,005	0,001
Номер стаканчика					
Масса стаканчика, г					
Масса стаканчика с пробкой, г					
Масса пробы, г					
Объем взятой пробы, мл					
Содержание проб, %					

Содержание крупного и среднего песка (1-0,25 мм) вычисляют по формуле:

$$n_{Гк, ср} = \frac{m_1}{m} \cdot K_2 \cdot 100, \quad (5)$$

где $n_{Гк, ср}$ – количество крупного и среднего песка, %;

m_1 – масса частиц, оставшихся на сите, г;

m – навеска почвы, взятая для анализа, г;

K_2 – коэффициент пересчета на абсолютно сухую почву.

Содержание частиц первой пробы вычисляют по формуле:

$$n_1 = \frac{m_1 \cdot V \cdot 100 \cdot K_2}{V_1 \cdot m}, \quad (6)$$

где n_1 – содержание частиц первой пробы, %;

m_1 – масса первой пробы, г;

V – объем суспензии в цилиндре, см³;

m – навеска почвы, взятая для анализа, г;

K_2 – коэффициент пересчета на сухую почву.

По этой же формуле рассчитывают содержание частиц второй, третьей и четвертой проб (n_2, n_3, n_4).

Содержание крупной пыли (0,05-0,01 мм) находят путем вычитания $n_1 - n_2$;

средней пыли (0,01-0,005 мм) – $n_2 - n_3$;

мелкой пыли (0,005-0,001 мм) – $n_3 - n_4$;

содержание ила равно содержанию частиц четвертой пробы (n_4).

Содержание мелкого песка (0,25-0,05 мм) находят по разности:

(7)

В связи с тем, что масса растворенного пирофосфата натрия участвует во всех взвешиваниях суспензии, она соответственно увеличивает разницу между массами суспензии и воды. Эта масса пирофосфата натрия не сказывается на расчете содержания промежуточных фракций (0,05-0,01 и 0,01-0,005 мм), но ее нужно вычесть из массы глинистых частиц, определяемых в последней пробе суспензии. Поэтому при подсчетах из массы фракции <0,001 мм вычитают поправку, соответствующую содержанию в суспензии пептизатора (при внесении 20 см³ 4%-ного раствора пирофосфата натрия и объеме пипетки 25 мл она равна 0,02 г).

8. При анализе засоленных почв может произойти полная или частичная коагуляция суспензии в цилиндре. В таких случаях пробу не берут, а цилиндр с суспензией оставляют на 1-2 суток до полного осветления жидкости. После осветления жидкость сливают и определяют в ней содержание солей. Из сухого остатка вычитают поправку, соответствующую содержанию пептизатора (0,02 г в 25 см³). Массу плотного остатка вычитают из массы взятой навески почвы, и в дальнейшем все расчеты содержания фракций ведут в % к массе бессолевого навески. К осадку в цилиндре вновь приливают 20 см³ 4%-ного раствора пирофосфата натрия, тщательно перемешивают, доводят объем до 1 л. и анализируют суспензию методом пипетки.

9. По содержанию физической глины (<0,01 мм, n₂) и данным табл. 4 **определяют основное название почвы по гранулометрическому составу**. Дополнительное название дают по преобладающей (одной или двум) фракциям: песчаной (1-0,05 мм), крупнопылевой (0,05-0,01 мм), пылевой (0,01-0,001 мм) и иловатой (мельче 0,001 мм). При двойном дополнительном названии название преобладающей фракции ставится на второе место. Если необходимо определить лишь основное название почвы по гранулометрическому составу, то достаточно взять первую и вторую пробы. При этом время на проведение анализа сокращается до 4 ч.

Оборудование: сита с диаметром отверстий 1 и 0,25 мм, пестик с резиновым наконечником, химические стаканы на 150 см³; мерные цилиндры на 1 дм³; установка для гранулометрического анализа грунтов (рис.15); штатив с держателем, пипетка на 25 см³, кран, резиновый шланг, резиновая груша; мешалка; промывалка с дистиллированной водой; чашки фарфоровые; сушильные стаканчики; сушильный шкаф; эксикатор; весы технические; весы аналитические.

Реактивы: 4%-ный раствор пирофосфата натрия (Na₂P₂O₇).

4.1.2. Определение гранулометрического состава почвы по методу Рутковского

Метод основывается на способности глинистых частиц почв и грунтов набухать в воде [5]. Применение этого метода позволяет выделить глинистую, пылеватую и песчаную фракции без подсушивания исходного материала и без последующего взвешивания фракций. Точность метода оценивается $\pm 5\%$. Для классификации почв по результатам гранулометрического анализа используют классификацию В.В. Охотина (табл. 5).



Рис.15. Установка для определения гранулометрического состава грунтов

Порядок работы

Для анализа берут средний образец почвы методом квартования. Тщательно перемешанный образец высыпают на лист бумаги и распределяют тонким слоем в виде более или менее ровного круга. Затем линейкой круг делят на четыре равные части (квадранты). Первый и третий квадранты удаляют, а оставшийся материал вновь таким же образом квартуют. После двух- трехкратного квартования из средней пробы на технических весах берут навеску массой 30 г.

Определение содержания фракции крупнее 0,5 мм

1. 30-граммовую навеску исследуемой почвы в воздушно-сухом состоянии осторожно порциями растирают в фарфоровой ступке пестиком с резино-

вым наконечником (или большой резиновой пробкой) и просеивают через сито 0,5 мм до полного освобождения песчаных зерен. Фракцию частиц крупнее 0,5 мм взвешивают и находят ее процентное содержание.

Определение содержания песчаной фракции (частицы крупнее 0,05 мм)

2. Просеянную массу высыпают в мерный цилиндр емкостью 100 см³.
3. Для уплотнения массы дном цилиндра осторожно постукивают о мягкую подкладку или о ладонь. Объем уплотненной массы должен составить 10 см³.

3. В цилиндр доливают 50 см³ воды и деревянной палочкой почвенный материал растирают до тех пор, пока на стенках цилиндра не перестанут образовываться мазки глины.

4. Затем воду доливают до 100 см³, содержимое размешивают палочкой и отстаивают 90 с, после чего 70-75 см³ суспензии сливают. В цилиндр снова доливают воды до 100 см³, и операция повторяется до тех пор, пока жидкость после отстаивания не станет почти прозрачной.

5. Суспензию сливают до отметки «15 см³», содержимое взмучивают, доливают водой до 30 см³ и смесь сливают через 30 с. Отмучивание производят до полного осветления жидкости, после чего воду доливают до 100 см³, содержимое отстаивают и определяют объем песка ($V_{0,05-0,5}$), осевшего на дно цилиндра. Если нижняя часть цилиндра лишена делений, то объем измеряют при помощи линейки, предварительно определив ширину одного деления цилиндра в мм.

6. Находят процентное содержание X фракции 0,05-0,5 мм по пропорции:

$$10 \text{ см}^3 \text{ соответствует } (100 - \% \text{ частиц } > 0,5 \text{ мм}) \%, \\ V_{0,05-0,5} \text{ соответствует } x \%.$$

Определение содержания глинистой фракции (частицы менее 0,005 мм)

7. Оставшуюся часть навески, пропущенной через сито 0,5 мм, переносят в цилиндр. Объем почвенной массы после уплотнения должен быть равным 5 см³. Для удобства в нижней неградуированной части цилиндра делают отметку, соответствующую 5 см³, или почву отмеряют в цилиндре на 25 см³, а затем пересыпают в цилиндр на 100 см³.

8. В цилиндр доливают воды до 50 см³ и анализируемый материал растирают палочкой (как указано в п. 3).

9. К полученной суспензии добавляют 3 см³ 5,5%-ного раствора хлорида кальция (в качестве коагулятора). Суспензию размешивают и добавляют воды до 100 см³, после чего цилиндр ставят на отстаивание (24 ч).

10. После отстаивания измеряют объем набухшей массы и определяют прирост объема на 1 см³ первоначального объема по формуле:

$$K_v = \frac{V_1 - V_0}{V_0}, \quad (8)$$

где K_v – прирост объема на 1 см^3 ,
 V_0 – начальный объем анализируемого материала,
 V_1 – объем набухшей массы после 24-часового отстаивания.

11. Содержание глинистых частиц в анализируемом грунте определяют по формуле:

$$x = 22,7 \cdot K_v, \quad (9)$$

где x – содержание глинистых частиц, %;
 K_v – прирост объема на 1 см^3 первоначально взятого объема грунта.

Вычисление содержания пылеватой фракции (0,05-0,005 мм)

Содержание пылеватой фракции определяют как разность от вычитания из 100 % суммы процентного содержания глинистых ($< 0,005 \text{ мм}$), песчаных частиц ($0,05\text{-}0,5 \text{ мм}$) и частиц крупнее $0,5 \text{ мм}$.

12. По классификации грунтов по механическому составу В.В. Охотина (табл. 5) определяют наименование почвы по гранулометрическому составу.

Оборудование: фарфоровая ступка, пестик с резиновым наконечником (или большая резиновая пробка), сито с диаметром отверстий $0,5 \text{ мм}$, мерные цилиндры на $100, 25, 10 \text{ см}^3$, деревянная палочка, химические стаканы емкостью 150 и 500 см^3 , секундомер, линейка, технические весы.

Реактивы: $5,5\%$ -ный раствор хлорида кальция. Приготовление: $5,5 \text{ г}$ CaCl_2 растворить в 100 см^3 дистиллированной воды.

Задание:

1. Определить гранулометрический состав выданного преподавателем образца почвы из какого-либо генетического горизонта почвы по методу Рутковского.

2. Получив данные от других студентов, выполняющих анализ образцов из других горизонтов данной почвы, построить график распределения глинистых частиц ($< 0,005 \text{ мм}$) по профилю почвы, откладывая на горизонтальной оси процентное содержание глинистых частиц, а на вертикальной оси – глубину отбора образцов.

4.2. АГРЕГАТНЫЙ (СТРУКТУРНЫЙ) АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОЧНОСТИ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Механические элементы твердой фазы почвы, формирующие ее гранулометрический состав, под влиянием различных факторов объединяются в

структурные отдельности (агрегаты) различной формы и размера. Структура почвы представляет собой более высокий уровень организации твердого вещества почвы и играет важную роль в формировании агрономических свойств и режимов почвы: водно-воздушный режим, сложение, условия обработки и в целом плодородие почвы. Структурные почвы, по сравнению с малоструктурными и бесструктурными, обладают хорошей водо- и воздухопроницаемостью, благоприятным температурным режимом, высокой противозерозионной устойчивостью, легче обрабатываются, создают благоприятные условия прорастания семян и распространения корневых систем растений. Важными свойствами почвенных агрегатов являются их механическая прочность и водопрочность. Наиболее агрономически ценны макроагрегаты размером 0,25 – 10 мм. Структурной считается почва, содержащая более 55 % водопрочных агрегатов размером 0,25 – 10 мм.

В зависимости от размера агрегатов структуру подразделяют на следующие группы: *глыбистая* – больше 10 мм; *макроструктура* – 10-0,25 мм; *грубая микроструктура* – 0,25-0,1 мм; *тонкая микроструктура* – меньше 0,01 мм.

Различным генетическим горизонтам почв присущи определенные формы структуры. Для гумусо-аккумулятивных горизонтов характерна *комковатая и зернистая структуры*, для элювиальных – *пластинчато-листоватая*; для иллювиальных – *ореховатая*. Форма структуры является важным морфологическим признаком почвы, однако в агрономическом отношении важна не столько форма структурных отдельностей, сколько их размер и прочность.

Для оценки структурности почв проводят их структурный (агрегатный) анализ. Целью агрегатного анализа является установление относительного содержания в почве агрегатов различного размера. Разделение агрегатов производится при помощи стандартного набора сит с диаметром ячеек 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5 и 0,25 мм (рис. 6). При проведении агрегатного анализа почву нельзя растирать и даже сильно встряхивать во избежание разрушения почвенных агрегатов.

Цель занятия: изучить особенности структурной организации твердой фазы почвы, произвести анализ структуры почв и определить ее агрономическую ценность.

Порядок работы

1. Почвенный образец с ненарушенной структурой, отобранный из определенного генетического горизонта осторожно рассыпают на листе бумаги.
2. Методом двукратного квартования отбирают средний образец почвы.
3. Навеску 200 г надо в 2-3 приема последовательно просеивать через каждое сито стандартного набора. При этом сито ставят наклонно и осторожно постукивают по краю.
4. Оставшийся на сите материал взвешивают, переносят в фарфоровую чашку или стакан и накрывают бумагой, на которой написаны номер образца и фракция.

5. Почвенную массу, пропущенную через первое сито на лист бумаги, переносят на второе сито и просеивают, как указано в пункте 3. Операцию повторяют с каждым ситом, вплоть до сита с отверстиями диаметром 0,25 мм.

6. Полученные массы фракций надо пересчитать на 100 % от массы взятой навески. В результате расчетов будет получено представление о содержании агрегатов разной величины в почве. Результаты заносят в таблицу 8.

После выделения фракций агрегатов, можно определить их водопрочность по методу Н.Н. Никольского.

7. Из каждой фракции отбирают 10-20 агрегатов и помещают в кристаллизатор или фарфоровую чашку большого диаметра. Агрегаты распределяют по дну чашки на одинаковом расстоянии друг от друга.

8. В чашку наливают водопроводной воды так, чтобы она покрыла агрегаты слоем около 2 см, после чего чашку оставляют в покое на 20 мин.

9. По истечении 20 мин осторожно передвигают каждый агрегат стеклянной палочкой. При этом подсчитывают число сохранившихся и разрушившихся агрегатов.

10. Результаты анализа вычисляются по формуле:

$$A = \frac{a}{b} \cdot 100\% \quad (10)$$

где A – содержание прочных агрегатов в данной фракции (в процентах),

a – количество сохранившихся агрегатов,

b – количество взятых для анализа агрегатов. Результаты заносят в табл. 9.

Табл. 9. Результаты структурного анализа горизонта _____ почвы и анализа водопрочности агрегатов по методу Никольского

Фракция агрегатов, мм	Содержание агрегатов	
	Общее, % от навески	Водопрочные, % массы фракции
>10		
10-7		
7-5		
5-3		
3-2		
2-1		
1-0,5		
0,5-0,25		

Оборудование: стандартный набор сит, технические весы, фарфоровые чашки диаметром 15-20 см или кристаллизаторы (8 шт.)

Задание:

1. Рассмотреть образцы различных типов и разновидностей почвенной структуры, отметить форму, размер структурных отдельностей.

2. Используя таблицу-определитель типов и разновидностей почвенной структуры, а также эталонные образцы, установить тип и разновидность структуры выданного образца из какого-либо горизонта почвы. При этом необходимо учитывать, что чаще всего структура смешанная.

3. Произвести структурный анализ и анализ водопрочности агрегатов по методу Никольского.

4. У других студентов получить данные анализов образцов из других горизонтов анализируемой почвы.

5. Построить гистограммы структурного состояния почвы отдельно для каждого горизонта, в которой по горизонтали отметить фракции агрегатов, а по вертикали отразить их процентное содержание, в том числе – водопрочной части.

6. Сделать вывод об агрономической ценности структуры исследованной почвы.

4.3. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Вода является обязательным компонентом нормально функционирующей почвы. Она играет важнейшую роль жизненной основы для почвенной биоты, а также служит средой и непосредственно участвует во многих собственно почвенных процессах. Содержание воды в почве определяет ее физико-механические свойства, водно-воздушный, тепловой и питательный режимы, передвижение веществ в почве, интенсивность протекания биологических, химических, физико-химических процессов и, в целом, является важнейшим фактором почвенного плодородия.

Источником воды в почве могут быть атмосферные осадки и конденсация атмосферной влаги, воды орошения и грунтовые воды. Но водные свойства и водный режим почвы зависят также от ее собственных свойств: гранулометрического состава, структурного состояния, содержания органического вещества и ряда других показателей.

Вода постоянно присутствует в почве в жидком и парообразном состоянии, сезонно или постоянно (мерзлотные почвы) – в твердом состоянии. Перемещение водяного пара в почве происходит из области высокого в область низкого его парциального давления. Поведение жидкой фазы воды зависит от действия гравитационных, осмотических, капиллярных и сорбционных сил. Существует две категории воды в почве: *свободная и связанная*. Они, в свою очередь, представлены различными формами почвенной воды.

I. **Свободная вода** присутствует в почве в двух формах - *гравитационной и капиллярной* и играет основную роль в питании растений и функционировании почв. Вода этой категории может свободно перемещаться в почвенном профиле и выполняет функцию транспорта веществ.

Гравитационная вода перемещается по профилю почвы под действием гравитационных сил в относительно крупных почвенных порах. Она представлена *просачивающейся водой* атмосферных осадков и орошения и грунтовой водой, скапливающейся над водоупорным слоем.

Капиллярная вода перемещается по тонким порам почвы под действием разности капиллярных давлений, возникающих при смачивании водой стенок пор и формировании менисков – вогнутых поверхностей столбиков воды. Действие сил поверхностного натяжения при смачивании водой твердых частиц вызывает отрицательное давление на поверхности вогнутых менисков, которое компенсируется поднятием воды в капилляре.

В зависимости от характера увлажнения различают **капиллярно-подвешенную воду** (при атмосферном увлажнении) и **капиллярно - подпертую воду** (при увлажнении от грунтовых вод).

II. **Связанная вода** достаточно прочно удерживается почвенными частицами за счет сорбционного или химического взаимодействия и, в основном, недоступна растениям.

Химически связанная вода входит в состав кристаллической решетки почвенных минералов (кристаллогидраты, например, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), прочно удерживается химическими связями и поэтому непосредственного участия в процессах функционирования и образования почв не принимает.

Эта форма воды удаляется из почвы при температурах выше 105°C .

Гигроскопическая вода образуется в результате адсорбции паров воды на поверхности твердых частиц почвы, непосредственно примыкает к ним в виде пленки из 2-3 ориентированных слоев молекул воды. Обладает повышенной плотностью, не растворяет вещества, растворимые в свободной воде, замерзает при более низкой температуре. Эта форма почвенной воды сохраняется в почве, находящейся в воздушно-сухом состоянии. Удаляется из почвы при нагревании ее до 105°C . При остывании почва снова адсорбирует водяные пары из воздуха.

Рыхлосвязанная (пленочная) вода представляет собой внешний слой сорбированной воды со слабой ориентацией молекул. Образуется при соприкосновении твердых частиц почвы с жидкой водой. Эта вода удерживается менее прочно, чем гигроскопическая, и может перемещаться от почвенных частиц с большей пленкой к частицам с тонкой пленкой. Для растений эта форма воды доступна лишь частично.

Основными водными свойствами почвы являются водоудерживающая способность, водопроницаемость и водоподъемная способность.

Водоудерживающая способность – свойство почвы удерживать воду, обусловленное действием сорбционных и капиллярных сил. Наибольшее количество воды, которое способна удерживать почва теми или иными силами, называется **влажемкостью**.

Способность почвы сорбировать парообразную воду называется **гигроскопичностью**. Почва тем гигроскопичнее, чем больше степень ее дисперсности, т.е. чем тяжелее ее гранулометрический состав. Наибольшее количество влаги, которое может сорбировать почва при влажности воздуха, близкой к 100 % характеризует ее максимальную гигроскопичность .

Полная влагемкость – наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех пор водой. В практическом отношении особенно важной характеристикой водоудерживающей способности почвы является **наименьшая** (предельно - полевая) **влажемкость** – наибольш-

шее количество воды, удерживаемое почвой после стекания всей гравитационной воды. Наименьшая влагоемкость зависит от гранулометрического и минералогического состава, содержания гумуса, структурного состояния, пористости и плотности почвы. Наибольшие значения этого показателя характерны для гумусированных почв тяжелого механического состава, обладающих хорошо выраженной макро- и микроструктурой.

Водопроницаемость – способность почвы впитывать и пропускать воду. **Впитывание** представляет собой процесс последовательного заполнения почвенных пор водой. Передвижение воды в почве, находящейся в состоянии полного водонасыщения, под действием силы тяжести и напора называется **фильтрацией**. Наибольшей водопроницаемостью обладают легкие по гранулометрическому составу и хорошо оструктуренные суглинистые и глинистые почвы.

Водоподъемная способность – свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней влаги за счет капиллярных сил. Это свойство имеет большое значение для почв с близким уровнем залегания грунтовых вод. Чем больше водоподъемная способность почв (максимальна у суглинков), тем больше высота капиллярного поднятия (капиллярной каймы) воды и степень гидроморфизма почв. Особенно важно водоподъемную способность почв при близком залегании грунтовых вод с высокой минерализацией, когда возникает опасность засоления почв.

Общее содержание воды в почве, выраженное в % массы абсолютно сухой почвы, называется **влажностью** почвы.

Лабораторными способами определяют полевую и гигроскопическую влажность почвы. Определение наименьшей влагоемкости почвы возможно в лаборатории для насыпного образца почвы.

4.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕВОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Определение полевой влажности почвы позволяет установить общее количество воды (во всех ее формах), содержащееся в почве в момент изъятия пробы. Отбор пробы производится в поле ножом из стенки разреза или почвенным буром в специальный стаканчик (алюминиевый бюкс).

Пробы отбирают по горизонтам почвы, или регулярно, через каждые 5-10 см. Если надо взять одну пробу из большого по мощности горизонта (из слоя 50 см), то ее отбирают из середины его или по несколько граммов из средней, верхней и нижней частей.

Цель занятия: получить представление о формах почвенной влаги, освоить методики определения полевой, гигроскопической влажности почв и их наименьшей влагоемкости.

Порядок работы

1. На технических весах определяют массу металлического бюкса с крышкой.

2. Наполняют 1/3 часть бюкса почвой и закрывают крышкой (в таком виде образец можно сохранять не более 1-2 ч).

3. Определяют массу бюкса с почвой и помещают его в термостат при температуре 100-105 °С. Крышку при этом снимают и надевают на дно бюкса. Сушить почву следует до постоянного веса (обычно процесс занимает около 6 ч).

4. Окончание сушки почвы определяют следующим образом. Через 2 ч после начала сушки бюкс вынимают, охлаждают в эксикаторе (5-10 мин) и взвешивают. Затем просушивают снова в течение 2 ч, охлаждают и взвешивают. Если вес стаканчика остался постоянным (или разница не превышает 5 %), просушивание заканчивают, в противном случае операцию повторяют еще раз.

5. Полевую влажность ($W_{п}$) вычисляют по формуле:

$$W_{п} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \cdot 100, \quad (11)$$

где P_1 – масса бюкса с почвой до высушивания;

P_2 – масса бюкса с почвой после высушивания;

P_0 – масса бюкса без почвы.

Оборудование: металлические бюксы с крышками, термостат, эксикатор, заполненный хлоридом кальция $CaCl_2$, технические весы.

4.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Гигроскопическую влагу определяют в почве, из которой удалены свободная и пленочная вода. Такое состояние почвы, называемое воздушно-сухим, достигается в том случае, когда почва длительное время находится в сухом помещении. Гигроскопическая влага удаляется из почвы при нагревании ее до температуры 100-105 °С.

Порядок работы

1. Методом квартования из воздушно-сухой почвы, измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий 1 мм, берут навеску около 5 г. Навеску переносят в предварительно взвешенный бюкс без крышки и помещают в термостат с температурой 100-105 °С.

2. После 2 ч просушивания бюкс извлекают из термостата, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Затем снова помещают бюкс в термостат на 1-2 ч. Если после второго просушивания масса не уменьшилась, можно рассчитывать гигроскопическую влагу.

3. Влажность ($W_{г}$) вычисляют по формуле:

$$W_{г} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \cdot 100, \quad (12)$$

где P_1 – масса бюкса с почвой до высушивания;
 P_2 - масса бюкса с почвой после высушивания;
 P_0 - масса бюкса без почвы.

Гигроскопическая влажность используется для пересчета результатов различных анализов воздушно-сухой почвы на абсолютно-сухую. Для этого рассчитывается коэффициент гигроскопичности почвы (K_G), на который умножают результаты анализа воздушно-сухой почвы.

$$, \quad (13)$$

Переводной коэффициент воздушно-сухой почвы в сухую вычисляют по формуле:

$$K = \frac{100}{100 + W_G} . \quad (14)$$

Оборудование: металлические бюксы без крышек, термостат, эксикатор, заполненный хлоридом кальция CaCl_2 , технические весы.

4.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНЬШЕЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОЧВЫ (из насыпного образца)

Наименьшую влагоемкость можно определить в лаборатории для почвы с ненарушенным сложением (отобранной в металлический цилиндр специальным приспособлением – буром Качинского), или менее точно – для насыпного образца почвы с нарушенным сложением.

Порядок работы

1. Стекланную трубку диаметром 2–3 см, длиной 15 см с одного конца обвязывают марлевой салфеткой, под которую подкладывают бумажный фильтр, и определяют массу на технических весах.

2. Трубку заполняют слегка измельченным почвенным материалом до отметки 10–12 см. Для уплотнения материала нижним концом трубки осторожно постукивают о листовую резину.

3. Определяют массу трубки с почвой на технических весах, разность второго и первого определения составляет массу почвы

4. Трубку медленно погружают в сосуд с водой таким образом, чтобы уровень воды был на 1 см выше отметки на трубке, и оставляют ее в таком положении на 15 мин.

5. Спустя указанное время трубку с почвой извлекают из воды и в вертикальном положении закрепляют в штативе на 1 мин, чтобы дать возможность стечь избытку воды.

6. Затем трубку снимают со штатива, протирают снаружи фильтровальной бумагой для удаления оставшейся воды и определяют массу на технических весах.

7. Расчет воды, удерживаемой почвой после насыщения, производят по формуле

$$(15)$$

где A — количество воды, удерживаемое почвой после насыщения,

P_1 — масса трубки,

P_2 — масса трубки с почвой,

P_3 — масса трубки с почвой после ее насыщения водой,

$P_2 - P_1$ — масса почвы,

$P_3 - P_2$ — масса воды, удерживаемой почвой после насыщения.

8. Наименьшую влагоемкость (НВ) определяют суммированием процентного содержания гигроскопической воды ($W_{г}$) и воды, удерживаемой почвой после насыщения (A):

$$НВ = W_{г} + A. \quad (16)$$

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, стеклянная трубка диаметром 2-3 см, длиной 20 см, марля, фильтровальная бумага, высокий химический стакан, железный штатив с зажимом, технические веса.

Задание:

1. Из почвенного разреза или с помощью почвенного бура отобрать пробы почвы в алюминиевые бюксы через каждые 10 см до глубины 1 – 1,5 м для определения полевой влажности почвы. Одновременно отобрать образцы в бумажные пакетики для определения гигроскопической влажности и наименьшей влагоемкости данной почвы.

2. В лаборатории произвести определение полевой влажности термостатным методом и оставить образцы для высыхания до воздушно-сухого состояния для определения гигроскопической влажности и наименьшей влагоемкости.

3. На следующем занятии определить гигроскопическую влажность почвы и ее наименьшую влагоемкость. Результаты анализов занести в табл. 10.

Таблица 10. Результаты определения водных свойств почвы

Глубина отбора образцов, см	Полевая влажность, %	Гигроскопическая влажность, %	Наименьшая влагоемкость, %
0-10			
10-20			
20-30 и т.д.			

4. Построить график распределения по профилю почвы гигроскопической и полевой влажности, а также наименьшей влагоемкости, откладывая по вертикальной оси глубину, а по горизонтальной оси – значения отдельных водных свойств почвы (%), которые обозначить разными типами линий.

5. Охарактеризовать водные свойства исследованной почвы. Какие причины, по вашему мнению, привели к полученному распределению водных свойств по профилю почвы?

4.4. ОБЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Физические свойства почвы являются важнейшим фактором почвенного плодородия. Они во многом зависят от состава и структурной организации почвы. В свою очередь, физические свойства почвы определяют водный, воздушный, пищевой и тепловой режимы почвы, влияют на развитие почвообразовательного процесса. Изучение и оценка физических свойств почв важны для определения их агрономической ценности, а также для проведения строительных и иных инженерных работ.

Выделяют следующие физические свойства почвы:

- общие физические свойства,
- водные,
- воздушные,
- тепловые,
- физико-механические свойства.

На практике проводят массовые анализы общих физических свойств почвы: **плотности твердой фазы, плотности сложения и пористости почвы.**

Плотность твердой фазы почвы (d) – это масса, заключенная в единице объема твердой фазы почвы. Плотность твердой фазы почвы представляет собой интегрированное значение плотностей всех компонентов твердой фазы почвы: обломочных, глинистых, новообразованных минералов и органических соединений. Величина плотности твердой фазы почвы зависит, во-первых, от природы входящих в почву минералов, для которых она колеблется в пределах $2,3 - 4,0 \text{ г/см}^3$, и, во-вторых, от количества органического вещества ($1,4 - 1,8 \text{ г/см}^3$). Плотность твердой фазы большинства почв составляет $2,4 - 2,8 \text{ г/см}^3$. Знание этого показателя необходимо для вычисления общей пористости почвы. Кроме того, он дает некоторую ориентировку в петрографическом составе входящих в почву минералов и указывает на соотношение минеральной и органической частей.

Плотностью сложения почвы (d_v) называется масса единицы объема абсолютно сухой почвы. Ее величина в целинных почвах колеблется от 1,0 до 1,8 г/см³, т.е. ниже, чем плотность твердой фазы. Это связано с тем, что в ненарушенном сложении объем почвы занимает не только твердая фаза, но и поры различного размера. Плотность сложения почвы зависит от гранулометрического состава, количества органического вещества, сложения и структуры почвы. Знание этого показателя нужно для многих агрономических расчетов: для определения пористости, абсолютного запаса в почве воды и других веществ, для расчета поливных и промывных норм, а также доз удобрений.

Антропогенные воздействия на почву приводят к изменению равновесной плотности сложения, характерной для целинных почв: происходит уплотнение почвы (например, в подпахотном горизонте при формировании «плужной подошвы») или, наоборот, ее разрыхление. Для агрономической оценки плотности сложения почв можно воспользоваться табл. 11.

Табл. 11. Оценка плотности сложения суглинистых и глинистых почв (по Н.А. Качинскому) [2]

Плотность сложения, г/см ³	Оценка	Плотность сложения, г/см ³	Оценка
< 1,0	Почва вспушена или богата органическим веществом	1,3 – 1,4	Почва сильно уплотнена
1,0 – 1,1	Свежевспаханная почва	1,4 – 1,6	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)
1,2 – 1,3	Почва уплотнена	1,6 – 1,8	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты

Общая пористость ($P_{общ}$) – это суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы. Выражается в процентах от общего объема почвы. Обычно общую пористость определяют расчетным путем, используя значения плотности сложения и плотности твердой фазы почвы.

Пористость почвы зависит от гранулометрического состава, структурности, деятельности почвенной биоты, содержания органического вещества, в пахотных почвах от приемов обработки почвы. В пределах почвенного профиля пористость меняется по отдельным генетическим горизонтам, как правило, уменьшаясь с глубиной. Общая пористость складывается из межагрегатных пор (пор аэрации) и капиллярных пор (пустоты менее 8 мкм в диаметре). Некапиллярная пористость играет важную роль в воздухообмене почвы (аэрации), оптимально, когда она составляет 55-65 % общей пористости. Капиллярная пористость способствует удержанию влаги в почве.

Оценку общей пористости можно провести, используя данные табл. 12.

Табл. 12. Оценка общей пористости суглинистых и глинистых почв в вегетационный период (по Н.А. Качинскому) [2]

Общая пористость, %	Оценка	Общая пористость, %	Оценка
> 70	Почва вспушена (избыточно пористая)	< 50	Неудовлетворительная для пахотного горизонта
65 – 55	Отличная пористость (культурный пахотный горизонт)	40 – 25	Характерна для уплотненных иллювиальных горизонтов – чрезмерно низкая
55 – 50	Удовлетворительная для пахотного горизонта		

4.4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВЫ

При пикнометрическом способе определения плотности твердой фазы почвы объем твердой фазы почвы находят путем вытеснения воды взятой навеской почвы. Пикнометр представляет собой мерную колбу (на 50, 100 см³ с расширением в верхней части и пробкой с капилляром или без него).

Цель занятия: изучить методы определения общих физических свойств почвы (плотности твердой фазы, плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации), произвести анализ этих свойств и сделать их агрономическую оценку в предложенных образцах.

Порядок работы

1. Методом квартования отбирают среднюю пробу образца воздушно-сухой почвы.
2. Пробу растирают в ступке и пропускают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Берут пробу на определение гигроскопической влажности почвы.
3. В пикнометр объемом (или мерную колбу) наливают до метки дистиллированную воду, которую накануне прокипятили в течение получаса для удаления растворенного воздуха и закрывают пробкой. Взвешивают пикнометр с водой на технических весах.
4. Из пикнометра отливают примерно половину объема воды и помещают в него навеску почвы 5 г (для пикнометра объемом 50 см³) или 10 г (для пикнометра на 100 см³).
5. Пикнометры с водой и почвой (без пробки!) кипятят на электрической плитке 30 мин для удаления воздуха из почвенных агрегатов. При этом следят, чтобы кипение не было слишком бурным и не произошло выброса суспензии из пикнометра.
6. Пикнометр охлаждают в воде, закрыв пробкой, затем доливают дистиллированной водой до метки и взвешивают в закрытом виде на технических весах.
7. Величину плотности твердой фазы почвы (d) вычисляют по формуле:

$$d = \frac{A}{(A + B) - C}, \quad (17)$$

где A – масса абсолютно сухой почвы,
 B – масса пикнометра с водой,
 C – масса пикнометра с водой и почвой.

$$A = \frac{A_0 \cdot 100}{100 + W_{\Gamma}}, \quad (18)$$

где A_0 – масса навески воздушно-сухой почвы,
 W_{Γ} – гигроскопическая влажность почвы, %

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, металлическое сито с отверстиями диаметром 1 мм, технические весы, пикнометры или мерные колбы на 50 или 100 см³, термостат, плитка электрическая, эксикатор, химические стаканы.

4.4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ПОЧВЫ

Для определения этого показателя необходимо отобрать образец почвы в ее естественном сложении, так, чтобы не нарушить объемное расположение структурных агрегатов и пор. Отбор образцов производят с помощью специального приспособления – бура Качинского в металлические цилиндры (рис. 16).



Рис.16. Бур Качинского для отбора образцов почвы

При этом отбирают также пробу для определения полевой влажности почвы. Цилиндры закрываются крышками и транспортируются в лабораторию для взвешивания, которое необходимо произвести в этот же день. Образцы почвы в ненарушенном сложении можно отобрать также с помощью специальных режущих колец в бумажные пакеты или алюминиевых бюксов. В последнем случае образцы можно использовать одновременно для определения полевой влажности почвы.

При отборе проб следует избегать уплотнения почвы и аккуратно подрезать ее вровень с краями цилиндров (колец или бюксов). Главная задача – определить массу абсолютно сухой почвы в единице объема. Внутренний объем (V , см³) цилиндров и режущих колец можно определить по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h, \quad (19)$$

где d – внутренний диаметр,
 h – высота цилиндра (кольца).

Объем бюксов можно определить по массе налитой в них до краев дистиллированной воды. Определения объема, а также массы цилиндров с крышками, необходимо произвести до проведения полевых работ.

Порядок работы

1. При отборе проб буром Качинского определяют влажность почвы по описанной выше методике. Цилиндр с почвой, закрытый крышками, взвешивают на тарелочных весах. При отборе проб режущими кольцами или бюксами, пакеты с пробами или бюксы помещают в термостат и сушат не менее 6 часов при температуре 105 °С до постоянной массы. Из бюксов почву для лучшего высыхания можно высыпать (без потерь!) в бумажные пакеты и сушить вместе с бюксами. После сушки охладить образцы в эксикаторе и определить массу абсолютно сухой почвы (вычтя массу тары – пакетов, бюксов).

1. Вычисляют плотность сложения почвы (d_V) по формуле:

$$d_V = \frac{A_1}{V}, \quad (20)$$

где A_1 – масса абсолютно сухой почвы,
 V – объем цилиндра (кольца, бюкса).

Для образцов, отобранных буром Качинского в цилиндры, массу абсолютно сухой почвы определяют по формуле:

$$A_1 = \frac{100 \cdot (A - A_0)}{100 + W}, \quad (21)$$

где A – масса цилиндра с влажной почвой,
 A_0 – масса цилиндра без почвы,
 W – влажность почвы, %.

Оборудование: бур Качинского (в комплекте с цилиндрами), алюминиевые бюксы, режущие кольца, весы технические (тарелочные), термостат, эксикатор.

4.4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ПОРИСТОСТИ И СТЕПЕНИ АЭРАЦИИ ПОЧВЫ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

Общую пористость почвы чаще всего определяют расчетным путем по значениям плотности твердой фазы и плотности сложения почвы, хотя есть и лабораторные способы определения этого показателя, например, методом парафинирования.

Формула для расчета общей пористости имеет следующий вид:

$$P_{\text{общ}} = \frac{d_V - d}{d_V} \cdot 100, \quad (22)$$

где d_V – плотность сложения почвы,
 d – плотность твердой фазы почвы.

Степень (пористость) аэрации почвы характеризует объем пор, заполненных воздухом. Этот показатель имеет большое значение для почвенной биоты и зависит от степени заполненности пор почвы водой. Когда вода заполняет почвенные поры и вытесняет почвенный воздух, снижается газообмен в почве, затрудняется дыхание почвенных животных, микроорганизмов и корней растений, развиваются восстановительные процессы, угнетающе действующие на растения. В агрономическом отношении важно, чтобы почва имела пористость аэрации не менее 15 %. Степень аэрации (P_A , %) определяют по формуле:

$$P_A = \frac{P_{\text{общ}} - W}{100} \cdot 100, \quad (23)$$

где $P_{\text{общ}}$ – общая пористость почвы, %,
 W – влажность почвы, %,
 d_V – плотность сложения почвы, г/см³.

Задание:

1. Произвести отбор проб для определения плотности сложения и плотности твердой фазы почвы (или использовать образцы, отобранные на первом занятии).
2. Определить плотность твердой фазы почвы.
3. Определить плотность сложения почвы.
4. Определить расчетным путем общую пористость и пористость аэрации почвы.
5. Произвести агрономическую оценку определенных показателей почвы.

Контрольные вопросы

1. Что называют гранулометрическим составом почвы?

2. Назовите основные фракции гранулометрического состава почвы.
3. Как производится классификация почв по гранулометрическому составу?
4. Назовите полевые и лабораторные методы определения гранулометрического состава почв.
5. На чем основаны седиментационные методы определения гранулометрического состава почв?
6. Опишите общую схему пипеточного метода (вариант Качинского).
7. Опишите ход определения гранулометрического состава почвы по методу Рутковского.
8. Назовите и охарактеризуйте основные формы почвенной влаги.
9. Назовите важнейшие водные свойства почвы. От каких факторов зависят эти свойства?
10. Опишите методику определения полевой влажности почвы.
11. Как определяют гигроскопическую влажность почвы.
12. Опишите ход определения наименьшей влагоемкости почвы.
13. Что называется структурой почвы? Каково значение структуры почвы?
15. Что такое агрегатный состав почвы? На какие группы делят структурные агрегаты почвы по форме и по размеру?
17. Опишите ход ситового анализа агрегатного состава почвы.
18. Как определяется водопропускность почвенной структуры?
19. Назовите общие физические свойства почвы. Каково их значение для почвенного плодородия?
20. Опишите методику пикнометрического определения плотности твердой фазы почвы.
21. Опишите ход определения плотности сложения почвы.
22. Как расчетным путем можно определить общую пористость почвы и пористость аэрации?

ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ИХ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химические свойства почвы формируются за счет их наследования от материнской породы, а также вследствие собственно почвенных процессов функционирования. В геохимическом отношении почва является телом, в котором замыкаются циклы биологического круговорота и осуществляются многие процессы, связанные с геологическим круговоротом веществ. Химические элементы и соединения, присутствующие в почве, могут иметь биогенное или литогенное (из горных пород) происхождение и в разной степени участвовать в процессах почвообразования [5].

Главной особенностью химического состава почвы является наличие в ней органических веществ и особенно их специфической группы – гумусовых веществ, а также большое разнообразие форм соединений отдельных элементов и непостоянство (динамичность) химического состава почв во времени. Такие органогенные элементы, как углерод и азот, содержатся в почве в количествах, в 10-20 раз превышающих их содержание в литосфере. Другие элементы (алюминий, железо, кальций, натрий, калий) в результате почвообразования выносятся из почвы. Для растений особенно важно наличие в почве подвижных форм элементов минерального питания, таких как азот, фосфор, калий, кальций и микроэлементов (бор, марганец, цинк, медь, кобальт и др.).

Анализ химических свойств почв имеет основное значение в почвенных исследованиях. На его основе определяются обеспеченность почвы элементами, необходимыми для питания растений, химические особенности почвы, а также наличие или отсутствие вредных соединений, в том числе связанных с техногенным загрязнением. По данным химического анализа составляется агротехническая характеристика почвы, разрабатываются мероприятия по повышению ее плодородия.

При химическом анализе почв широко применяют различные вытяжки – кислотные, щелочные, солевые и водные. Вытяжкой из почвы называют сумму соединений, растворимых в растворителе, которым воздействуют на почву [5]. Растворителем может служить вода, а также растворы щелочей, кислот и солей. Обычно при приготовлении вытяжки почва и растворитель берутся в соотношении 1:5. Приготовление водной вытяжки описано ниже.

По степени растворимости можно выделить следующие группы химических соединений почвы:

1) **Легкорастворимые соединения.** Сюда относятся хлориды натрия, магния и кальция; бикарбонаты натрия, кальция и магния; карбонаты натрия; сульфаты натрия и магния; нитраты, нитриты и некоторые другие. Соединения этой группы легко растворяются в дистиллированной воде. Кроме перечисленных минеральных солей, в воде растворяются некоторые органические соединения (водорастворимая часть гумуса).

2) **Среднерастворимые соединения** плохо растворяются в воде, но хорошо – в слабых растворах кислот. К этой группе относятся карбонаты кальция и магния, сульфаты кальция и частично гидроксиды железа. Эти соединения

растворяются в воде в 1000 раз хуже растворимых соединений. Растворимость этих соединений немного повышается от присутствия большого количества легкорастворимых солей, однако все равно остается очень низкой. Карбонаты кальция и магния и сульфат кальция хорошо растворяются в соляной кислоте (концентрация 5-10%); большая концентрация кислоты отрицательно сказывается на растворимости сульфата кальция.

3) **Нерастворимые соединения.** Некоторые химические соединения не растворяются ни в воде, ни в слабых кислотах, но хорошо растворяются в щелочах. Примеры подобных соединений – гуминовые кислоты и их соли (важные составные части почвенного гумуса), аморфная окись кремния и некоторые другие образования. Эти соединения обычно растворяются 10% - ным раствором Na_2CO_3 (соды) или 1н раствором гидроксида натрия NaOH .

5.1. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Органическое вещество почвы играет значительную роль в формировании почвы и ее важнейших свойств и признаков. От содержания органического вещества зависит плодородие почвы, которое от первичного плодородия материнских пород и от искусственного плодородия (внесение удобрений), отличается относительной устойчивостью и способностью к воспроизводству. Органическое вещество определяет сорбционные свойства почвы – выполняет депонирующую функцию по отношению к элементам минерального питания растений. Кроме того, само органическое вещество почвы служит питательным субстратом для почвенной биоты (микроорганизмов, почвенных животных и грибов). Органические вещества участвуют в создании благоприятных водно-физических свойств почвы, устойчивой почвенной структуры, миграции ряда химических элементов и соединений. Все важнейшие почвенные процессы протекают при прямом или косвенном участии органического вещества.

Источником органического вещества почвы служат органические остатки отмерших растений и их частей, микроорганизмов, животных, а также их прижизненные выделения. Эти остатки в почве минерализуются с образованием воды, углекислого газа и минеральных солей или вступают в сложные превращения, итогом которых становится образование специфических почвенных органических веществ – гумуса. Соотношение процессов минерализации и гумификации различно в разных природных зонах. Наиболее интенсивное гумусонакопление происходит в районах с умеренным климатом при участии травянистой растительности и приводит к формированию наиболее богатых гумусом почв – черноземов. Органическое вещество почвы постоянно обновляется: часть его минерализуется и замещается новым органическим веществом. Поэтому нарушение баланса поступления органического вещества в почву неизбежно приводит к снижению гумусированности почв, что часто наблюдается в агроландшафтах.

Выделяются следующие основные группы органического вещества почвы:

1) Неразложившиеся и слаборазложившиеся остатки растений и животных – **почвенный детрит**.

2) **Почвенный гумус** – часть органического вещества почвы, полностью утратившая черты анатомического строения организмов, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических соединений почвы.

Неспецифические органические соединения (сахара, аминокислоты, белки, органические основания, дубильные вещества, органические кислоты и т.п.) присутствуют в почве как результат жизнедеятельности организмов, продукты выщелачивания и промежуточные продукты разложения органических остатков. Их содержание в минеральных почвах не превышает нескольких процентов.

Специфические гумусовые вещества – темноокрашенные органические соединения, входящие в состав гумуса, представляют собой смесь различных по составу и свойствам высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений. Это основная часть почвенного гумуса. Среди специфических гумусовых веществ можно выделить **гумусовые кислоты** – вещества, экстрагируемые из почвы щелочной вытяжкой и **гумин** – неэкстрагируемую часть гумуса.

Гумусовые кислоты в настоящее время подразделяют на три фракции:

- **фульвокислоты** (от гр. «фульвос» – желтый) – наиболее растворимая (в щелочах, кислотах, органических растворителях) группа гумусовых соединений, отличающаяся от других фракций меньшей молекулярной массой, более светлой окраской, меньшим содержанием углерода. Обладают относительно более выраженными кислотными свойствами, способствуют выщелачиванию почвенного профиля благодаря способности к комплексо- и хелатообразованию. Сравнительно легко минерализуются и поэтому являются источником легко мобилизуемых питательных веществ.

- **гуминовые кислоты** – растворимая в щелочах, но нерастворимая в кислотах группа темноокрашенных гумусовых веществ, обладающих относительно более высокими молекулярными массами, менее выраженным кислотным характером и более высоким содержанием углерода.

- **гиматомелановые кислоты** – фракция гумусовых веществ с промежуточными свойствами между фульвокислотами и гуминовыми кислотами. Они экстрагируются полярными органическими растворителями (например, этиловым спиртом).

Соотношение главных фракций гумусовых кислот – гуминовых и фульвокислот ($C_{ГК} : C_{ФК}$) является показателем, характеризующим тип гумуса. Так, гумус может быть гуматным ($C_{ГК} : C_{ФК} > 2$), фульватно-гуматным (1-2), гуматно-фульватным (0,5-1), фульватным ($< 0,5$).

При количественном определении общего содержания органического вещества в почве фактически находят общее содержание углерода, а затем, учитывая среднее содержание углерода в гумусе 58 %, вычисляют содержание в почве так называемого «общего гумуса». Этот показатель варьирует в поч-

вах в широких пределах (от 0,5 до 12 % и более). Оценку общей гумусированности почвы можно сделать на основе данных табл. 13.

Табл. 13. Показатели гумусного состояния почв
(по Д.С. Орлову, Л.А. Гришиной) [2]

Признаки	Уровень признака	Пределы значений
Содержание гумуса, %	Очень высокое	Более 10
	Высокое	6 - 10
	Среднее	4 - 6
	Низкое	2 - 4
	Очень низкое	Менее 2
Запасы гумуса в слое, т/га 20 см 100 см	Очень высокое	$\frac{>200}{>600}$
	Высокое	$\frac{150-200}{400-600}$
	Среднее	$\frac{100-150}{200-400}$
	Низкое	$\frac{50-100}{100-200}$
	Очень низкое	$\frac{\leq 50}{<100}$

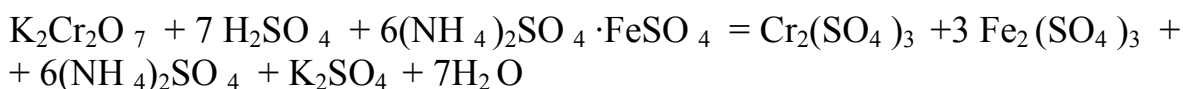
5.1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ МЕТОДОМ И.В. ТЮРИНА В МОДИФИКАЦИИ В.Н. СИМАКОВА

Метод определения общего содержания органического углерода основан на его «мокром сжигании» – окислении смесью раствора бихроматом калия ($K_2Cr_2O_7$) и концентрированной серной кислоты (хромовой смесью). При этом окислению подвергается углерод не только гумуса, но и негумифицированных органических остатков, что ведет к некоторому завышению результатов. В этой связи особое значение имеет тщательный отбор из почвы всей видимой органики (корешков, кусочков листовых пластинок и т.п.).

Окисление углерода производится сильным окислителем – хромовой кислотой ($H_2Cr_2O_7$), образующейся при взаимодействии бихромата калия с концентрированной серной кислотой. Общее уравнение реакции окисления имеет следующий вид:



Неизрасходованная часть окислителя определяется титрованием солью Мора (аммоний железо (II) сернокислый 6-водный $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$) в присутствии индикатора – фенилантропиловой кислоты:



Цель занятия: познакомиться с основными группами органического вещества почвы, составом и свойствами гумусовых веществ, освоить метод определения общего содержания органического вещества почвы по И.В. Тюрину.

Порядок работы

1. Из образца воздушно-сухой почвы берут среднюю пробу (около 10 г), рассыпают на листе белой бумаги и пинцетом отбирают корни и другие органические остатки. Затем почву осторожно растирают в фарфоровой ступке, разрушая почвенные агрегаты пестиком. Затем снова отбирают видимые органические остатки. Удаление органических остатков можно проводить стеклянной или эбонитовой палочкой, намагниченной куском шерстяной ткани. Для этого несколько раз проводят палочкой над рассыпанной тонким слоем почвой, на расстоянии не ниже 3 см от нее (чтобы не прилипали почвенные частицы). Прилипшие органические остатки снимают с палочки при очередном натирании. Почву пропускают через сито с диаметром отверстий 1 мм для удаления почвенного скелета. Подготовленную таким образом почву растирают в ступке и целиком пропускают через сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

2. Из подготовленной почвы на аналитических весах берут навеску от 0,1 до 0,5 г в зависимости от содержания гумуса и окраски почвы (табл. 14).

3. Навеску переносят в колбочку емкостью 100 см³, в которую из бюретки наливают точно 10 см³ смеси 0,4 н. раствора бихромата калия с концентрированной серной кислотой (хромовой смеси). Осторожно круговыми движениями колбы перемешивают ее содержимое. Одновременно наливают в пустую колбочку 10 см³ хромовой смеси для «холостого» титрования.

Табл. 14. Зависимость величины навески почвы от содержания гумуса и окраски почвы (по А.А. Красюку) [2]

Содержание гумуса, %	Окраска почвы	Навеска, г
8-15	Черная	0,1
5-8	Темно-серая	0,15-0,2
3-5	Серая, буроватая	0,3
1-3	Светло-серая, белёсая, палевая	0,4-0,5

4. Колбочки закрывают маленькими воронками (в качестве обратного холодильника) и кипятят на электрической плитке 5 минут в вытяжном шкафу (засекая время от момента появления первого крупного пузырька воздуха). При этом не допускают бурного кипения, приводящего к разбрызгиванию хромовой смеси. Если после 5 минут кипения содержимое колбы с почвой приобрело явную зеленую окраску, то это говорит о недостатке хромовой кислоты. В таком случае необходимо уменьшить навеску.

5. После кипячения колбам дают остыть (в вытяжном шкафу!), затем аккуратно смывают промывалкой капли хромовой смеси с воронок и стенок колб. Объем содержимого колб доводят дистиллированной водой до 30-40 см³.

6. Добавив в колбы 5-8 капель 0,2-процентного содового раствора фенилантраниловой кислоты, титруют 0,2 н. раствором соли Мора. По мере титрования окраска раствора переходит от бурой к вишневой, далее к фиолетовой и резко (от одной капли) – к грязно-зеленой (в «холостой» пробе – к изумрудно-зеленой). Как только окраска содержимого колбы становится фиолетовой, титрование проводят по каплям до точки эквивалентности – перехода к зеленой окраске. Отмечают объем раствора соли Мора, пошедшего на титрование колбы с почвой и «холостой» пробы.

7. Количество гумуса определяют по формуле:

$$X = \frac{(a - b) \cdot K \cdot 0,0010362 \cdot K_r \cdot 100}{0,2 \cdot m}, \quad (24)$$

где X – содержание гумуса, %,

a – объем соли Мора, пошедшей на «холостое» титрование, см³,

b – объем соли Мора, пошедшей на титрование избытка хромовой кислоты, см³,

K – коэффициент поправки (точная концентрация рабочего раствора соли Мора),

0,0010362 – коэффициент Ищерякова, показывающий, что 1 см³ 0,2 н. раствора соли Мора соответствует 0,0010362 г гумуса или 0,0006 г углерода,

0,2 – стандартная концентрация раствора соли Мора (0,2 н.)

m – масса навески воздушно-сухой почвы, г,

K_r – коэффициент гигроскопичности для пересчета на абсолютно сухую почву.

Как видно из формулы (24), для точного определения содержания гумуса, необходимо знать гигроскопическую влажность почвы и точную концентрацию приготовленного раствора соли Мора.

Поправку концентрации рабочего раствора соли Мора находят, проводя его титрование стандартным раствором перманганата калия (KMnO₄). Для этого в колбочку объемом 100 см³ наливают 10 см³ раствора соли Мора, пипеткой добавляют 1 см³ концентрированной серной кислоты, доводят объем дистиллированной водой до 30-40 см³, и титруют 0,1 н. раствором перманганата калия до появления устойчивой розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин. Для расчета коэффициента поправки вычисляют среднее арифметическое значение результатов трех титрований. Поправку концентрации рабочего раствора находят по формуле:

$$K = \frac{0,1 \cdot V_1}{V_2}, \quad (25)$$

где V_1 – объем стандартного (0,1 н.) раствора перманганата калия,

V_2 – объем рабочего раствора соли Мора, взятый для титрования (10 см³),

0,1 – концентрация раствора перманганата калия (стандарт-титра).

Проверку поправки концентрации соли Мора необходимо проводить через каждые 3 дня, что связано с окислением этого вещества кислородом воздуха. При проведении лабораторных занятий определение поправки концентрации рабочего раствора соли Мора проводит лаборант.

Оборудование: фарфоровые ступки, пестики – фарфоровые и с резиновым наконечником, технические весы, аналитические весы, конические колбы емкостью 100 см³, маленькие воронки (диаметром 2-4 см), промывалки, мензурки или мерные цилиндры, электрическая плитка, бюретки емкостью 25 или 50 см³, штативы лабораторные, алюминиевые бюксы, термостат и эксикатор (для определения гигроскопической влажности почвы).

Реактивы: смесь 0,4 н. раствора бихромата калия с концентрированной серной кислотой (хромовая смесь), 0,2 н. раствор соли Мора, 0,2%-ный раствор фенилантраниловой кислоты.

Приготовление растворов:

1) Приготовление хромовой смеси. 40,0±0,1 г тонко измельченного в фарфоровой ступке $K_2Cr_2O_7$ поместить в мерную колбу объемом 1 дм³, довести после растворения дистиллированной водой до метки и перелить в термостойкую колбу (или фарфоровую кружку) объемом 2 дм³. К этому раствору приливают порциями по 100 см³ с интервалом в 10-15 минут 1 дм³ концентрированной H_2SO_4 . Смесь образуется с выделением большого количества тепла и испарением растворов, поэтому работу следует проводить в вытяжном шкафу. После охлаждения смеси ее необходимо перемешать, перелить в мерную колбу на 2 дм³, долить до метки дистиллированной водой (осторожно!) и хранить в склянке из темного стекла с притертой пробкой (хромовая смесь поглощает из воздуха пары воды).

2) Приготовление раствора соли Мора. 80±0,1 г кристаллической соли Мора растворить в небольшом количестве (примерно 300 см³) дистиллированной воды, добавить 20 см³ концентрированной H_2SO_4 , перемешивают и фильтруют в мерную колбу объемом 1 дм³ через двойной складчатый фильтр для очищения от механических примесей. Раствор доводят до метки дистиллированной водой. Хранить раствор нужно в склянке из темного стекла с притертой пробкой. Вследствие постепенного окисления соли Мора при хранении, готовить этот реактив необходимо накануне анализа и регулярно проверять его концентрацию. Для предотвращения окисления соли Мора кислородом воздуха, к сосуду присоединяют склянку Тищенко с разбавленным раствором Na_2SO_4 .

3) Приготовление раствора фенилантраниловой кислоты. Сначала готовят 0,2%-ный содовый раствор. Для этого 0,2 г кристаллического Na_2CO_3 растворяют в мерной колбе на 100 см³, доводя до метки дистиллированной водой. Навеску 0,2 г порошка фенилантраниловой кислоты помещают в фарфоровую чашку, и после добавления нескольких кубических сантиметров 0,2%-ного содового раствора размешивают стеклянной палочкой до получения сметанообразной консистенции. Затем постепенно наливают остальное количество содового раствора при постоянном помешивании.

Задание:

1. Определить содержание гумуса в предложенном образце из какого-либо почвенного горизонта.
2. Зная мощность почвенного горизонта, рассчитать запас гумуса в нем, используя данные о плотности сложения данного горизонта.
3. Получив данные у других студентов, построить график распределения содержания гумуса по профилю анализируемой почвы.
4. Рассчитать общий запас гумуса в профиле почвы и в слое 0-100 см.
5. Произвести оценку содержания и запасов гумуса в анализируемой почве по табл.

5.1.2. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВЫ

В работе необходимо приготовить водную и щелочную вытяжки органического вещества почвы. Для этого рекомендуется использовать образцы, отобранные из горизонта А1 чернозема и серой лесной почвы, имеющих примерно равное содержание органического вещества. В основу метода, применяемого для выделения гумусовых веществ из почвы и разделения их на группы, положены различные по растворимости в воде, щелочах и кислотах свойства гуминовых и фульвокислот, а также их солей.

Изучение растворимости гумусовых кислот и их солей в воде

Порядок работы

1. В коническую колбу объемом 250 см³ помещают навеску в 30 г измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий 1 мм почвы и приливают 150 см³ дистиллированной воды.
2. Взбалтывают суспензию 5 мин и фильтруют через бумажный фильтр. По окраске фильтрата судят об относительном содержании водорастворимой фракции органического вещества почвы.

Изучение растворимости гумусовых веществ в щелочах

Порядок работы

1. Готовят щелочную вытяжку гумусовых веществ. Для этого в коническую колбу объемом 250 см³ помещают навеску 30 г измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий 1 мм почвы и приливают 150 см³ 0,1 н раствора NaOH.
2. Взбалтывают суспензию 5 мин и фильтруют через бумажный фильтр. Сравнивают цвет фильтрата щелочной и водной вытяжки.

Разделение гумусовых кислот

Порядок работы

1. Отбирают мерным цилиндром 30 см³ фильтрата щелочной вытяжки в колбу на 100 см³ и добавляют из пипетки по каплям 1 н раствор H₂SO₄ до появления мути. Для лучшего осаждения гуминовых кислот колбу нагревают на водяной бане 10-15 мин.
2. Осадок гуминовых кислот фильтруют через плотный бумажный фильтр. Определяют цвет фильтрата, содержащий раствор фульвокислот.

Растворение гуминовых кислот

Порядок работы

1. Воронку с фильтром и осадком гуминовых кислот вставляют в колбу объемом 100 см³ и растворяют осадок горячим 0,1 н раствором NaOH.
2. Сравнивают окраску полученного раствора гуминовых кислот с окраской раствора фульвокислот, полученного в предыдущем опыте.

Оборудование: технические весы, конические колбы на 250 и 100 см³, воронки, фильтровальная бумага, пипетки, мерные цилиндры, водяные бани.

Реактивы: 0,1 н раствор NaOH, 1 н раствор H₂SO₄.

Приготовление растворов:

- 1) Приготовление 0,1 н раствора NaOH. 4 г кристаллического гидроксида натрия растворяют в 1 дм³ дистиллированной воды.
- 2) Приготовление 1 н раствора H₂SO₄. 28 см³ концентрированной серной кислоты (плотность 1,96) растворяют в 1 дм³ дистиллированной воды.

Задание:

1. Взять для сравнения образцы гумусовых горизонтов чернозема и серой лесной почвы.
2. Изучить растворимость гумусовых веществ сравниваемых почв в воде и в щелочах.
3. Произвести разделение гумусовых кислот.
4. Сделать вывод о свойствах и составе гумусовых веществ в изученных почвах.

5.2. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Поглотительной способностью почвы называют способность почвы поглощать из водной или воздушной среды вещества в ионном, молекулярном, коллоидном виде или в виде суспензий, а также живые микроорганизмы. Эта способность почвы обусловлена протекающими в ней разнообразными процессами сорбционной и несорбционной природы.

Совокупность минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью, носит название *почвенного поглощающего комплекса* (ППК). Основную часть ППК составляют почвенные коллоиды.

По К.К. Гедройцу, выделяют 5 видов поглотительной способности почвы: механическую, физическую, физико-химическую, химическую и биологическую.

Механическая поглотительная способность – это свойство почвы, как всякого пористого тела, задерживать в своей толще твердые частицы крупнее, чем система пор. Это могут быть взвешенные в поверхностных водах частицы глины и песка, детрит и т. п. Механическая поглотительная способность зависит от гранулометрического состава почвы, ее пористости, сложения. Благодаря механической поглотительной способности почвы и грунтов обеспечивается чистота грунтовых вод, происходит заиление каналов.

Физическая (молекулярно-сорбционная) поглотительная способность представляет изменение концентрации молекул растворенного вещества на поверхности твердых частиц почвы. Это свойство почвы обуславливается притяжением отдельных молекул к поверхности твердых почвенных частиц в результате проявления так называемой поверхностной энергии. Интенсивность проявления поверхностной энергии зависит от величины поверхности почвенных частиц и, следовательно, обязана присутствию в почве тонкодисперсных частиц. Эти частицы могут притягивать молекулы газов (водяной пар >NH₃ >CO₂ >O₂ >N₂), молекулы жидких веществ. В частности, наличие пленочной влаги вокруг почвенных частиц обусловлено поверхностными силами. Наконец, в результате поверхностной энергии почвенными частицами поглощаются недиссоциированные на ионы молекулы веществ, находящихся в виде молекулярного раствора.

Физико-химическая (ионно-сорбционная) поглотительная способность заключается в способности почвы сорбировать ионы в результате обменных и необменных процессов. Наиболее важную роль в ионном почвенном обмене играют катионы. Общая схема катионного обмена в почве выглядит следующим образом:



Физико-химическое поглощение имеет ряд закономерностей.

- 1) Обменно поглощаются преимущественно катионы, так как поглощающий комплекс заряжен в основном отрицательно.
- 2) Обмен катионов происходит в строго эквивалентном количестве.
- 3) Энергия обменного поглощения различных катионов зависит от валентности, а при одной и той же валентности - от атомной массы.
- 4) Интенсивность поглощения зависит от концентрации раствора, а при одинаковой концентрации - от количества раствора.

5) Поглощение и закрепление катионов зависит не только от характера ионов, но и от свойств самой почвы.

Разные типы почв отличаются величиной емкости поглощения и имеют определенный состав поглощенных катионов. Величина емкости поглощения почв определяется минеральным составом высокодисперсной части пород, на которых сформированы эти почвы, и содержанием в них гумуса. Как правило, глинистые тяжелые почвы имеют большую емкость поглощения, чем песчаные. Состав поглощенных катионов влияет на ряд важных свойств почвы. Скорость всасывания воды, прочность структуры почв и некоторые другие показатели последовательно уменьшаются при преобладании кальция, магния, калия и натрия. Оценочной характеристикой содержания в ППК катионов служит показатель суммы поглощенных оснований (S), который выражается в ммоль/100 г почвы. Группировка почв по этому показателю приведена в табл. 15.

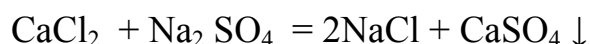
Табл. 15. Группировка почв по содержанию суммы поглощенных оснований

Класс	Уровень признака	Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г почвы
I	Очень низкий	0 -5,0
II	Низкий	5,1 – 10,0
III	Средний	10,1 – 15,0
IV	Повышенный	15,1 -20,0
V	Высокий	20,1 – 30,0
VI	Очень высокий	Более 30

Почвы обладают обменной поглотительной способностью не только в отношении катионов, но и в отношении анионов, среди которых наиболее активно поглощаются анионы фосфорной кислоты (H_2PO_4^+ , HPO_4^{+2} , PO_4^{+3}).

Химическая поглотительная способность - образование труднорастворимых химических соединений при взаимодействии отдельных компонентов почвенного раствора. Например, при взаимодействии фосфат-ионов с кальцием образуется слабо растворимый фосфат кальция.

Возникновение новообразований гипса в почве протекает следующим образом:



Кроме того, химическая поглотительная способность почв связана с комплексообразовательной сорбцией, адгезионным взаимодействием (склеиванием), в которых активно участвуют гумусовые соединения. В результате образуются устойчивые органо-минеральные соединения. Так в почве могут накапливаться устойчивые соединения тяжелых металлов.

Биологическая поглотительная способность почвы обусловлена присутствием в ней животных и растительных организмов. В процессе своего

жизненного цикла растения и животные накапливают некоторые химические элементы, необходимые для нормальной жизнедеятельности организмов. После отмирания последних накопленные элементы частично задерживаются в почве. Таким образом, почва постепенно обогащается определенными элементами, например углеродом, азотом, фосфором и пр., а также некоторыми микроэлементами. Играя важнейшую роль в формировании почвы и почвенного плодородия, поглонительная способность почв имеет большое экологическое значение. Она определяет важнейшее свойство – буферность почвы – устойчивость к неблагоприятным воздействиям, в том числе химическому, биологическому загрязнению. Благодаря поглонительной способности почвы регулируют реакцию среды (при кислотных или щелочных воздействиях), снижают токсическое действие тяжелых металлов, предотвращают загрязнение грунтовых вод. Эта способность почв широко используется в биологической очистке сточных вод (сооружение полей орошения и фильтрации), для рекультивации отвалов токсичных горных пород и отходов и т.п.

5.2.1. КАЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ

Определение механической поглонительной способности

Порядок работы

1. На железных штативах укрепляют две стеклянные воронки диаметром около 8 см.
2. В фарфоровой ступке растирают суглинистую почву, от которой на технических весах берут навеску в 30 г. Ее помещают в воронку.
3. Во вторую воронку кладут такую же навеску сильно песчаной почвы или песка. Во избежание высыпания материала в обе воронки предварительно помещают гравелинки, закрывающие большую часть выходного отверстия воронки.
4. Через суглинистую и песчаную массу фильтруют заранее приготовленную глинистую суспензию. Фильтрат, полученный после прохождения через первую и вторую воронки, будет обладать различной прозрачностью в зависимости от того, какая почва лучше задерживает («поглощает») частицы глинистой суспензии.
5. Результаты опыта следует записать и сделать выводы.

Определение молекулярно-сорбционной (физической) поглонительной способности

Порядок работы

1. В стеклянные воронки, укрепленные в железных штативах, помещают навески в 25 г песка и суглинка.

2. Через приготовленные образцы фильтруют какой-либо молекулярный раствор с хорошо окрашенным веществом. Наиболее удобен для опыта жидкий раствор анилиновых фиолетовых чернил.

3. В зависимости от величины, так называемой поверхностной энергии, обусловленной в основном степенью дисперсности каждого образца, происходит поглощение молекул. Интенсивность поглощения проявляется в обесцвечивании фильтрата.

4. Цвет фильтрата из-под каждого образца записывают и делают вывод, в каком образце энергичнее проявляется сорбция (поглощение) молекул.

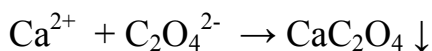
Определение ионно-сорбционной (обменной) поглощательной способности

Порядок работы

1. Заранее заготавливают фракцию агрегатов крупнее 3 мм гумусового горизонта чернозема или серой лесной почвы. На технических весах берут навеску в 10 г и помещают в стеклянную воронку. Во вторую воронку насыпают 20 г песка. Воронки укрепляют в железных штативах.

2. Исходные растворы – дистиллированная вода и 5-процентный раствор хлорида калия – проверяют на содержание кальция. С этой целью дистиллированную воду и хлорид калия в количестве 5-6 см³ наливают в пробирки и туда добавляют около 1 см³ 4%-ного раствора оксалата (щавелевокислого) аммония (NH₄)₂C₂O₄. Появление белой мути (оксалата кальция) указывает на примесь кальция. В дистиллированной воде кальций отсутствует. В растворе хлористого калия иногда обнаруживают очень слабое помутнение, свидетельствующее о содержании кальция в количестве, меньшем 0,01%.

Реакция идет по схеме:



3. Через образцы в воронках фильтруют дистиллированную воду в конические колбы емкостью около 100 см³. Жидкость, прошедшая через образцы, обычно содержит большее или меньшее количество механической примеси. Поэтому фильтрат из-под каждого образца вновь фильтруют через воронку с бумажным фильтром в пробирку в количестве 5-6 см³.

4. В обоих фильтратах определяют содержание кальция реакцией с оксалатом аммония. Как правило, констатируется отсутствие кальция или обнаруживается слабое помутнение, указывающее на присутствие водорастворимых форм кальция в количестве 0,01-0,001%.

5. Эти же образцы промывают 5%-ным раствором хлорида калия. Фильтрат от каждого образца фильтруют через воронку с бумажным фильтром в пробирку, где определяют содержания кальция.

6. Полученные результаты записывают. Объясняют появление обильного белого осадка оксалата кальция в фильтрате из-под почвы. Записывают схему процесса.

Оборудование: железные штативы с зажимами, стеклянные воронки диаметром 8 см и 5 см, фарфоровая ступка с пестиком, технические весы, конические колбы емкостью 100 см³, пробирки в штативе.

Реактивы: глинистая суспензия, химические чернила, 5%-ный раствор хлористого калия, 4%-ный раствор щавелевокислого аммония.

5.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ ПОГЛОЩЕННЫХ ОСНОВАНИЙ ПО МЕТОДУ КАППЕНА-ГИЛЬКОВИЦА

Метод основан на вытеснении катионов из почвенного поглощающего комплекса 0,1 н. раствором соляной кислоты и последующим титрованием гидроксидом натрия остатка кислоты, не вступившей в реакцию. Если в почве содержатся карбонаты, этот метод использовать нельзя, т.к. кислота будет израсходована на разрушение карбонатов.

Порядок работы

1. Из средней пробы почвы, растертой пестиком в фарфоровой ступке и просеянной через сито с отверстиями 1 мм, на технических весах берут навеску в 10 г (для черноземов можно 5 г).

2. Навеску переносят в колбу емкостью около 100 см³, куда наливают 50 см³ 0,1 н. раствора соляной кислоты.

3. Колбу с почвой взбалтывают в течение 30 мин и оставляют на 24 ч.

4. Затем содержимое колбы взбалтывают и фильтруют через воронку с бумажным фильтром. Определение суммы поглощенных оснований возможно и в отстое. В этом случае отстой аккуратно сливают, не взмучивая почву. Для определения пипеткой берут 25 см³ фильтрата или отстоя в коническую колбу на 100 см³.

5. В раствор добавляют 2-3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором гидроксида натрия при помощи бюретки на 25 или 50 см³ появления ярко-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин. В случае выпадения осадка полуторных оксидов окраску следует наблюдать в прозрачном слое над осадком. Аналогично проводят титрование 25 см³ раствора соляной кислоты (контроль).

6. Результаты вычисляют по формуле:

$$S = \frac{(V_0 - V) \cdot c \cdot 100 \cdot K_{\Gamma}}{m}, \quad (26)$$

где S - сумма поглощенных оснований в ммоль на 100 г почвы,

V_0 - объем раствора гидроксида натрия, израсходованный на титрование соляной кислоты в контрольной колбе, см³;

V - объем раствора гидроксида натрия, израсходованный на титрование испытуемого раствора, см³;

c - концентрация раствора гидроксида натрия, ммоль/дм³;

100 - коэффициент пересчета на 100 г почвы;

K_{Γ} - коэффициент гигроскопичности почвы;

m – масса навески почвы, соответствующая взятому для титрования объему вытяжки, г.

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с отверстиями 1 мм, технические весы, конические колбы емкостью 100 см³, стеклянная воронка, бюретки на 25 или 50 см³, железный штатив с зажимами, фильтровальная бумага, капельница для фенолфталеина.

Реактивы: 0,1 н. раствор соляной кислоты, фенолфталеин, 0,1 н. раствор гидроксида натрия.

Приготовление растворов:

1) Приготовление 0,1 н. раствора соляной кислоты. Раствор указанной концентрации готовят из 8,2 см³ соляной кислоты с удельным весом 1,19, которую разбавляют до 1 л дистиллированной водой.

2) Приготовление 0,1 н. раствора гидроксида натрия. Указанный раствор гидроксида натрия готовят из 4 г кристаллического гидроксида натрия, который растворяют в дистиллированной воде, освобожденной от углекислого газа кипячением, и в мерной посуде объем доводят до 1 л.

3) Приготовление раствора фенолфталеина. Навеску в 0,1 г фенолфталеина растворяют в 100 см³ 96-98-процентного этилового спирта.

Задание:

1. Исследовать различные виды поглотительной способности почвы и сделать выводы по полученным результатам.

2. Произвести определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена-Гильковица для разных горизонтов (бескарбонатных!) почвы или для разных почв. Объяснить полученные различия показателей.

3. Произвести оценку содержания обменных оснований в почве по табл. 12.

4. Написать схему вытеснения обменных оснований из почвенного поглощающего комплекса соляной кислотой.

5.3. КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Цель занятия: Установить факторы, определяющие реакцию почвенного раствора, изучить виды кислотности и щелочности почв, познакомиться с оценкой кислотно-основных свойств почв, освоить методы потенциометрического определения реакции почвенных вытяжек, метод определения гидролитической кислотности почв. Научиться вычислять степень насыщенности почв основаниями и определять потребность почв в известковании.

Кислотно-основные свойства (реакция среды) почвы имеют важное генетическое и агротехническое значение. Они определяют интенсивность внутрипочвенного выветривания, подвижность химических элементов и соединений, биологическую активность почвы, трансформацию органического вещества. Для выращивания сельскохозяйственных растений важно соответствие реакции среды почвенного раствора диапазону оптимальных значений рН, который различен для разных видов. Важен учет кислотно-основных свойств

почв для эффективного использования удобрений, которые сами могут быть факторами изменений рН почвенного раствора.

Кислотность почв - это способность почвы подкислять почвенный раствор имеющимися в почве кислотами и обменно-поглощенными катионами водорода, а также алюминия, способного при вытеснении из ППК образовывать гидролитически кислые соли.

Внешним источником подкисления почв могут быть атмосферные осадки, содержащие растворы кислот (угольной, серной, азотной), особенно в промышленных районах. При разложении растительных остатков, поступающих на почву, образуются органические кислоты, особенно это характерно для лесного (в большей степени хвойного) опада.

В почвах имеются также внутренние источники кислотности:

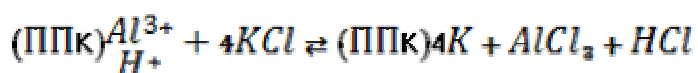
- корни и микорганйзмы образуют при дыхании CO_2 , который растворяется в почвенном растворе с образованием угольной кислоты;
- H^+ выделяется в процессе разложения органического вещества почвы в результате минерализации, нитрификации и выщелачивания;
- органические кислоты, которые выделяются из растительности, органического вещества почвы и корней растений;
- корни выделяют H^+ и OH^- , чтобы их поверхность оставалась электронейтральной в ходе поглощения ионов питательных веществ. Таким образом, корни могут быть источниками кислот и оснований;
- педогенные минералы являются кислыми, выделяя H^+ в ходе их растворения почвенной водой;
- уничтожение естественной растительности вызывает ускоренное разложение органического вещества, вымывание нитратов и развитие кислотности;
- в процессе нитрификации аммонийных удобрений образуются ионы H^+ .

Различают актуальную (активную, реальную) и потенциальную (пассивную, резервную).

Актуальная кислотность обусловлена наличием свободных ионов водорода в почвенном растворе. Она определяется в водной вытяжке (при соотношении почва : вода 1 : 5 или 1 : 2,5). Актуальную кислотность определяют как для кислых, так и для щелочных почв. Обозначают символом рН (H_2O).

Потенциальная кислотность обусловлена ионами водорода и алюминия, находящимися в обменно-поглощенном состоянии в ППК. По способу определения ее подразделяют на обменную и гидролитическую.

Обменная кислотность - это та часть потенциальной кислотности, которая определяется при взаимодействии с почвой 1 н. раствора гидролитически нейтральной соли KCl (рН 5,6). При этом взаимодействии ионы H^+ и Al^{3+} в ППК замещаются ионом K^+ : (ППК)





Обменная кислотность характеризуется величиной рН (KCl) и обычно ниже значения рН (H₂O). Значения обменной кислотности могут быть использованы при определении необходимости в известковании почвы, но для этих целей чаще используют другой показатель – гидролитическую кислотность почвы.

По значениям обменной кислотности производят оценку кислотности почв (табл. 16).

Табл. 16. Группировка почв по степени кислотности

Класс	Степень кислотности	Величина рН (KCl)
I	Очень сильнокислые	менее 4,0
II	Сильнокислые	4,1-4,5
III	Среднекислые	4,6-5,0
IV	Слабокислые	5,1-5,5
V	Близкие к нейтральной	5,6-6,0
VI	Нейтральные	более 6,0

Гидролитическая кислотность (Н_г) – дает более полное представление о потенциальной кислотности почв, т. к. замещение Н⁺ и Al³⁺ в ППК производится при воздействии на почву 1 н. раствором гидролитически щелочной соли ацетата натрия CH₃COONa с рН 8,2. Выражается в ммоль/100 г почвы.



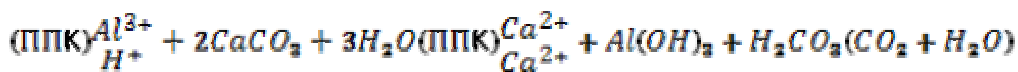
Кроме расчета доз извести, гидролитическую кислотность используют также при вычислении показателя, получившего название степени насыщенности почвы основаниями.

Оценку потенциальной кислотности почв производят по величине гидролитической кислотности (табл. 17).

Табл. 17. Степень кислотности почвы по величине Н_г

Класс	Степень кислотности	Величина Н _г , ммоль/100 г почвы
I	Очень сильнокислые	более 6,0
II	Сильнокислые	5,1-6,0
III	Среднекислые	4,1-5,0
IV	Слабокислые	3,1-4,0
V	Близкие к нейтральной	2,1-3,0
VI	Нейтральные	менее 2,0

Устранение вредной кислотности почв осуществляется известкованием – внесением в почву извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, карбоната кальция CaCO_3 и некоторых других известковых материалов:



Щелочность почв связана с избытком ионов OH^- . Эти ионы образуются при выветривании алюмосиликатов почвообразующей породы, но в большей степени – при наличии в почве гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) и ионов Na^+ в ППК. Подщелачивание почв возможно также вследствие выпадения щелочной пыли из атмосферы, загрязняемой предприятиями стройиндустрии. Различают актуальную и потенциальную щелочность.

Актуальная щелочность определяется содержанием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей, преимущественно карбонатов и гидрокарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов. Актуальная щелочность может определяться значением рН водной вытяжки.

Потенциальная щелочность почв определяется содержанием обменного Na^+ , переходя в почвенный раствор, он подщелачивает его.

Оценку щелочности почв производят по значениям рН водной вытяжки (табл. 18).

Табл. 18. Группировка почв по степени щелочности

Класс	Степень щелочности	Величина рН (H ₂ O)
I	Слабощелочные	7,2-7,5
II	Щелочные	7,6-8,5
III	Сильнощелочные	8,5-10,0
IV	Резкощелочные	10,1-12,0

Для борьбы с повышенной щелочностью почв применяют их гипсование, т.е. внесение гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:



С процессами ионного обмена связано и такое свойство почв, как **кислотно-основная буферность**, то есть сопротивляемость почвы изменению рН при действии кислоты или основания. Почва является «буферной» средой, поскольку противостоит резким изменениям рН. Буферная способность почвы зависит от емкости поглощающего комплекса, который выполняет важную функцию регулятора концентрации почвенного раствора.

5.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ (АКТУАЛЬНОЙ КИСЛОТНОСТИ) ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Метод основан на определении концентрации ионов H^+ в водной вытяжке из почвы по разности потенциалов, возникающей между рН-электродом и электродом сравнения специального прибора – рН-метра-иономера.

Порядок работы

1. Среднюю пробу почвы растирают в фарфоровой ступке и просеивают через сито с величиной отверстий в 1 мм.

2. Для приготовления водной вытяжки берут навеску почвы в 10 г и помещают в коническую колбу на 100 см³. В колбу наливают 50 мл дистиллированной воды (соотношение почвы и воды 1:5), лишенной CO_2 (30 мин. кипячением). Активную кислотность можно определять в почвенной суспензии. Для ее приготовления навеску почвы в 20 г помещают в коническую колбу на 100 см³ и добавляют 50 мл дистиллированной воды (соотношение почвы и воды 1:2,5), лишенной CO_2 (рН 7).

3. Колбу взбалтывают или размешивают содержимое с помощью лабораторной мешалки 5 мин. Затем водную вытяжку отстаивают 5 мин и фильтруют через беззольный бумажный фильтр в коническую колбу или небольшой химический стакан. Почвенную суспензию можно анализировать непосредственно: ее переливают в небольшой химический стакан.

4. Определяют рН вытяжки или суспензии с помощью рН-метра-иономера по инструкции к прибору. Прибор должен быть перед проведением анализа откалиброван по стандартным буферным растворам согласно инструкции.

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, технические весы, конические колбы на 100 см³, химические стаканы на 50 см³, стеклянные воронки диаметром 6 см, фильтровальная бумага беззольная, рН-метр-иономер.

Реактивы: буферные растворы для калибровки рН-метра или иономера, дистиллированная вода, лишенная CO_2 30-минутным кипячением (рН 7).

5.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH СОЛЕВОЙ ВЫТЯЖКИ (ОБМЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ) ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Метод основан на определении концентрации ионов H^+ , вытесненных из почвенного поглощающего комплекса ионами K^+ 1 н раствора хлорида калия, по разности потенциалов, возникающей между рН-электродом и электродом сравнения специального прибора (рН-метра-иономера).

Порядок работы

1. Среднюю пробу почвы растирают в фарфоровой ступке и просеивают через сито с величиной отверстий в 1 мм.

2. Навеску почвы в 20 г помещают в коническую колбу на 100 см³, приливают 50 см³ 1 н. раствора хлорида калия.

3. Содержимое колбы взбалтывают 5 мин, закрыв колбу пробкой, и оставляют отстаиваться на 24 ч.

4. После отстаивания осторожно сливают отстоявшийся раствор (или отбирают с помощью пипетки) в химический стакан на 50 см³ и определяют значение рН с помощью рН-метра-иономера. Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, технические весы, конические колбы на 100 см³, резиновые пробки, химические стаканы на 50 см³, рН-метр-иономер.

Реактивы: буферные растворы для калибровки рН-метра или иономера, 1 н. раствор КСl.

Приготовление 1 н. раствора КСl: 74,5 г кристаллического хлорида калия растворить в 1 л дистиллированной воды.

5.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ КИСЛОТНОСТИ

Метод основан на вытеснении из ППК почвы ионов Н⁺ и Al³⁺ щелочью NaOH, образующейся при гидролизе щелочной соли ацетата (уксуснокислого) натрия СН₃COONa, и титровании образующейся уксусной кислоты гидроксидом натрия.

Порядок работы

1. Взвешивают 20 г воздушно-сухой почвы, измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий в 1 мм, и помещают в колбочку емкостью 100 см³.

2. Приливают 50 см³ 1,0 н. раствора ацетата натрия (СН₃COONa), закрывают колбу пробкой и взбалтывают содержимое колбы в течение 5 мин. Оставляют колбу на 24 ч отстаивания.

3. После отстаивания раствор взбалтывают и профильтровывают через складчатый фильтр, перенося по возможности на него почву. Если первые порции фильтрата окажутся мутными, необходимо снова пропустить их через тот же фильтр.

4. Отбирают пипеткой 25 мл фильтрата, добавляют 2 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором гидроксида натрия до появления розового окрашивания, не исчезающего 1 мин.

5. Величину гидролитической кислотности H_{Γ} вычисляют в ммоль/100 г абсолютно сухой почвы по формуле:

$$H_{\Gamma} = \frac{V \cdot c \cdot 100 \cdot 1,75 \cdot K_{\Gamma}}{m}, \quad (27)$$

где V - объем раствора гидроксида натрия, израсходованный на титрование уксусной кислоты, образовавшейся в колбе, см³;

c – концентрация раствора гидроксида натрия, ммоль/дм³;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

$1,75$ – поправка на неполное вытеснение ионов водорода при однократной обработке почвы раствором ацетата натрия.

K_G – коэффициент гигроскопичности почвы.

m – масса навески почвы, соответствующая взятому для титрования объему вытяжки, г.

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, весы технические, конические колбы на 100 см³, резиновые пробки, воронки диаметром 5-6 см, фильтровальная бумага, пипетки на 25 см³, бюретки на 25 или на 50 см³, лабораторные штативы.

Реактивы: 1,0 н. раствор ацетата натрия, 0,1 н. раствор NaOH, фенолфталеин.

Приготовление растворов:

1) Приготовление 1,0 н. раствора ацетата натрия. 136 г кристаллического $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ растворяют в мерной колбе в 1 л. дистиллированной воды, лишенной CO_2 кипячением в течение 30 мин.

2) Приготовление 0,1 н. раствора гидроксида натрия. Указанный раствор гидроксида натрия готовят из 4 г кристаллического гидроксида натрия, который растворяют в дистиллированной воде, освобожденной от углекислого газа кипячением, и в мерной посуде объем доводят до 1 л.

5.3.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕННОСТИ ПОЧВЫ ОСНОВАНИЯМИ

Степенью насыщенности почв основаниями называется отношение суммы обменных оснований к емкости катионного обмена, выраженное в %:

$$V = \frac{S}{S + H_G} \cdot 100, \quad (28)$$

где V – степень насыщенности почв основаниями, %;

S – сумма обменных (поглощенных) оснований, ммоль/100 г почвы;

H_G – гидролитическая кислотность, ммоль/100 г почвы;

$S + H_G$ – емкость катионного обмена, ммоль/100 г почвы;

100 – коэффициент пересчета на проценты.

По степени насыщенности почв основаниями определяется нуждаемость почв в известковании:

если $V = 50$ % и менее – нуждаемость в известковании сильная;

$V = 50 - 70$ % – нуждаемость в известковании средняя;

$V = 70 - 80$ % – нуждаемость в известковании слабая;

$V = 80$ % и более – нуждаемость в известковании отсутствует.

5.3.5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ПОЧВЫ В ИЗВЕСТИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ КИСЛОТНОСТИ

Полная норма извести в т/га рассчитывается по величине гидролитической кислотности:

- при слабой и средней нуждаемости почвы норма извести (в т/га) равна величине гидролитической кислотности ($H_T \times 1$);

- при сильной нуждаемости величину гидролитической кислотности увеличивают в 1,5 раза ($H_T \times 1,5$).

При расчете норм извести можно пользоваться также следующей формулой:

$$X = \frac{H_T \cdot 0,05 \cdot 10000 \cdot 2400}{1000000}, \quad (29)$$

где H_T – полная гидролитическая кислотность, ммоль/100 г почвы;

0,05 – количество г CaCO_3 , требуемого для полной нейтрализации гидролитической кислотности 1 ммоль/100 г почвы;

10000 – коэффициент для перевода 100 г почвы в 1 т;

2400 – масса одного гектара пахотного слоя мощностью 20 см и плотностью сложения 1,2 г/см³, определена по формуле

$$m = d_V \cdot h \cdot 10000, \quad (30)$$

где d_V – плотность сложения, г/см³=т/м³;

h – мощность пахотного слоя, м;

10000 – коэффициент перевода на 1 га.

1000000 – коэффициент перевода г CaCO_3 в тонны.

Задание:

1. В тех же образцах, в которых на предыдущем занятии определяли сумму поглощенных оснований, произвести определение актуальной, обменной и гидролитической кислотности почвы.

2. Произвести оценку полученных показателей по таблицам 13, 14 и 15.

3. Произвести расчет емкости катионного обмена почвы и степени насыщенности почвы основаниями. Сделать вывод о необходимости в известковании анализируемой почвы.

4. Произвести расчет необходимого количества карбоната кальция для нейтрализации гидролитической кислотности почвы.

5.4. ЗАСОЛЕННОСТЬ ПОЧВ

Накопление солей в почвах происходит вследствие действия причин природного (первичное засоление) и антропогенного характера (вторичное засоление). К природным факторам засоления относятся:

- почвообразование на засоленных материнских породах (в первую очередь, морских отложений, вышедших на дневную поверхность);
- близкое залегание минерализованных грунтовых вод в условиях выпотного водного режима почв (испарение превышает количество осадков);
- аккумуляция солей растительностью;
- эоловый перенос солей (импульверизация) с поверхности морей, соленых озер и при дефляции (ветровой эрозии) засоленных почв.

Антропогенное засоление почв происходит, главным образом, при ведении орошаемого земледелия. Соли в почву могут поступать как из минерализованных оросительных вод, так и из минерализованных грунтовых вод, при достижении их капиллярной каймы поливными водами в условиях засушливого климата. Вторичное засоление почв может быть связано с загрязнением почв сточными водами, отходами (промышленными, сельскохозяйственными, бытовыми), а также выпадением из атмосферы пыли, выбрасываемой предприятиями. Городские почвы засоляются при использовании хлорида натрия и хлорида кальция для борьбы с гололедом.

В ряде случаев антропогенное поступление солей в почву оказывает благоприятное воздействие на свойства почвы, например, при известковании и гипсовании почв, внесении минеральных удобрений.

По степени растворимости в воде соли делятся на мало-, средне- и легко-растворимые. Малорастворимые соли в почвах представлены карбонатами кальция и магния (CaCO_3 и MgCO_3). Среднерастворимая соль – гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, остальные соли относятся к легко-растворимым. Наибольшее значение имеет накопление в почве легко-растворимых солей, которые формируют ионный состав почвенного раствора, его кислотно-основные свойства и при высокой концентрации (более 0,25 %) токсичны для растений. Соли натрия, кроме того, вытесняют из ППК ионы кальция и магния, способствуют разрушению структуры (пептизации) почвы.

Степень засоленности почвы или их горизонтов устанавливают по величине сухого остатка (в %), образовавшегося после выпаривания водной вытяжки из почвы (табл. 19). Этот показатель дает довольно общее представление о содержании минеральных солей, т. к. представляет собой сумму водорастворимых веществ (органических и минеральных).

Табл. 19. Оценка степени засоленности почв по величине сухого остатка

Группы почв по степени засоленности	Сухой остаток, %
Незасоленные	0,25-0,30
Слабозасоленные	0,30-0,50
Среднезасоленные	0,50-1,0
Сильнозасоленные	1,0-2,0
Солончаки	2,0-4,0

Типы засоления почв определяют по составу анионов:

- *содовое* – среди солей преобладает сода (карбонаты CO_3^{2-} и гидрокарбонаты HCO_3);

- *хлоридное* – среди солей резко преобладают хлориды (Cl⁻);
- *сульфатное* – среди солей резко преобладают сульфаты (SO₄²⁻);
- *сульфатно - содовое* – среди солей преобладают сульфаты и карбонаты, но карбонатов больше, чем сульфатов;
- *сульфатно - хлоридное* – среди солей преобладают сульфаты и хлориды, но хлоридов больше, чем сульфатов;
- *хлоридно - сульфатное* – также преобладают сульфаты и хлориды, но сульфатов больше, чем хлоридов.

Определить тип засоления можно в лабораторных условиях с помощью качественного анализа водной выдержки.

Степень и тип засоления являются важными диагностическими (классификационными) признаками засоленных почв (солончаков, солончаковых почв и солонцов).

В профиле незасоленных почв соли распределяются в соответствии с их растворимостью. Легкорастворимые соли выносятся за пределы почвенного профиля, среднерастворимая соль, гипс, появляется на значительной глубине (150-200 см), и несколько выше по профилю залегают малорастворимые соли – карбонаты кальция и магния. Глубина залегания карбонатов кальция и магния и характер их распределения по профилю позволяет установить степень развития процессов выщелачивания в почве.

5.4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ СУММЫ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ (СУХОЙ ОСТАТОК)

Сухой остаток представляет собой продукт выпаривания водной вытяжки из почвы. Фактически он является суммой всех водорастворимых соединений почвы, как неорганических, так и органических. Водную вытяжку готовят в объеме, достаточном для последующего качественного анализа (определения типа засоления).

Цель занятия: познакомиться с источниками засоления почв и влиянием засоления на агротехнические характеристики почв, с оценкой степени засоленности почв, освоить метод определения общей суммы водорастворимых веществ почвы, ацидиметрический метод определения содержания карбонатов почве.

Порядок работы

1. Из почвы, измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий в 1 мм, берут навеску в 50 г и помещают в колбу объемом 500 см³. В колбу приливают 250 см³ дистиллированной воды, лишенной CO₂ (кипячение 30 мин).

2. Содержимое колбы взбалтывают или перемешивают с помощью лабораторной мешалки 5 мин, закрывают пробкой и оставляют отстаиваться на 24 ч.

3. После отстаивания содержимое взбалтывают и переносят в воронку с обеззоленным бумажным фильтром. Фильтрат собирают в коническую колбу объемом 250 см³.

4. После окончания фильтрования отбирают пипеткой 25-50 см³ фильтрата (в зависимости от предполагаемой степени засоления) и переносят в фарфоровую чашку емкостью 50 – 100 см³, предварительно высушенную в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение трех часов и взвешенную на аналитических весах. Оставшуюся вытяжку используют для качественного анализа.

5. Содержимое чашки выпаривают на водяной или песчаной бане, следя, чтобы жидкость не кипела, и не подгорал образовавшийся сухой остаток.

6. После выпаривания чашку с остатком тщательно вытирают снаружи полотенцем и просушивают в сушильном шкафу в течение трех-четырех часов при температуре 105 °С. Затем чашку охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

7. Сухой остаток вычисляют по формуле:

$$A = \frac{(b - c) \cdot 100 \cdot K_r}{m}, \quad (31)$$

где A – сухой остаток, %;

b – масса чашки с сухим остатком, г;

c – масса пустой чашки, г;

100 – перевод в проценты;

K_r – коэффициент гигроскопичности почвы;

m – навеска почвы, соответствующая объему взятой для выпаривания вытяжки, г.

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий в 1 мм, фарфоровая чашка объемом 50-100 см³, конические колбы объемом 100 и 250 см³, воронки, фильтровальная бумага (обеззоленная), аналитические весы, водяная или песчаная баня, термостат, эксикатор.

5.4.2. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ

Качественный анализ водной вытяжки выполняется для определения качественного состава солей, содержащихся в почве. Так как в водной вытяжке содержатся преимущественно хлориды, сульфаты и карбонаты, то определяют сначала наличие анионов, а затем некоторые катионы.

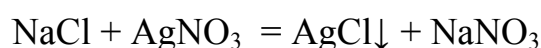
Порядок работы

1. Определение аниона CO₃

2. Растворимые карбонаты представлены в почве главным образом Na₂CO₃ (содой). Присутствие Na₂CO₃ обуславливает щелочную реакцию почвы. Поэтому определение иона CO₃²⁻ производят при помощи фенолфталеина: в щелочной среде он дает розовую окраску. Для определения присутствия CO₃²⁻

в водной вытяжке берут пробирку, наливают в нее немного водной вытяжки и прибавляют 2 капли фенолфталеина. Если вытяжка окрасится в розовый цвет, то анион CO_3^{2-} присутствует в почве. Если вытяжка остается бесцветной, то аниона CO_3^{2-} в почве нет.

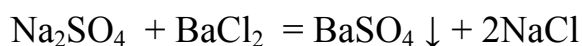
2. Определение аниона Cl^- . Для определения аниона Cl^- берут чистую пробирку, наливают немного водной вытяжки, добавляют 2-3 капли азотной кислоты (для разрушения бикарбонатов, которые с нитратом серебра тоже образуют осадок) и затем добавляют несколько капель раствора нитрата серебра. Если в почве есть хлориды, например, хлорид натрия, то реакция идет по уравнению:



Хлорид серебра выпадает в виде белого творожистого осадка.

3. Определение аниона SO_4^{2-} . В чистую пробирку наливают немного водной вытяжки, подкисляют двумя каплями 10%-ного раствора HCl и прибавляют 2-3 капли 5%-ного раствора BaCl_2 (хлорида бария).

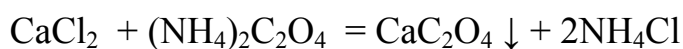
Реакция идет по уравнению:



Образуется белый осадок сульфата бария. Подкисление необходимо для разрушения карбонатов и бикарбонатов бария, так как барий с анионами CO_3^{2-} и HCO_3^- тоже образует труднорастворимые соли, но только в щелочной и нейтральной среде. В кислой среде эти соли растворяются

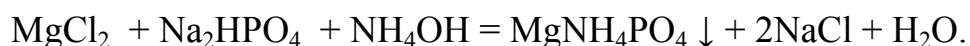
4. Определение катиона Ca^{2+} . Для определения присутствия катиона Ca^{2+} в водной вытяжке, в пробирку с водной вытяжкой добавляют 1-2 капли 10%-ной уксусной кислоты и 2-3 капли 4%-ного раствора оксалата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ и перемешивают.

Реакция идет по уравнению:



Образуется белый мелкокристаллический осадок оксалата кальция.

5. Определение катиона Mg^{2+} . Для определения присутствия в водной вытяжке магния, в пробирку с водной вытяжкой добавляют несколько капель NH_4OH (до запаха аммиака) и 2-3 капли раствора NH_4Cl , а затем 2-3 капли раствора Na_2HPO_4 (гидрофосфата натрия). Гидрофосфат натрия в присутствии NH_4OH и NH_4Cl осаждает из растворов солей магния белый кристаллический осадок фосфата магния-аммония:



6. В засоленных почвах обычно велико содержание катиона Na^+ . При количественных анализах содержание катиона Na^+ часто определяют по разности

между суммой анионов и катионов или на пламенном фотометре, т.к. ион натрия окрашивает пламя газовой горелки в желтый цвет. Качественное определение натрия в водной вытяжке тоже можно произвести по окрашиванию пламени газовой горелки или спиртовки.

Запись в тетради при изучении качественного, состава водной вытяжки ведут по форме табл. 20.

Табл. 20. Результаты качественного анализа водной вытяжки

№№ раз- реза	Глубина отбора образца в см	Анионы			Катионы		
		CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+

Оборудование: стеклянные пробирки, капельницы, газовые горелки или спиртовки.

Реактивы: фенолфталеин, азотная кислота (конц.), 0,1 н. раствор нитрата серебра, 10%-ный раствор соляной кислоты, 5%-ный раствор хлорида бария, 10%-ный раствор уксусной кислоты, 4%-ный раствор оксалата аммония, 25%-ный раствор аммиака, раствор гидрофосфата натрия.

Приготовление растворов:

Приготовление 0,1 н. раствора нитрата серебра. 1,7 г AgNO_3 растворить дистиллированной водой, доведя раствор до метки в колбе на 100 см³.

5.4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТОВ АЦИДИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ацидиметрический метод определения содержания карбонатов в почве основан на их разрушении раствором соляной кислоты с последующим титрованием его остатка раствором гидроксида натрия.

Порядок работы

1. Навеску почвы (измельченной и пропущенной через сито с диаметром отверстий 1 мм) массой 0,5 г помещают в коническую колбу емкостью 100 см³ и заливают из бюретки 25 см³ 0,5 н. раствора HCl .

2. В другую колбу наливают также 25 см³ 0,5 н. раствора HCl , но без почвы, для «холостого» определения.

3. Закрыв колбы воронками, на электрической плитке быстро доводят содержимое до кипения и умеренно кипятят в течение 5 минут.

4. Охлаждают (можно в емкости с водой), проводят предварительное титрование HCl «холостой» пробы 0,5 н. раствором гидроксида натрия, затем оттитровывают избыток HCl в колбе с почвой. В качестве индикатора используют фенолфталеин.

5. Содержание карбонатов (в пересчете на CO_2) определяют по формуле:

$$CO_2, \% = \frac{(V_0 - V_1) \cdot 0,5 \cdot 0,022 \cdot 100 \cdot K_G}{m}, \quad (32)$$

где V_0 – объем 0,5 н. раствора гидроксида натрия, пошедший на титрование «холостой» пробы, см³;

V_1 – объем 0,5 н. раствора гидроксида натрия, пошедший на титрование остатка соляной кислоты, см³;

0,5 – концентрация раствора (нормальность) раствора гидроксида натрия;

0,022 – коэффициент перевода на количество CO₂, эквивалентное 1 мл 0,5 н раствора HCl, г;

100 – коэффициент перевода в проценты;

K_G – коэффициент гигроскопичности почвы;

m – навеска почвы, г.

Если требуется определение общего содержания карбонатов, то расчет ведут по формуле:

$$MeCO_3, \% = CO_2, \% \cdot 2,274$$

Оборудование: фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, технические весы, конические колбы объемом 100 см³, маленькие воронки диаметром 2-3 см, электрическая плитка, бюретка объемом 50 см³, штатив лабораторный.

Реактивы: 0,5 н. раствор соляной кислоты, 0,5 н. раствор гидроксида натрия, фенолфталеин.

Приготовление растворов:

1) Приготовление 0,5 н. раствора соляной кислоты: 41 см³ раствора концентрированной HCl (плотностью 1,19) довести до 1 дм³ дистиллированной водой;

2) Приготовление 0,5 н. раствора гидроксида натрия: 20,0 г реактива растворить в мерной колбе на 1 дм³ дистиллированной водой, освобожденной от CO₂ (кипячение 30 мин).

Задание:

1. В предложенном образце из какого-либо горизонта засоленной почвы определить содержание сухого остатка и степень засоления.

2. Провести качественный анализ водной вытяжки и определить тип засоления.

3. Получив данные у других студентов, построить диаграмму профильного распределения содержания сухого остатка в анализируемой почве. Проанализировать профильное распределение солей.

4. Определить содержание CO₂ карбонатов в почве ацидиметрическим методом.

5. Сопоставив содержание карбонатов в горизонтах почвы с материнской породой, сделать вывод степени выщелачивания профиля почвы от карбонатов.

Контрольные вопросы

1. Каково почвенно-генетическое, экологическое и хозяйственное значение органического вещества почвы?
2. Назовите источники поступления органического вещества в почву.
3. Назовите основные группы и фракции органического вещества почвы.
4. Каковы различия в свойствах гумусовых веществ?
5. Какие характеристики органического вещества почвы используются при ее агро-экологической оценке?
6. На чем основан метод определения общего содержания органического вещества почвы по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова?
7. Что называется поглотительной способностью почвы?
8. Что такое почвенный поглощающий комплекс?
9. Назовите и охарактеризуйте виды поглотительной способности почвы.
10. Каково значение поглотительной способности почвы для формирования почвенного плодородия?
11. Каково экологическое значение поглотительной способности почвы?
12. Опишите метод определения суммы поглощенных оснований почвы по Каппену-Гильковицу. Что представляют собой поглощенные основания почвы?
13. От каких факторов зависят кислотно-основные свойства почв?
14. Что называют кислотностью почвы?
15. Какие выделяют виды кислотности почвы?
16. Как определяются различные виды кислотности почвы? На каких принципах основаны эти методы определения?
17. Какие меры принимаются для устранения неблагоприятной кислотности почв? На чем они основаны?
18. Что такое щелочность почвы? Назовите виды щелочности почвы?
19. Как устраняется неблагоприятная щелочность почвы?
20. Что называют кислотно-основной буферностью почвы?
21. Как вычисляется степень насыщенности почв основаниями?
22. Как определяется необходимость почв в известковании?
23. Как рассчитывается необходимое для известкования количество карбоната кальция?
24. Назовите природные факторы засоления почв.
25. Назовите антропогенные факторы засоления почв.
26. Какое влияние оказывает засоление почв на благоприятность их агрономических свойств?
27. Как оценивается степень засоленности почв?
28. Назовите основные типы засоления почв.
29. Опишите метод определения общего содержания водорастворимых веществ почвы (сухого остатка).
30. На чем основан ацидиметрический метод определения содержания карбонатов в почве? Опишите ход выполнения анализа почвы с использованием этого метода.

ГЛАВА 6. ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: ПОНЯТИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ, ВИДЫ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ

6.1. Понятие о почвенном экологическом мониторинге

Почвенный экологический мониторинг – система регулярного не ограниченного в пространстве и времени контроля почв, который дает информацию об их состоянии с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза его изменения в будущем [2].

Почвенный мониторинг – одна из важнейших составляющих экологического мониторинга в целом, он направлен на выявление антропогенных изменений почв, которые могут в конечном итоге нанести вред здоровью человека. Особая роль почвенного мониторинга обусловлена тем, что все изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении почвами их экологических функций, следовательно, на состоянии биосферы [2].

Предметом контроля почв являются прежде всего их изменения, вызванные деятельностью человека. Но многие неблагоприятные изменения свойств почвы могут формироваться естественным путем под влиянием природных факторов почвообразования, под влиянием катастрофических явлений в природе. Например, образование засоленных почв может быть следствием импульверизации солей или привноса их с грунтовыми водами. Потери почвенного гумуса могут быть следствием не только распашки или интенсификации земледелия, но и естественной смены биоклиматических условий. Это говорит о сложности вычленения антропогенных последствий изменения контролируемых при мониторинге свойств почв. Имеет значение и то, что в почве в отличие от воздуха атмосферы и вод поверхностных водоемов экологические последствия антропогенного воздействия (например, загрязнения) обычно проявляются позже, но они более устойчивы и сохраняются дольше. Существует необходимость оценивать и долговременные последствия этого воздействия, например, возможность мобилизации загрязняющих веществ в почвах, вследствие чего почва из «депо» загрязняющих веществ может превращаться в их вторичный источник.

Программа мониторинга почв должна содержать перечень определяемых показателей, требования к выбору точек опробования и методов определения показателей, основания для оценки полученных уровней показателей («нормальные уровни показателей») и прогноза их изменения.

6.2. Показатели почвенного экологического мониторинга

Почвенные показатели, отражающие их экологическое состояние, т. е. взаимосвязь с сопредельными средами и влияние на живые организмы, называют *индикаторами мониторинга*. Они информативны также при оценке устойчивости экосистемы в отношении того или иного вида деградации.

К индикаторам почвенного экологического мониторинга предъявляются следующие *требования*:

- информативность в отражении состояния почв как компонента экосистемы;
- чувствительность к смене экологической обстановки;
- доступность методов аналитического определения;
- правильность и воспроизводимость результатов их аналитического определения, обеспечивающих сопоставимость данных.

Выбор почвенных показателей состояния почв зависит прежде всего от вида деградации почв. Имеет значение и природа изменчивости контролируемых свойств почв. При любых видах деградации почвенный мониторинг предполагает определение трех групп показателей:

1) показатели ранней диагностики появления неблагоприятных свойств и почвенных режимов;

2) показатели, характеризующие сезонные или краткосрочные (2–5 лет) изменения свойств почв. Эта группа показателей рекомендуется для оценки текущего состояния почвы, для прогноза урожайности и в связи с необходимостью корректировок для срочного повышения урожая текущего года (проведением поливов, внесением удобрений и т. д.);

3) показатели долгосрочных изменений, проявляющихся в течение 5–10 и более лет, отражающие неблагоприятные тенденции антропогенного изменения свойств почв. Для мониторинга почв, подверженных разным видам деградации, разработаны конкретные показатели, отражающие изменения почв, вызванные каждым из видов деградации.

6.3. Виды почвенного экологического мониторинга

Классификация почвенного экологического мониторинга по видам основана на различиях в сочетании информативных почвенных показателей и масштабов проявления деградации почв [2].

В связи с этим, выделяют две группы видов почвенного мониторинга:

- глобальный мониторинг почв,
- локальный и региональный мониторинг почв.

Глобальный почвенный мониторинг – составная часть глобального мониторинга биосферы, он призван для оценки отражения в состоянии почв экологических последствий дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в связи с опасностью общепланетарного загрязнения биосферы и сопровождающих его процессов глобального уровня (потепление климата).

Назначение **локального и регионального мониторинга** – выявление влияния деградации почв на экосистемы локального и регионального уровней и непосредственно на условия жизни человека в сфере его природопользования. Показатели локального и регионального мониторинга почв не единообразны. Различают специфические, комплексные и универсальные виды локального и регионального почвенного мониторинга.

Специфические виды локального и регионального почвенного мониторинга отличаются тем, что они направлены на выявление последствий деградации прежде всего химических свойств почв, с которыми связано прямое

действие почв на живые организмы (недостаток питания для растений, токсическое действие загрязняющих веществ на живые организмы и передача его по пищевой цепочке). Существенных изменений физических свойств почв, их морфологии при этом может и не наблюдаться (или наблюдаться в крайних степенях их проявления, например, в техногенной пустыне сильно загрязненных и деградированных почв).

Комплексные виды локального и регионального почвенного мониторинга направлены на выявление экологических последствий комплексной деградации почв, в основе которой лежат либо процессы деградации физических свойств почв, которые неизбежно сопровождаются деградацией их химических свойств (опустынивание, выбивание почв), либо начинаются с деградации химических свойств, которая влечет за собой изменения физических свойств (деградация орошаемых почв), что может отражаться и на их морфологических свойствах, на классификационном положении почв.

Универсальные виды локального и регионального почвенного мониторинга позволяют получить интегральную оценку деградации почв, в основе которой лежит либо состояние почвенного микробоценоза, либо производственная оценка качества почв, либо ее «внешний вид сверху», характеризующий большие территории.

Итак, группировка видов почвенного экологического мониторинга выглядит следующим образом:

1. **Виды локального и регионального почвенного экологического мониторинга:**

1.1. *Виды специфического мониторинга почв:*

- а) мониторинг почв, подверженных загрязнению,
- б) мониторинг агрохимический.

1.2. *Виды комплексного мониторинга почв:*

- а) мониторинг опустынивания,
- б) мониторинг пастбищ,
- в) ирригационно-мелиоративный.

1.3. *Виды универсального мониторинга почв:*

- а) контроль микробиологического состояния почв,
- б) контроль качества почв (бонитировка),
- в) дистанционный мониторинг почв.

2. **Глобальный почвенный экологический мониторинг.**

Многие положения почвенного экологического мониторинга разработаны специально для контроля загрязнения почв и не находят практического применения при контроле выполнения почвами других функций.

6.4. Объекты почвенного экологического мониторинга

Объекты наблюдения при проведении почвенного экологического мониторинга должны обеспечить выявление различных видов и уровней неблагоприятных изменений состояния почв, вызванных проживанием людей на земле и всеми видами их хозяйственной деятельности при обязательном учете специ-

фических природных условий, влияющих на последствия антропогенного воздействия.

Объекты наблюдения почвенного экологического мониторинга должны обеспечить возможность оценки изменения состояния антропогенно нарушенных почв в пространстве и времени.

Выбору пробных площадей и точек опробывания должен предшествовать анализ всех антропогенных факторов, способных влиять на состояние почв и экосистемы в целом. Он позволит конкретно выявить специфический характер воздействия этих факторов на почвы и сопредельные среды (уплотнение почв тяжелой техникой, интенсивная эксплуатация почв и утрата почвами элементов питания, загрязнение почв, вод, атмосферы твердыми, жидкими, газообразными отходами и прочее). Такой анализ позволит определить вид планируемого экологического мониторинга, с чем сопряжен перечень показателей состояния почв, определение которых целесообразно для данного вида мониторинга. Тесно взаимосвязаны вид антропогенного воздействия, контролируемые показатели состояния почв, вид почвенного мониторинга и выбор пробных площадей, почвы которых отражают нарушения в экосистеме и их последствия.

При антропогенных воздействиях на экосистему нарушения, вызванные ими, зависят от удаленности от источника воздействия. Часто еще при рекогносцировочном обследовании выявляются зоны интенсивной деградации почв и зоны распространения частично нарушенных почв (почвы буферной зоны). И те и другие должны быть включены в перечень объектов наблюдения. В подавляющем большинстве площади почв буферной зоны значительно превышают площади интенсивно деградированных земель и оценка их состояния при мониторинге необходима.

Перечень пробных площадей при мониторинге почв должен обязательно включать природные аналоги техногенно измененных ландшафтов или ландшафты в минимальной степени измененные антропогенными факторами. Их анализ должен позволить обнаружить все природные факторы, обеспечивающие исходное состояние исследуемых почв, влияние на них рельефа, растительности, почвообразующих пород, климатических условий. Эти факторы влияют и на перераспределение техногенных веществ в конкретных условиях региона. Без «нулевой точки отсчета», которыми служат почвы минимально нарушенных человеком ландшафтов (ненарушенных ландшафтов в настоящее время практически нет), невозможно оценить размер антропогенной деградации почв и ландшафтов в целом. Состояние почв на таких территориях необходимо оценивать при всех видах мониторинга.

Выбранные объекты мониторинга должны быть четко зарегистрированы, нанесены на карту (или карто-схему), что обеспечивает возможность следить за изменением анализируемых показателей во времени.

Таким образом, объектами наблюдения при мониторинге, проводимом на всех уровнях, являются:

- ненарушенные (или минимально нарушенные) природные (заповедные) экосистемы;
- частично трансформированные естественные экосистемы (наиболее распространенные);

- собственно антропогенные, преобразованные человеком техногенные ландшафты, полностью утратившие природные черты, которые можно назвать искусственными (сведена растительность, загрязнены воды, почвы).

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляет почвенный экологический мониторинг?
2. Какова цель почвенного экологического мониторинга?
3. Какие требования предъявляются к индикаторам почвенного экологического мониторинга?
4. Какие почвенные показатели используют для доказательства деградации почв?
5. Какие виды почвенного экологического мониторинга используют для доказательства деградации почв?
6. Отличительные особенности специфических видов локального и регионального почвенного мониторинга.
7. Объекты наблюдения при мониторинге почв.
8. Для каких целей используют комплексные виды почвенного мониторинга?

ГЛАВА 7. СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

7.1. Виды специфического экологического мониторинга загрязненных почв

Виды специфического экологического мониторинга загрязнения почв выделяют по типу контролируемой среды, по дальности и механизмам распространения загрязняющих веществ [2].

В связи со спецификой природных сред различают *биотический и абиотический мониторинг* (Израэль, 1984). В соответствии с закономерностями распространения загрязняющих веществ выделяют уровни мониторинга: *локальный, региональный, глобальный* (Герасимов, 1975).

Локальный мониторинг называют еще *санитарно-гигиеническим или импактным*.

Под санитарным состоянием почв понимается совокупность их физико-химических и биологических свойств, определяющих качество и степень безопасности почв в эпидемическом и гигиеническом отношении. Он направлен на контроль уровня содержания в окружающей среде тех загрязняющих веществ, которые выбрасывает конкретное предприятие. Контролируются в первую очередь природные среды, наиболее чувствительные к данному загрязняющему веществу в реальных условиях. Если отходы сбрасываются в воду – проводится контроль воды, в атмосферу – контроль воздуха. Почвы анализируются в любом случае загрязнения окружающей среды.

Важно как раннее обнаружение экологической опасности, связанной с загрязняющими веществами, так и выявление закономерностей накопления их.

Результаты обследования почв учитываются при установлении уровня загрязнения почв и составлении прогноза опасности для здоровья и условий проживания людей в населенных пунктах, при разработке мероприятий по рекультивации почв, при профилактике заболеваний людей, при разработке технических решений по реабилитации и охране водосборных территорий, при установлении очередности санационных мероприятий и т. д.

В населенных пунктах контроль проводят с учетом их функциональных зон. В первую очередь обследуются почвы территорий повышенного риска воздействия на здоровье населения (почвы окрестностей детских дошкольных, школьных и лечебных учреждений, селитебные территории, зоны санитарной охраны водоемов, питьевого водоснабжения, земли сельхозугодий, рекреационные зоны).

Точки отбора проб почв располагают с учетом розы ветров, рельефа местности, растительного покрова и гидрологических условий, т. е. условий, которые обеспечивают распространение загрязняющих веществ от источника. Вблизи источника частота размещения точек пробоотбора больше (на расстоянии 50, 100, 200, 300 м), с удалением от него частота снижается. При контроле загрязнения почв транспортными магистралями пробные площадки закладывают на придо-

рожных полосах с учетом названных факторов. Пробы отбирают с узких полос длиной 200 – 500 м на расстоянии 0–10, 10–50, 50–100 м от полотна дороги с глубины 0–10 см.

Региональный мониторинг – направлен на оценку влияния на состояние окружающей среды региона всех видов человеческой деятельности (распашка, разведение и вырубка лесов, градостроительство, транспорт, промышленное производство, энергетика, сельское хозяйство, торговая сеть, здравоохранение и пр.).

Региональный мониторинг представляет собой слежение за взаимодействием природы и человека в процессе природопользования. Контроль осуществляется различными службами:

- гидрометеослужбой,
- агрохимслужбой,
- гидрохимической службой,
- лесоустроительной службой,
- сейсмологической и другими службами.

Этот вид мониторинга называют еще *геосистемным*, так как в основу контроля распространения загрязняющих веществ в регионе положены принципы распространения природных химических веществ в геосистеме.

Фоновый мониторинг – обязательный вид мониторинга. Цель его – контроль состояния почв территорий, которые могут служить эталонами окружающей среды, своего рода «нулевыми точками отсчета» при проведении локального и регионального мониторинга.

Фоновое содержание химических элементов в почвах характеризуют разными способами:

1) как содержание химических элементов в датированных погребенных почвах, проанализированных в настоящее время (при этом нужно принимать во внимание изменение природных условий, прежде всего климатических, с которыми могли быть связаны выявленные отличия современного состояния от прежнего, например содержания углеводов);

2) как содержание химических элементов в музейных почвенных образцах с известными датами их отбора и анализа (при этом необходимо сопоставить использованные в настоящем и в прошлом методы анализа);

3) на основе обобщения данных в литературе о прежнем составе почв (учитывая возможности методов их анализа);

4) по составу глубоких почвенных горизонтов (принимая во внимание, что аккумуляция в верхних горизонтах контролируемых веществ может быть связана как с их биогенным накоплением, так и с поступлением из атмосферы).

Более надежная характеристика фонового содержания контролируемых химических веществ в почвах может быть получена при проведении специального обследования фоновых почв. Объектами наблюдения для фонового мониторинга служат почвы, характерные для региона исследования, в минимальной степени подверженные антропогенному воздействию, например почвы в заповедниках или памятниках природы. Однако антропогенное влияние сказывается и на фоновом уровне (табл. 21).

Табл. 21. Антропогенный вклад в загрязнение металлами атмосферы фоновых районов, %

Заповедник	Pb	Cd	V	Mn
Березинский	98	97	80	0
Репетекский	50	68	23	0
Баргузинский	99	98	80	0

Регулярные наблюдения за почвами фоновых территорий позволяют оценить изменение их экологического состояния во времени.

Фоновый мониторинг является подсистемой глобального мониторинга, хотя последний имеет свои специфические задачи.

Глобальный мониторинг – это система контроля за общепланетарным распространением контролируемых, которое происходит за счет дальнего переноса их в атмосфере. Называют этот вид мониторинга также биосферным, так как его результаты характеризуют глобальные изменения состояния живых организмов на планете под влиянием человеческой деятельности.

Глобальный мониторинг проводится в таких же условиях, как и фоновый мониторинг. Различия между этими двумя видами мониторинга состоят в использовании полученных данных. Результаты фонового мониторинга используются как вспомогательные при проведении локального и регионального мониторинга. Глобальный мониторинг направлен на выполнение собственных задач: оценки интенсивности влияния глобального переноса веществ на состояние почв, удаленных от источников загрязнения. Выполняется в заповедниках, получивших от ЮНЕСКО статус биосферных заповедников.

7.2. Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв

При обсуждении особенностей почвы как объекта мониторинга отмечалась необходимость оценки способности почв как защищать от загрязняющих веществ воду и воздух, так и контролировать возможность их влияния на состояние живых организмов. Это служит основанием для выбора показателей состояния почв. При их выборе следует опираться на представления о почвенной системе соединений химических элементов, о свойствах почв, влияющих на нее.

Среди контролируемых показателей состояния почв (индикаторов) различают две группы: биохимические и педохимические показатели.

К биохимическим относят показатели, характеризующие аккумуляцию в почвах самих загрязняющих веществ и возможность их непосредственного негативного влияния на живые организмы.

К педохимическим показателям относят те свойства почв, изменение которых может быть вызвано загрязняющими веществами и которые могут косвенно отрицательно влиять на живые организмы.

Биохимические показатели состояния почв

К этой группе относят следующие показатели:

а) общее содержание загрязняющих веществ,

б) содержание соединений загрязняющих веществ, обладающих как реальной подвижностью (вещества в почвенных растворах, в лизиметрических водах, в вытяжках, имитирующих состав тех и других), так и непосредственно связанных с ними потенциально подвижных соединений этих же веществ в составе твердых фаз почвы. Содержание последних характеризует способность загрязняющих веществ переходить в вытяжки разбавленных кислот, растворов солей и комплексообразователей.

Показатели общего (валового) содержания в почве контролируемых элементов характеризуют запас в почвах соединений этих элементов природного и техногенного происхождения. Точное определение общего содержания химических элементов в почвах трудоемко, так как требует полного разложения алюмосиликатов, удерживающих значительную часть этих элементов, особенно в незагрязненных почвах (сплавление пробы, разложение кислотами с участием плавиковой кислоты).

При оценке состояния загрязненных почв общее содержание химических элементов является показателем менее информативным, чем, например, при оценке загрязнения воды или воздуха. Это один из исходных показателей, но он не всегда имеет первостепенное значение. Общее содержание химических веществ в почвах - важный показатель для получения первичной оценки состояния почв в ходе проведения локального и регионального мониторинга. Существует достаточно много данных и сводок о природном уровне общего содержания разных химических элементов (Hg, Pb, Cd, As, Zn, Си и др.) в почвах мира, в верхних горизонтах почв России разных типов. Установлены особенности регионального фонового содержания многих элементов. Выявлены закономерности изменения этого уровня в зависимости от гранулометрического состава и гумусированности почв, от их реакции, от содержания элементов в почвообразующих породах, геоморфологического положения почв и других факторов. Анализ загрязненных почв позволяет оценить вклад техногенных факторов, таких как расстояние от источника загрязнения, состав и свойства отходов, содержащих загрязняющие вещества.

С расширением экологического контроля состояния почв все шире стали применять методы определения содержания кислоторастворимых (1н. HCl, 1н. HNO₃) соединений контролируемых элементов. Нередко им стали присваивать название «условно-валовое содержание химических элементов». Применение в качестве реагентов разбавленных растворов минеральных кислот не обеспечивает полного разложения пробы, но позволяет перевести в раствор основную часть соединений химических элементов техногенного происхождения.

К подвижным формам химических элементов относятся компоненты гетерогенной почвенной системы соединений химических элементов, а именно вещества почвенного раствора, а также соединения, входящие в состав твердых фаз почвы, которые находятся в состоянии динамического равновесия с химическими элементами почвенного раствора. Удерживаются они твердыми фазами почв в результате реакций сорбции-десорбции, осаждения-растворения, ионного обмена, комплексообразования.

Реальную подвижность химических элементов в почвах характеризует их содержание в почвенном растворе или в составе вытяжек, когда в качестве экстрагента применяются слабо солевые растворы, с ионной силой, близкой к ионной силе природных почвенных растворов:

ППР (0,01-0,05 М CaCl₂, Ca(NO₃)₂, KNO₃).

Содержание подвижных соединений контролируемых элементов в составе твердых фаз почвы характеризует потенциальную опасность этих веществ для экосистемы, способность веществ переходить из почв в растения, в почвенные и грунтовые воды. Содержание потенциально подвижных соединений контролируемых элементов в почвах определяют преимущественно в вытяжке 1н. NH₄CH₃COO при разных значениях рН. Используют этот экстрагент и с добавлением комплексообразователей (0,02- 1,0 М ЭДТА), а также смесь комплексообразователей, например, 0,005 М раствор ДТПА + 0,1 М ТЕАБ. Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом предложены (1963) для некарбонатных почв индивидуальные экстрагенты подвижных соединений микроэлементов (Си, Zn, Mn, Со, В, Мо), но в настоящее время они почти не применяются.

Результаты диагностики состояния почв с помощью этих показателей свидетельствуют об их информативности. Многочисленные данные показывают, что при загрязнении различных ландшафтов общее содержание металлов и содержание их подвижных соединений в почвах повышается на порядки.

Для анализа чаще всего используют верхние слои почвы (0–2, 0–5, 0–10 см). Предметом анализа является также распределение загрязняющих веществ в почвенном профиле. Верхние горизонты почв играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы. Эффективность этого барьера зависит от свойств почв и от природы самого вещества, его способности поглощаться почвой. В условиях промывного режима загрязняющие вещества могут проникать вглубь и накапливаться в иллювиальных горизонтах, которые также служат геохимическими барьерами (табл. 22).

Табл. 22. Содержание соединений меди и никеля в Al-Fe-гумусовых подзолах, мг/кг

Горизонт, см	Общее содержание		1 н. CH ₃ COONH ₄		0,01 н. KNO ₃	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
Фоновые условия						
Ао 0-7	30	137	2,4	3,0	1,7	1,9
Е 7-15	6	19	1,0	1,1	0,7	0,3
Bhfa 15-23	7	30	0,9	1,3	0,6	0,4
BC 23-38	10	32	1,0	0,8	0,7	0,2
С 38-60	9	35	0,8	0,9	0,1	0,1
Техногенные условия						
Ао 0-2	806	1922	462	240	67	96
Е 2-4	16	124	9	7	2	2
Bhfa1 4-8	21	137	28	19	3	1
Bhfa2 8-22	35	149	7	10	2	1
BC 22-40	19	139	2	9	1	1
С 40-50	31	121	0,6	2	0,6	6

Сведения о состоянии загрязненных почв могут быть использованы для сопоставления их с незагрязненными аналогами. Возможно нахождение на их основе производных показателей. Такие показатели вычисляют для общего содержания металлов (неметаллов), для их подвижных форм. Вычисление соотношения содержания химического элемента в загрязненной почве и в незагрязненном аналоге часто используют в качестве относительного показателя загрязнения, или коэффициента накопления.

Педохимические показатели состояния загрязненных почв

Эти показатели состояния почв проявляют связь с соединениями загрязняющих веществ в почвах. Их называют еще косвенными. С одной стороны, свойства почв, которые характеризуют эти показатели, могут изменяться под влиянием загрязняющих веществ и тем самым вызывать ухудшение состояния микроорганизмов и растений. С другой стороны, изменение обсуждаемых химических свойств вызывает в почвах превращения соединений загрязняющих веществ, которые влияют на их токсико-экологические свойства. Если прямые показатели загрязнения информативны при оценке выполнения почвами их защитных функций в экосистеме, то косвенные показатели в большей мере отражают способность почв обеспечивать плодородие.

Контроль косвенных показателей химического загрязнения может быть эффективным как при выявлении деградации почв, так и при характеристике устойчивости почв к загрязнению и прогнозе последствий загрязнения почв.

К педохимическим показателям относятся показатели важнейших химических свойств почв:

- показатели гумусного состояния почв,
- кислотно-основные свойства,
- катионно-обменные свойства,
- в отдельных случаях окислительно-восстановительные свойства почв.

Изменение гумусного состояния загрязненных почв по сравнению с незагрязненными почвами непосредственно связано с ухудшением состояния микробоценоза, что может приводить к ослаблению разложения органических остатков и к их накоплению, к снижению скорости минерализации гумуса. Вследствие изменившихся процессов трансформации органических веществ в почве меняется их групповой и фракционный состав. Например, в загрязненных дерново-подзолистых почвах по сравнению с аналогичными фоновыми наблюдается повышение количества фульвокислот и снижение содержания свободных гуминовых кислот и водорастворимых органических веществ, а в составе водорастворимых соединений — уменьшение содержания углеводов. Есть данные о понижении общего содержания углерода подзолистых почв при загрязнении металлами (предположительно за счет увеличения миграции органоминеральных веществ).

В почвах, загрязненных нефтью, наблюдается увеличение общего содержания органического углерода, относительное уменьшение количеств гуминовых и фульвокислот, возрастание содержания нерастворимого остатка. Загрязнение нефтью или металлами ведет к уменьшению подвижности соединений

азота, что является следствием падения интенсивности биохимических процессов.

Вследствие загрязнения почв металлами и неметаллами в них меняется состав обменных катионов: увеличивается доля ионов металлов, снижается содержание обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , чему могут способствовать не только поглощенные металлы, но и протон, и ионы алюминия. Вследствие изменения гумусного состояния возможно уменьшение ЕКО. Примером является снижение ЕКО в черноземах, загрязненных газо-пылевыми выбросами медного комбината, уменьшение содержания обменных ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , изменение степени насыщенности ППК основаниями. В почвах нефтегазоносных райнов, напротив, появились легкорастворимые соли, увеличился рН почвенного раствора, а в составе ППК повысилась доля обменного натрия.

С загрязнением почв может быть связано изменение их кислотно-основных свойств. Причиной могут быть кислотные осадки, действие которых на биосферу проявляется в глобальном масштабе. Возрастает объем выбросов оксидов серы и азота. Увеличение содержания сульфатов в осадках до 4-15 мг/л вызывает закисление осадков. Уровень рН осадков, в естественных условиях равный 5 и более, в техногенной зоне снижается до 4,2 - 4,5.

Подкисление почв может быть вызвано поступлением оксидов металлов и их кислотного гидролиза, внесением физиологически кислых удобрений. Повышение рН в техногенных почвах может происходить вследствие загрязнения их боратами, фторидами, сульфидами. За счет этих процессов меняются уровни рН H_2O , рН КСl, обменной и гидролитической кислотности.

Изменение кислотно-основных условий существенно меняет многие химические процессы в почве:

1. В почвах меняется структура кислотности. В естественных почвах лесной зоны в органогенных горизонтах кислотность обусловлена органическими кислотами, преимущественно фульвокислотами, в минеральных горизонтах велико влияние на кислотность соединений алюминия. Техногенное подкисление почв ведет к увеличению доли минеральных кислот по сравнению с органическими. В сильно кислых почвах, как правило, изменяется соотношение ионов, обуславливающих кислотные свойства. Среди соединений алюминия мономеры Al^{3+} начинают преобладать над связанными формами алюминия (гидроксокомплексами, сульфатными комплексами и другими).

2. Подкисление ведет к изменению подвижности многих химических элементов, в том числе типоморфных элементов, элементов питания, самих загрязняющих веществ:

а) подкисление ведет к накоплению аморфных форм Al и Fe, которое происходит за счет высвобождения Fe и Al из структуры алюмосиликатов, выпадения их в осадок в форме коллоидов и аморфных соединений высокой степени дисперсности. Возможно также преобразование ранее окристаллизованных форм в аморфные несиликатные соединения Fe и Al;

б) происходит изменение подвижности элементов питания растений за счет повышения растворимости соединений, содержащих азот, фосфор, калий.

Например, подкисление почв ведет к росту доступности растениями фосфатных удобрений;

в) изменение мобилизации соединений металлов и неметаллов.

3. Кислотность почвенного раствора влияет на формирование подвижных соединений поллютантов. От кислотности раствора зависят форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе, заряд коллоидных частиц, на поверхности которых происходит поглощение загрязняющих веществ, растворимость осадков соединений поллютантов.

4. Форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе являются важными факторами, обуславливающими и количество поглощенных почвенными частицами ионов, и прочность их фиксации. В кислой среде относительно выше доля свободных ионов металлов Cu^{2+} и Zn^{2+} , с увеличением pH растет доля гидрокомплексов, которые поглощаются твердыми фазами (в том числе и за счет ионного обмена) менее прочно, чем свободные ионы. Что касается многоосновных кислот, например мышьяковой, молибденовой, борной, с ростом pH увеличивается степень их депротонизации.

5. Кислотно-основные условия влияют на поглотительную способность твердых фаз почвы амфолитоидной природы. Это происходит прежде всего потому, что ионизация функциональных групп, обеспечивающих ионный обмен, протекает по-разному, в зависимости от pH. У органических и минеральных коллоидов амфолитоидной природы с увеличением pH растет отрицательный заряд, а с уменьшением pH — положительный заряд. Величина pH - зависимого заряда органических веществ обусловлена присутствием в их составе протеинов, содержащих как кислотные COOH , так и основные NH_2 групп. Заряд оксидов и гидроксидов Fe и Al формируется за счет отдачи или присоединения протона при разных уровнях pH. В результате изменения заряда поверхности белков, несиликатных соединений Fe и Al поглощение поллютантов в анионной форме растет с понижением pH и снижается в щелочной среде, для поллютантов в катионной форме зависимость обратная. Снижение поглощения металлов в кислой среде сопровождается ростом конкуренции протонов за обменные позиции в почвенном поглощающем комплексе.

Например, поглощение дерново-подзолистой почвой пестицида атразина, преимущественно находящегося в почве в форме аниона, при pH 2–5 почти в 20 раз выше, чем при pH 7. Однако не во всех случаях поглощения загрязняющих веществ состав почвенного поглощающего комплекса играет ведущую роль. Например, поглощение арсенат ионов при pH 8,2 превышает его поглощение при pH 4,5 в связи с преобладанием двухзарядных ионов HAsO_4^{2-} над однозарядными и незаряженными. Падение с повышением pH положительного заряда на поверхности почвенных амфолитоидов отстает от роста количеств двухзарядных арсенат ионов в растворе и существенного влияния на поглощение мышьяка не оказывает.

Важные экологические последствия имеют выводы, полученные при исследовании закономерностей поглощения ртути от уровня pH. Установлено, что максимальное количество ртути поглощается при pH 4,5 - 6,5. В этой об-

ласти преобладающей формой являются незаряженные комплексы $\text{Hg}(\text{OH})_2$, которые непрочно удерживаются в процессе физической сорбции.

6. Кислотно-основные условия влияют на растворимость осадков, в состав которых входят загрязняющие вещества. Влияние обусловлено процессами протонизации и комплексообразования, по-разному протекающими в зависимости от pH. Например, повышение pH ведет к увеличению де-протонизации анионов многоосновных кислот, например мышьяковой, и к усилению комплексообразования металлов в растворе.

Изменение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) почв возможно за счет загрязнения органическими веществами, которые влияют на биоту и биологическую активность почв, могут менять водно-воздушный режим почв (например, нефтепродукты).

Итак, для контроля изменения свойств почв в результате загрязнения рекомендуется перечень следующих косвенных показателей загрязнения:

- кислотно-основные свойства (pH H_2O , pH КС1, обменная, гидролитическая кислотность);
- содержание подвижных соединений P, N, K;
- показатели ферментативной активности;
- показатели гумусного состояния почв (общее содержание гумуса, групповой состав, водорастворимые вещества);
- ионообменные свойства (ЕКО, состав обменных катионов),
- содержание легкорастворимых солей,
- окислительно-восстановительный потенциал почв.

7.3. Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв

Принципы выбора точек пробоотбора на фоновой и загрязненной территории различаются. **На фоновой территории** местоположение тестовых участков определяют в зависимости от ландшафтных особенностей района, для чего проводится рекогносцировочное обследование территории. При этом выявляются тип почвообразующих пород, рельефа, растительности, тип почвообразования. На начальной стадии могут быть выявлены местные геохимические аномалии по загрязняющим веществам, связанные с рудопроявлением. Количество и расположение таких тестовых участков зависит от ландшафтно-геохимических и почвенных особенностей территории. Характер миграции элементов определяется родом геохимического ландшафта. Наиболее распространены следующие три рода:

1-й род – плоские равнины с замедленным водообменом, слабым эрозийным расчленением или без него. Это приморские низменности, аллювиальные равнины, вулканические и другие плато.

2-й род – чередование плоских поверхностей со склонами. При этом поверхностный и подземный сток более энергичен. Это эрозионные возвышенности, расчлененные плато.

3-й род – склоновые участки, плоских поверхностей почти нет. Характеризуются энергичным водообменом. Горный и сильно холмистый рельеф.

Для ландшафтов 1-го рода как в гумидных, так и в аридных условиях, при отсутствии выраженных зон аккумуляции элементов, обусловленных рельефом, местоположение участка зависит только от свойств почвы. Анализу подлежат почвы, обладающие различной буферной способностью к загрязнению.

Для ландшафтов 2-го и 3-го родов выбор зон для тестовых участков определяется ландшафтно-геохимическими условиями. Тестовые участки располагаются и в аккумулятивном, и элювиальном ландшафтах. К элювиальным ландшафтам приурочен контрольный тестовый участок. Содержание поллютантов в почвах аккумулятивных ландшафтов свидетельствует об их миграции в данных условиях.

На загрязненной территории точки для отбора проб почв размещают на разном расстоянии от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Частота размещения точек опробования больше вблизи источника загрязнения (50, 100, 200, 300 м) и сокращается по мере удаления. Форма ареала обследования не является кругом, а представляет собой неправильную фигуру, вытянутую по розе ветров. При выборе точек опробования принимают во внимание категорию сложности организации ландшафта и структуру почвенного покрова так, как это учитывается при почвенном картировании.

На тестовых участках проводятся регулярные и периодические наблюдения. На основе многолетних исследований установлено, что повторное определение подвижных форм контролируемых элементов целесообразно проводить через несколько лет (1–5). Периодичность определяется степенью промышленной освоенности территории, удаленностью от крупных загрязняющих объектов, особенностями контролируемого элемента.

7.4. Экологическое нормирование качества загрязненных почв

Задачей экологического мониторинга является **оценка состояния окружающей среды на основе регулярных наблюдений**. «Ценой» при этом являются нормативы качества окружающей среды. Цель экологического нормирования – сохранение экосистемы, ее структуры и функционирования. Подходы к оценке качества окружающей среды (в том числе почв) разнятся. Одни имеют четкую антропоцентристскую направленность, то есть за «нормальную» принимается среда, обеспечивающая требуемое качество жизни человека. Согласно экосистемным подходам, «нормальной» следует считать такую экосистему, в которой значимые антропогенные нарушения отсутствуют во всех звеньях экосистемы. Это служит гарантией обеспечения сохранения живых организмов и жизни человека. Санитарно-гигиеническое нормирование состояния почв – яркий пример антропоцентристского подхода, экологическое нормирование – пример экосистемного подхода.

Санитарно-гигиеническое нормирование содержания в почвах загрязняющих веществ

При санитарно-гигиеническом нормировании состояния окружающей среды под «нормой» понимается такое состояние окружающей среды, которое не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека.

Санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды служат **предельно допустимые количества (ПДК) химических веществ** в объектах окружающей среды.

ПДК соответствуют максимальному содержанию химического вещества в природных объектах, которое не вызывает негативного (прямого или косвенного) влияния на здоровье человека (включая отдаленные последствия). Гигиена – раздел практической медицины, изучающей влияние внешней среды на здоровье человека. Санитария – практическая сторона гигиенического направления медицины.

Предполагается, что предельно допустимые количества (ПДК) химических элементов в воде, воздухе, почве, кормах, сельскохозяйственных продуктах не представляют опасности для человека, а среда, отвечающая санитарно-гигиеническим нормам, не ухудшает здоровья человека, как одного из видов живых организмов.

Начало определению ПДК химических веществ в нашей стране положено определением ПДК загрязняющих веществ в воздухе рабочих помещений в **1925 году**.

В 1949 году были определены первые ПДК для атмосферного воздуха, в **1950-м** – для воды.

К 1971 году перечень контролируемых веществ в воздухе составлял 120 наименований.

В 1989 году были разработаны ПДК более чем для 300 химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, и почти 1000 нормативов для вод, используемых с различными целями.

Для почв разработаны ПДК по значительно меньшему числу химических веществ (около 30). После начала перестройки в РФ определение ПДК химических веществ в природных средах приостановлено.

Практическое определение ПДК химических веществ в почвах и других природных средах проводится в лабораторных условиях путем выявления взаимосвязи между состоянием живых организмов и содержанием химических веществ в окружающей их среде (воде, воздухе, пище). Эксперимент ведется по типу: «доза – эффект», т. е. прослеживается изменение состояния опытных растений и животных при меняющемся уровне содержания различных химических веществ в среде.

Установлен общий вид зависимости между состоянием любых организмов (растения, животные) и концентрацией различных веществ в окружающей их среде. Всегда существует зона оптимального содержания химических веществ в окружающей среде, обеспечивающего наиболее благоприятные условия для живых организмов. При отклонении от этой оптимальной области содержания химических веществ в сторону снижения содержания этих веществ (недостаточность элементов, обеднение ими среды) или в сторону повышения

(избыточность элементов, в том числе загрязнение ими среды) всегда наблюдается нарушение и ухудшение состояния организмов, вплоть до их гибели.

Основным токсикологическим показателем является **общий санитарный показатель**, в качестве которого используется параметр ЛД 50 – доза химического вещества, которая вызывает гибель 50 % подопытных животных. По полуметальной дозе вещества в воздухе, которым дышат животные, в воде и пище, которую они потребляют, определяют допустимое для живых организмов содержание веществ соответственно в воде, воздухе, продуктах питания.

Но с почвой прямые контакты человека несущественны или не имеют места вообще. Контакт почвы с организмом человека происходит опосредованно по цепочкам:

- почва – растение – человек;
- почва – растение – животное – человек;
- почва – воздух – человек;
- почва – вода – человек.

Определение ПДК химических веществ в почвах фактически сводится к экспериментальному определению способности этих веществ поддерживать допустимую для живых организмов концентрацию веществ в контактирующих с почвой воде, воздухе, растениях.

Именно поэтому ПДК химических веществ для почв устанавливается не только по общесанитарному показателю, как это принято для других природных сред, а еще и по трем другим показателям: транслокационному, миграционному водному и миграционному воздушному (табл. 23).

Табл. 23. Предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах (мг/кг)

Элемент	Кларк почв (Виноградов, 1962)	ПДК	Показатель вредности			
			общесанитарный	транслокационный	миграционный водный	миграционный воздушный
Общее содержание						
Mn	800	1500	1500	3500	1500	-
V	100	120	150	170	350	-
Pb	100	32	30	35	260	-
Hg	0,01	2,1	0,5	2,1	33	2,5
Подвижные соединения						
F	200	2		2		-
Cu	20	3	3	3,5	72	-
Ni	40	4	4	4	14	-
Zn	50	23	37	93	200	-
Co	8	5	5	25	1000	-
Cr	200	6	6	-	-	-

Транслокационный показатель определяют по способности почв обеспечивать содержание химических веществ на допустимом уровне в растениях (тест культурами служат редис, салат, горох, фасоль, капуста и др.). Соответственно миграционный водный и миграционный воздушный – по способности

обеспечивать содержание этих веществ в воде и в воздухе не выше ПДК. В качестве объекта лабораторного исследования использовали образец верхнего горизонта дерново-подзолистой почвы.

Норматив для почв устанавливается по наименьшему из всех экспериментально найденных показателей. Например, для общего содержания ванадия в почве установлен уровень ПДК, равный 150 мг/кг, в то время как этому уровню соответствует только общесанитарный показатель, а водный миграционный равен 350 мг/кг почвы. ПДК содержания подвижных соединений цинка в почве измеряется 23 мг/кг, этот уровень установлен по общесанитарному показателю, при этом миграционный водный показатель равен 200 мг/кг.

Уровни ПДК, установленные по разным показателям, отражают как токсичность химических веществ, так и доминирующий механизм их распространения в природных средах. Например, для бенз(а)пирена и ртути лимитирующим показателем является общесанитарный, для мышьяка – транслокационный, для хлористого калия – водный, для сероводорода – воздушный (табл. 24).

Табл. 24. ПДК химических веществ в почвах (мг/кг) и их лимитирующие показатели

Вещество	ПДК(общее содержание)	Лимитирующий показатель
Бенз(а)пирен	0,02	Общесанитарный
Ксилол	0,3	Транслокационный
Ртуть	2,1	Транслокационный
Свинец	32	Общесанитарный
Сероводород	0,4	Воздушный миграционный
Формальдегид	7,0	Воздушный миграционный
Стирол	0,1	Воздушный миграционный

Однако санитарно-гигиенические нормативы качества почв не лишены недостатков; основной состоит в том, что условия модельного эксперимента определения ПДК и естественные условия разнятся довольно существенно.

Назовем некоторые из них.

1. Существует неопределенность в определении понятия ПДК химических веществ для почв. Оно характеризует ПДК, как ту концентрацию вещества в почве, которая безопасна для живых организмов. Но критерии отрицательного влияния на них химических веществ не определены.

2. Не учтено время воздействия поллютанта. Эксперимент по определению ПДК длится, как правило, не более года, но этого срока недостаточно для того, чтобы оценить отдаленные последствия влияния химических веществ на живые организмы. Чем более долгим был контакт вещества с организмом, тем ниже будет отклик организма.

3. При установлении ПДК моделируется действие на живые организмы, как правило, одного фактора, в крайнем случае двух или трех. Но в реальных условиях организм подвергается комплексному воздействию ряда факторов, совместное действие которых во внимание не принимается.

4. Выводы, полученные на основании опытов с животными, переносятся без полного основания на человека. Но низшие животные (особенно крысы, мыши)

более устойчивы к факторам внешней среды, чем люди. Перенесение результатов, полученных на таких животных, на человека недостаточно обоснованно и неадекватно.

5. Как правило, не учитываются генетические последствия, возможность сохранения нарушений в живых организмах под влиянием химических веществ. Не учитываются индивидуальная, наследственная и видовая чувствительность организмов, их адаптационные возможности, биологические ритмы.

6. ПДК для почв несут в себе все погрешности определения ПДК для других природных сред. Например, при разработке ПДК для вод учитывается влияние только истинно растворимой фракции этих веществ, а не всех возможных форм их нахождения (взвеси, коллоиды).

7. Не учтено, что многие поллютанты, например, тяжелые металлы, пестициды, обладают кумулятивным эффектом. Не учитывается способность химических веществ концентрироваться в трофической цепи. Химические вещества концентрируются в организме человека в большей мере, чем в организме животных, а те, в свою очередь, в большей мере, чем в растениях. А это значит, что в тех случаях, когда уровни ПДК химических веществ в низших звеньях трофической цепочки не достигнуты, не исключается возможность их накопления на более высоких уровнях (и соответственно превышение ПДК).

8. Не учитывается возможность трансформации химических веществ, их накопления на различных биогеохимических барьерах.

9. Не учитывается взаимодействие химических веществ. При различных видах взаимодействия (аддитивность, антагонизм, синергизм) возможно образование структур более опасных, чем исходные соединения.

10. Не оценивается в полной мере качество природных сред в целом, например, при разработке нормативов для воды учитывается воздействие любого вещества на воду, используемую в определенных целях (питьевых, рыбохозяйственных, технических, рекреационных), но не рассматривается влияние этих веществ на воду как целостную природную систему, как природный ресурс.

11. Не учитываются свойства почвы. Но влияние сорбционной способности почв, содержания гумуса, кислотно-основных условий, гранулометрического состава обуславливает способность почв к самоочищению. Следствием невнимания к свойствам почв является неприемлемый для использования уровень ПДК мышьяка в почвах. Этот показатель был установлен первым при разработке ПДК для почв, когда гигиенисты использовали в работе не образец почвы, а чистый песок, обладающий минимальной поглотительной способностью. В результате был установлен такой уровень ПДК мышьяка, который ниже уровня содержания элемента в большинстве почв.

Одним из этапов решения проблемы экологического нормирования был подход, основанный на определении допустимой нагрузки на почву с учетом ее буферных свойств, обеспечивающих способность почвы ограничивать подвижность поступающих извне химических веществ, способность к самоочищению. Такие подходы развиваются в России и в других странах.

Однако разработать ПДК для каждого типа почв невозможно. Целесообразна разработка нормативов химических веществ для почвенно-геохимических

ассоциаций, объединенных общностью основных физико-химических свойств, определяющих их устойчивость к химическому загрязнению.

На следующем этапе для ряда химических элементов были разработаны ОДК (ориентировочно допустимые количества) этих элементов для почв, различающихся по важнейшим свойствам (по кислотности и гранулометрическому составу). Они были разработаны не на основе стандартизованного экспериментального метода, а на основе обобщения имеющихся сведений о взаимосвязи между уровнем нагрузки на почвы, состоянием почв и сопредельных сред.

В основу группировки почв по устойчивости к тяжелым металлам в первую очередь положены кислотно-щелочные условия, господствующие в тех или иных почвах. Для группировки почв было принято во внимание распространение основных геохимических ассоциаций почв на территории России. Наибольшую площадь распространения имеют геохимические ассоциации почв с кислой и нейтральной реакцией среды с подразделением на две группы:

- почвы с очень кислой и кислой реакцией (рН водной вытяжки <5);
- почвы со слабокислой и нейтральной средой (рН 5-7).

В эти две ассоциации, занимающие 60 – 70 % площади России, войдут практически все подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные и часть черноземов, включая их окультуренные варианты. Важен учет гранулометрического состава почв, особенно для почв первой группы. Поэтому почвы этой группы были разбиты на две подгруппы по гранулометрическому составу:

- а) песчаные и супесчаные почвы, обладающие наименьшей устойчивостью к загрязнению;
- б) суглинистые и глинистые почвы, относительно более устойчивые к загрязнению химическими веществами.

По этому принципу в нашей стране были определены ориентировочно допустимые количества (ОДК) химических элементов в почвах (табл. 25). Отличие их от зарубежных в том, что они рассчитаны с учетом фонового содержания и дифференцированы в зависимости от реакции и гранулометрического состава почв.

Табл. 25. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (общее содержание мг/кг) [2]

Группы почв	Ni	Сi	Zn	As	Cd	Pb
а) песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
б) кислые суглинистые и глинистые, рН КС1 <5,5	40	66	110	5	1,0	65
в) близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КС1 >5,5	80	120	220	10	2,0	130

Уровни ОДК для одного и того же элемента для почв с разными свойствами различаются в 4 – 5 раз.

Наиболее опасны ксенобиотики – вещества искусственной природы. Отдаленные последствия их воздействия на живые организмы неизвестны. Характер влияния искусственных токсикантов на живые организмы отличается от действия веществ, являющихся естественными составляющими почв, тем, что при изменении концентрации таких веществ во внешней среде в живых организмах не обнаруживаются области стимулирования. Любые концентрации этих веществ в окружающей среде ведут к патологии. Скорость синтеза и выпуска многих из таких веществ, например пестицидов, выше скорости их нормирования. Пестицидов используется в настоящее время свыше 1000 наименований, не для всех из них есть ПДК.

При несовершенстве санитарно-гигиенических нормативов для содержания химических элементов в почвах, следует признать, что подходы и методы их определения имеют экологическую направленность. Эти подходы опираются на роль и механизмы связи почвы с другими природными средами.

Биогеохимическое нормирование

В основе биогеохимического нормирования лежит медико-географический подход. Он основан на натуральных наблюдениях в таких регионах, где самой природой созданы условия избытка или недостатка тех или иных химических элементов естественного происхождения в природных средах. Эти регионы называются биогеохимическими провинциями, и результаты регулярных наблюдений в них за состоянием живых организмов, в том числе и за здоровьем людей, позволяют установить связь их с содержанием элементов в природных средах.

Ценность этого подхода – в опоре на фактический, а не экспериментальный материал. Теоретическая основа здесь совершенно иная, чем при санитарно-гигиеническом нормировании. Предполагается, что каждому биогеохимическому таксону (ландшафту, экотопу) соответствует четкая взаимосвязь и взаимообусловленность пищевых цепей, которая складывалась длительное время. Она адаптирована к природным специфическим условиям, с которыми связаны миграция и аккумуляция любых химических веществ. Живые организмы реализовали все природные механизмы сопротивления внешнему воздействию, их состояние соответствует химическому составу окружающей среды.

На вероятностной основе определяются верхние и нижние границы, в рамках которых состояние большинства живых организмов (животных, растений, человека) в зонах биогеохимических провинций не отклоняются от нормы, т. е. где осуществляется саморегуляция системы. Но, как правило, 5 — 20 % людей или животных в эндемических районах оказываются пораженными. Чем больше содержание химических элементов превышает пороговые уровни, тем выше число пострадавших. Процесс естественного отбора при этом обостряется.

Выявлена связь между недостатком или избытком ряда элементов в природных средах и состоянием живых организмов, например, кобальтом и

синтезом витамина В₁₂ и, как следствие, анемией при анокальтозе; Рb, Нg, Мо – и интоксикацией; F – флюорозом и другими костными заболеваниями; Си, Zn, Mn, В – и хлорозом многих видов растений; Си – и суховершинностью растений; В – и эндемическими энтеритами; I – и эндемическим зобом; Sr – и особыми формами рахита; Ni – и кожными заболеваниями; Se – и мышечной болезнью животных. Таким образом, состояние живых организмов в зоне биогеохимических провинций служит индикатором уровня содержания химических элементов в окружающей среде.

На основе этой концепции разработаны методы биогеохимического экологического нормирования. В результате вся территория страны разделена на БГХ зоны:

- таежно-лесную нечерноземную;
- лесостепную и степную черноземную;
- сухостепную;
- полупустынную и пустынную;
- горную.

Каждая из зон неоднородна, мозаична. В ней могут быть выделены биогеохимические провинции с различным уровнем содержания в природных средах химических веществ. Особенно отличаются биогеохимические провинции над рудными телами. Такое районирование позволило связать биологическую реакцию организмов, их адаптацию с природными факторами, с количественными показателями состава почвообразующих пород, почв, вод, растительного покрова.

Для выделенных провинций проведен анализ экологических параметров. В биогеохимических провинциях, для которых характерно недостаточное или избыточное по сравнению со средним содержание химических элементов в природных средах, выявлена связь между состоянием живых организмов и составом компонентов окружающей среды. Определены те концентрации химических элементов в почвах, водах, растениях, выше и ниже которых нарушаются обменные процессы в живых организмах.

На основе биогеохимического районирования установлены пороговые концентрации ряда химических элементов в почвах (табл. 26).

Табл. 26. Пороговые концентрации некоторых химических элементов в почвах, мг/кг (по Ковальскому, 1964) [2]

Элемент	Нормальное содержание	Нижняя граница пороговой концентрации	Верхняя граница пороговой концентрации
Со	7-30	2-7	>30
Си	15-60	6-15	>60
Мп	400-3000	<400	>3000
Zn	30-70	<30	>70
В	6-30	6-30	>30
Мо	1,5-4	>1,5	>4
Sr	600	?	600-1000
J	5-40	2-5	>40

Проверкой эффективности используемого подхода может быть реакция живых организмов на исправление установленного дефицита добавкой дефицитного элемента. Например, введение селенита животным из биогеохимической провинции не вызывало никаких отрицательных последствий, а введение животным из фоновых районов вело к нарушениям их состояния.

Нормирование состояния загрязненных почв на основе концепции экологического риска

В связи с повышением числа катастроф природного и техногенного характера во всем мире повышается внимание к оценке риска, угрозы жизни человека, в том числе экологического риска.

Риск от химического загрязнения почв – это нежелательные для человека и почв последствия антропогенной деятельности, которые могут произойти с определенной долей вероятности [10].

Понятие экологического риска связано с понятием опасности, крайней степенью проявления которой является экологическая катастрофа.

Оценка экологического риска для определенного ландшафта вследствие загрязнения почв любыми химическими веществами проводится на основе сведений о реальной нагрузке загрязняющих веществ на почвы, их миграции в ландшафте и учете устойчивости почв к загрязнению [2].

При этом принимаются во внимание следующие *факторы, характеризующие исследуемый ландшафт*:

1) **тип почв** – характеризует кислотно-щелочные условия, содержание и тип гумуса, численность и видовой состав микрофлоры;

2) **гранулометрический состав** – характеризует почвенную поглощательную способность, содержание физической глины и песка;

3) **положение в рельефе** – характеризует степень геохимической подчиненности почв в ландшафте, т. е. интенсивность и направленность процессов рассеивания и аккумуляции загрязняющих веществ;

4) **водный режим почв** – характеризует соотношение количества осадков и испаряемости;

5) **тип растительности** – характеризует биологический фактор, оказывающий влияние на степень **подвижности загрязняющих веществ**;

6) **почвообразующие породы** – характеризуют направление и скорость почвообразовательного процесса.

Негативный эффект влияния повышенной нагрузки на почвы оценивается по реакции чувствительных живых организмов. Чаще всего это проводится по реакции чувствительных микроорганизмов почвы.

Для нахождения ориентировочного показателя экологического риска для почвы нужны два показателя:

- показатель общей химической нагрузки загрязняющего вещества (или загрязняющих веществ) на почвенный покров;

- показатель критической нагрузки этих же поллютантов на всю территорию.

Общую химическую нагрузку (кг/га или т/га) находят по массе всех потоков вещества на данную территорию. Основными источниками их на пахотных почвах чаще всего являются атмосферные выпадения и средства химизации.

Под критической нагрузкой понимается максимально безопасное для данного ландшафта количество загрязняющего вещества. Критическую нагрузку находят, принимая во внимание все механизмы трансформации и перераспределения исследуемых веществ на данной территории (вынос из верхнего слоя за счет внутрипочвенной биогенной и абиогенной миграции, поверхностный сток в сопредельные среды и пр.), а также механизмы устойчивости почв данной территории (основываясь на поглонительной способности почв, что справедливо для загрязняющих веществ любой природы, на биотической и абиотической деструкции, что справедливо для органических поллютантов).

Показатель критической нагрузки можно получить разными способами:

а) экспериментально (при полевых наблюдениях, в лабораторных опытах), определив параметры всех процессов, влияющих на поведение исследуемых веществ в данных почвах или привлекая необходимые сведения из различных источников;

б) используя существующие программы, предназначенные для вычисления критических нагрузок конкретных загрязняющих веществ по вышеназванным показателям;

в) по критическому содержанию исследуемых веществ в продуктах растениеводства, выращенных на данных почвах;

г) опираясь на ПДК химических веществ в почвах, переведя их величины из мг/кг массы вещества в кг/га площади исследуемых почв.

Ориентировочный показатель экологического риска для почв можно найти как отношение общей химической нагрузки на почвенный покров к критической нагрузке этих веществ на эту же территорию.

Уровни показателя экологического риска загрязнения почв измеряются величинами, превышающими единицу. Они могут быть классифицированы. Один из примеров такой классификации приведен в табл. 27.

Табл. 27. Классификация риска загрязнения почв (по Овчинниковой, 2003) [2]

Интегральный показатель риска R_j	Категория риска	Вероятность наступления негативных событий	Опасность загрязнения почв
$R_j < 1$	Незначительный	$\rightarrow 0$	Отсутствует
$R_j = 1-10$	Условно допустимый	0,1	Незначительная
$R_j = 10-30$	Условно допустимый	0,2	Очень низкая
$R_j = 30-70$	Условно допустимый	0,3	Низкая
$R_j = 70-100$	Недопустимый	0,4	Умеренная
$R_j = 100-250$	Недопустимый	0,5	Умеренно высокая
$R_j = 250-500$	Недопустимый	0,6	Высокая
$R_j = 500-800$	Недопустимый	0,7	Экстремальная
$R_j = 800-1000$	Недопустимый	0,7-0,9	Предкризисная
$R_j > 1000$	Недопустимый	0,9-1	Кризисная

Нормирование на основе концепции экологического риска имеет прямой выход в практику, так как позволяет учитывать опасность загрязнения почвы при расчете кадастровой стоимости, при этом, чем выше риск загрязнения земель, тем ниже ее стоимость.

Экосистемное нормирование

В настоящее время в подходах к нормированию содержания химических элементов в почвах все большее распространение получает **экосистемная направленность** [2].

Начало экосистемному нормированию положено работами по экологической экспертизе, основной задачей которой была оценка конкретного вида техногенного воздействия на состояние окружающей среды в конкретном регионе.

Современная концепция экологического нормирования опирается на экосистемный подход. В этой концепции нет места представлениям о предельно допустимых количествах, о пороговости в изменении состояния организмов. В экосистеме порогов нет. Рассматривается беспороговая модель. Главным является тезис о том, что нормальным состояние экосистемы может быть только при сохранении целостности экосистемы, при обеспеченности сохранности биогеохимических циклов всех химических элементов в экосистеме.

Экосистема — это сложноорганизованная система, которую можно представить как сочетание плотно упакованных экологических ниш. При поражении одних организмов, при снижении активности их деятельности освободившиеся ниши заполняются более толерантными видами. Это ведет к сглаживанию эффекта воздействия, к снятию порогов.

Экосистемное нормирование не допускает не только патологических, но и предпатологических изменений. Цель экосистемного нормирования состоит в том, чтобы сохранить природу в таком состоянии, когда все живые организмы имеют равное право на существование. Такой подход обеспечит сохранение и человека (популяции, индивидуума) как компонента экосистемы. Человек отличается от других организмов, в частности, тем, что является конечным консументом в большинстве трофических цепей. Задача состоит в том, чтобы проверить, сохраняется ли уровень содержания этого вещества при любом антропогенном воздействии на экосистемы в пределах флуктуации его содержания в естественных природных условиях или выходит за эти пределы.

Теория экосистемного нормирования последовательна, но методы ее окончательно не разработаны. Не разработаны понятия о существенных и несущественных изменениях в экосистеме. Некоторые из предложений только обсуждаются.

Для выявления максимально допустимого воздействия на экосистему нужно прежде всего среди всех воздействий выявить то, которое оказывает наиболее сильное негативное действие на экосистему. Таким воздействием, как правило, является химическое загрязнение.

Требуется учитывать все силы в экосистеме, которые способны компенсировать внешнее техногенное воздействие на нее. При оценке его влияния применя-

ется принцип «слабого звена». Он основан на представлениях о лимитирующих факторах в сложной системе. Следует уделить внимание тому виду воздействия, которое может лимитировать развитие экосистемы. Это значит, что нагрузки, допустимые для самого уязвимого компонента экосистемы, принимаются как допустимые для системы в целом. Но экологические нормативы должны быть дифференцированы, что достигается региональным или бассейновым подходом при получении его показателей.

При экосистемном подходе нужно принимать во внимание не только токсическое действие химического вещества. Следует оценивать и другие возможные виды нарушения экосистемы, такие как сокращение видового разнообразия, изменение отдельных групп биоты, выпадение из экосистемы видов – доминантов, изменение величины продуктивности, упрощение трофической цепи, уменьшение ассимиляционной емкости экосистемы и ее способности к самоочищению, разрушение экосистемы.

Под ассимиляционной емкостью понимается количество поллютанта, которое система способна воспринять (ассимилировать) без нарушения закономерностей ее функционирования. При ее расчете принимаются во внимание все потоки вещества: его поступление из разных источников, вынос за пределы системы, сорбция почвенными компонентами, перевод в нерастворимые формы, биотическая и абиотическая деструкция и др. Допускается использование как расчетных, так и экспериментальных (в том числе лабораторных) данных, экстраполяция и интерполяция результатов, полученных для близких по структуре и функционированию экосистем. Важно включение не только биогенных, но и абиогенных показателей (например, гидрохимических).

Выбор показателей, контроль которых проводится при экосистемном нормировании, зависит от того, на каком уровне организации экосистемы оцениваются изменения. Например, предлагается в качестве критериев экологического состояния экосистемы использовать показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, показатели завершенности круговорота веществ (конечным результатом чего является плодородие почв).

В качестве показателя сохранности экосистемы можно использовать баланс гумуса в почве. При этом предлагается считать нагрузки на экосистемы допустимыми, если в почве поддерживается положительный баланс гумуса, что свидетельствует о выполнении почвами их функций в биосфере. Есть предложение признаком нарушения в сохранности и целостности экосистемы считать накопление в зоне техногенного воздействия на биогеоценоз неразложившейся подстилки, что может свидетельствовать о незавершенности круговорота углерода.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под санитарным состоянием почв?
2. Цель регионального мониторинга?
3. Какие службы осуществляют региональный мониторинг?
4. Какова цель фонового мониторинга?
5. Способы, характеризующие фоновое содержание химических элементов.

6. Перечислить биохимические показатели состояния почв.
7. Какое влияние на химические свойства почвы оказывает изменение кислотно-основных условий?
8. Каким образом выбирают тестовые участки при контроле состояния загрязненных почв?
9. Какова задача экологического нормирования?
10. Что является критерием качества почв при санитарно-гигиеническом нормировании?
11. Какие цепочки опосредованного контакта почвы с организмом человека можно назвать?
12. Как изменяется ПДК ванадия и свинца в почвах для различных показателей вредности?
13. Какие показатели вредности являются лимитирующими для ртути и свинца?
14. Какие недостатки присущи санитарно-гигиеническим нормативам качества почв?
15. Что является основой биогеохимического нормирования?
16. Какая существует взаимосвязь между содержанием элементов в почве и состоянием живых организмов?
17. Каковы пороговые концентрации для содержания марганца в почве?
18. Каким образом оценивается экологический риск при загрязнении почв?
19. Какие факторы используют для оценки экологического риска почв?
20. Каков интегральный показатель риска при низкой опасности загрязнения почв и при экстремальной опасности?

ГЛАВА 8. КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ

8.1. Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию

Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию, имеет три взаимосвязанных направления:

- социально-экономический,
- санитарно-гигиенический,
- экологический [2].

В этом есть отражение многогранной значимости явления, разнообразия принципов и методов контроля экологического состояния подобных экосистем, и оно свидетельствует о принципиальном различии получаемой при мониторинге информации.

Требование комплексности – основное при проведении этого вида мониторинга. Понимание динамики природных систем при опустынивании невозможно без контроля всех факторов, условий и результатов опустынивания. Воздействие на какой-либо из компонентов этой сложной динамической системы с разветвленной структурой взаимных связей может приводить к изменению всей системы в целом.

Почва – основной регулятор энерго- и массо-переноса в аридных системах, поэтому организация почвенно-экологического мониторинга при опустынивании требует систематических наблюдений не только за процессами, ведущими к деградации собственно почв, но и за теми почвенными свойствами, процессами и режимами, которые регулируют состояние других компонентов ландшафта и могут свидетельствовать о его деградации. Необходима организация мониторинга всех показателей опустынивания: климатической, почвенной, растительной, гидрологической и геоморфологической. Этому требованию отвечает выбор индикаторов опустынивания.

Индикаторы опустынивания

Основным базовым индикатором опустынивания мог быть показатель снижения запасов (прироста) биомассы, т. е. индикатор конечного результата. Но он один не отражает все разнообразие причин и особенностей процессов, а они важны для принятия решений. Поэтому выделяют три группы индикаторов, из которых важнейшим являются почвенные.

Система индикаторов опустынивания предложена в 1978 году, в дальнейшем она была положена в основу международных схем индикации и мониторинга опустынивания.

Индикаторами опустынивания служат наиболее информативные количественные и качественные показатели состояния природной среды, определение которых возможно провести доступными методами и может быть воспроизведено, а результаты могут быть контролируемы.

В этой схеме выделяют три группы индикаторов опустынивания:

- физические (почвенно-геохимические и гидрологические),

- биологические,
- социальные.

Физические индикаторы опустынивания (почвенно-геохимические и гидрологические):

- 1) количество пыльных и песчаных бурь и других неблагоприятных климатических процессов;
- 2) изменение дебита, глубины залегания и качества грунтовых вод;
- 3) степень и формы развития процессов эрозии и дефляции;
- 4) изменение стока паводковых вод и объема твердого стока;
- 5) изменение мощности почвы в корнеобитаемом слое и содержание в ней гумуса;
- 6) степень засоления и осолонцевания почвы;
- 7) образование различного рода корковых и панцирных покровов почв.

Биологические индикаторы опустынивания.

Растительность:

- 1) соотношение климаксных и внедрившихся растительных видов;
- 2) соотношение ксерофильных и мезофильных видов;
- 3) степень проективного покрытия растениями поверхности почвы – густота растительного покрова;
- 4) биологическая продуктивность и урожай кормов.

Животные:

- 1) основные виды;
- 2) поголовье домашнего скота;
- 3) численность животных;
- 4) структура популяций;
- 5) особенности размножения;
- 6) вторичная продукция.

Социальные индикаторы опустынивания:

- 1) системы землепользования (поливное земледелие, богарное земледелие, скотоводство, заготовка и вывоз сырья, туризм и т. д.);
- 2) структура расселения;
- 3) биологические параметры населения;
- 4) параметры социальных процессов.

При мониторинге опустынивания часто пользуются такими понятиями, как характер, скорость (темпы), степень и глубина опустынивания.

Термин «**характер опустынивания**» применяют для указания ведущих причин опустынивания и вызываемых ими процессов опустынивания, что является основой для выделения типов опустынивания.

Под **степенью опустынивания** подразумевают степень приближенности условий меняющейся природной среды к пустынным условиям.

Термин «**глубина опустынивания**» отображает соотношение обратимых и необратимых изменений природной среды в результате опустынивания.

Термином «**скорость (темпы) опустынивания**» обозначают изменение во времени различных индикаторов опустынивания.

При мониторинге опустынивания по предложенным индикаторам необходимо учитывать, что ни один из параметров, взятых в отдельности, не является специфическим, хотя и может сопровождать его в разных конкретных ситуациях и сочетаниях. Например, снижение биологической продуктивности, если оно сопряжено не с аридизацией суши, а является следствием временных засух, не может рассматриваться в качестве диагностического индикатора опустынивания. Необходимо комплексный подход в использовании предложенных индикаторов.

Точно так же нет оснований ставить диагноз об опустынивании и на орошаемых почвах, даже если при этом идет деградация за счет засоления, осолонцевания и т. д. Опустынивание этих земель может произойти лишь после забрасывания или исключения их из орошаемого земледелия. Однако эти процессы могут стать причиной опустынивания в будущем и должны рассматриваться при мониторинге в связи с оценкой риска или потенциальной возможности опустынивания.

Подходы к количественному или качественному определению индикаторов, которые могут использоваться при мониторинге опустынивания, весьма разнообразны. Общая направленность этих подходов – взаимно увязать разнокачественные параметры, используемые при мониторинге опустынивания, таким образом, чтобы они давали возможность выяснить тенденции развития конкретного ландшафта. При этом различные параметры группируются в таблицы, служащие для оценки таких сторон опустынивания, как характер, степень, глубина, скорость, характеристики потенциальной опасности этого явления.

В табл. 28 приведен пример таких построений по параметрам засоления почв.

Табл. 28. Оценка опустынивания по параметрам засоления [2]

Аспект	Критерий	Класс опустынивания			
		Слабое	Умеренное	Сильное	Очень сильное
Современное состояние	Плотный остаток, %	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-1,0	>1,00
	Хлор, %	0,001 -0,03	0,03-0,10	0,1-0,23	>0,23
	Натрий, %	0,023-0,04	0,04-0,092	0,092-0,184	>0,184
	Сумма токсичных солей, %	0,28-0,40	0,40-0,69	0,40-0,69	>0,69
	Расположение солевого горизонта в профиле	Ниже 80	30-80	0-30	Весь профиль
	Химизм засоления	C1-SO ₄ , SO ₄	SO ₄ -C1, C1-	SO ₄ -C1, C1	C1
Вероятная опасность опустынивания	Дренированность грунтов зоны аэрации	Средняя	Слабая	Низкая	Очень низкая
	Среднегодовая глубина грунтовых вод, см	500-300	300-100	100-50	<50
	Минерализация грунтовых вод, г/л	3-6	6-10	10-30	>30

Темпы опустынивания	Увеличение площади опустынивания, % в год	<1	1-2	2-5	>5
	Сезонное накопление солей в слое 0 — 60 см, %	0,11-0,20	0,21-0,30	0,31-0,60	>0,60

Информационная база почвенно-экологического мониторинга опустынивания должна включать не только параметры, оценивающие состояние почв в процессе опустынивания, но и те почвенные параметры, которые позволяют контролировать риск и устойчивость почв и экосистем к опустыниванию.

Опасность опустынивания определяется в первую очередь общей засушливостью или аридностью климата территории. Устойчивость экосистем к опустыниванию связана с комплексом исходных условий опустынивания. Скорость и степень воздействия опустынивания на экосистемы засушливых территорий определяется балансом существующей на данный момент времени опасности и устойчивости к опустыниванию. В общем виде можно констатировать, что если суммарное воздействие действующих факторов и агентов опустынивания превышает устойчивость ландшафта, то наступает опустынивание, скорость и степень которого зависят от величины этого превышения.

Итак, для мониторинга ландшафтов, подверженных опустыниванию, необходима организация систематических наблюдений за всеми компонентами ландшафта. Детальные результаты могут быть получены при углубленных исследованиях отдельных составляющих опустынивания (климатической, почвенной, биологической, гидрологической, геоморфологической) и их совместном использовании.

По результатам мониторинга опустынивания, по данным дистанционного зондирования составлена карта опустынивания Российской Федерации в масштабе 1:2 500 000. На карте отражено, что на территории РФ наиболее распространены следующие антропогенные причины опустынивания:

- 1) подъем уровня грунтовых вод вследствие а) строительства водохозяйственных сооружений, б) длительного орошения земель;
- 2) орошение минерализованными водами;
- 3) геохимическая миграция солей к периферии орошаемых массивов; снижение геохимической отточности территории в результате заиливания русел;
- 4) иссушение поверхности, вызванное а) опусканием уровня грунтовых вод в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем, б) пастбищной дигрессией;
- 5) пастбищная дигрессия на почвах а) легкого и б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме);
- 6) распашка почв а) легкого гранулометрического состава, б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме);
- 7) распашка солонцов и засоленных почв;
- 8) применение тяжелой техники на пахотных землях;
- 9) транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;

- 10) степные пожары;
- 11) сведение лесов;
- 12) техно- и урбогенные нарушения почвенного и растительного покрова.

Выявлены ведущие процессы опустынивания и отражены на карте опустынивания РФ:

- 1) водная эрозия,
- 2) формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей,
- 3) засоление,
- 4) осолонцевание почв,
- 5) уплотнение почв,
- 6) подтопление,
- 7) снижение продуктивности естественной растительности.

8.2. Интегральная оценка степени деградации почв

Интегральная оценка может быть эффективна, когда почвы подвержены не одному, а нескольким видам деградации. Становится необходимо оценить направление деградации почв, интенсивность деградационных процессов и их скорость.

Интегральный показатель степени деградации почвы отражает информацию о глубине (силе) одного или нескольких видов деградации и времени (скорости) ее (их) действия.

Под скоростью деградации понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по рассматриваемому показателю. Однако шкалы для установления деградации физических, химических и биологических свойств почвы неравномерные, и поэтому определенная таким образом скорость деградации будет различной при разной степени деградации. Поэтому в качестве характеристики скорости деградации используют величину «период деградации». Под периодом деградации понимают гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет путь от 0 до максимальной степени деградации по рассматриваемому показателю. Период деградации, таким образом, есть величина, обратная скорости деградации.

Период деградации рассчитывают по формуле [2]:

$$T_d = X_{\max} \cdot \Delta T / (X_f - X_s),$$

где T_d – период деградации (в годах), X_{\max} – значение критерия деградации, соответствующее максимальному баллу, ΔT – временной промежуток между двумя обследованиями (в годах), X_f и X_s – значения критерия деградации соответственно при последнем обследовании и предыдущем.

Период деградации следует рассчитывать по данным за несколько лет наблюдений. Его величина может иметь отрицательное значение. В таком

случае речь идет не о деградации, а об улучшении почвы за соответствующий период по рассматриваемому показателю.

Таким образом, период деградации может дать примерный прогноз изменения свойств почвы на ближайшее будущее при условии сохранения направления и темпов современных почвенных процессов. Например, почва получившая по лимитирующему, т. е. имеющему максимальную балльную оценку, показатель степени деградации 3 балла, при периоде деградации 10 лет имеет перспективы через два года перейти из состояния сильно деградированной почвы в очень сильно деградированную.

Необходимо проводить определение периода деградации почвы не только по лимитирующему показателю, но и по всем другим, так как лимитирующий показатель с течением времени может измениться.

Интегральная оценка степени деградации почвы должна включать показатель, по которому устанавливается деградация, балл деградации и в качестве индекса (степени) к нему период деградации. Установление степени деградации возможно по любой шкале разработанных показателей: деградации физических, химических, биологических свойств почв. При наличии двух или более видов деградации установление степени деградации почвы проводится по показателю, имеющему максимальный уровень деградации. При итоговой оценке степени деградации почвы следует указывать наряду со степенью деградации процесс (или процессы), обуславливающие максимальную балльную оценку, и показатель скорости процесса, а также процесс, обеспечивающий максимальную скорость деградации.

Пример определения интегральной оценки степени деградации почв. При оценке физической деградации исследуемая почва получила максимальный балл деградации по показателю плотности почв, равный 3, период этого вида деградации составил 20 лет. При оценке загрязнения почва получила максимальный балл деградации 2 при периоде деградации 5 лет. Интегральная оценка степени деградации почв записывается так: 3^{20} (физическая деградация) и 2^5 (химическое загрязнение). Интегральная оценка состояния почвы: сильнодеградированная почва с тенденцией увеличения плотности и среднедеградированная под влиянием химического загрязнения. Но загрязнение прогрессирует, и через 1–3 года степень деградации химических свойств, почв будет сравнима с деградацией физических свойств и потому уже сейчас необходима разработка системы мероприятий по предотвращению поступления в почву загрязняющих веществ.

Контрольные вопросы

1. Направления мониторинга состояния экосистем, подверженных опустыниванию?
2. Какие существуют группы индикаторов опустынивания?
3. Какие известны физические индикаторы опустынивания?
4. Какие индикаторы относят к биологическим индикаторам опустынивания?
5. Социальные индикаторы опустынивания.
6. Что понимают под степенью опустынивания и глубиной опустынивания?
7. Какими параметрами можно охарактеризовать вероятную опасность опустынивания?
8. Антропогенные причины опустынивания

9. Что отражает интегральный показатель степени деградации почвы?
10. Формула для расчета периода деградации почв?

ГЛАВА 9. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

9.1. Мониторинг микробиологического состояния почв

Почвенный микробоценоз отражает различные виды деградации почв, и на этом основании показатели его состояния могут служить универсальными индикаторами состояния почв при почвенном мониторинге [2].

Микробиологические тесты позволяют за короткое время, даже при незначительных изменениях в окружающей среде, оценить отклонения в функционировании почвенной системы и потому могут служить показателями ранней диагностики степени деградации почв. Основных микробиологических тестов всего четыре (табл. 29).

Табл. 29. Показатели и критерии биологической деградации почв

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Уровень активной микробной биомассы, кратность уменьшения по сравнению с контролем	<5	5-10	10-50	50-100	>100
Количество патогенных микроорганизмов в одном грамме почвы	<10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁵ -10 ⁶	>10 ⁶
Фитотоксичность (снижение числа проростков и подавление их роста), кратность	<1,1	1,1-1,2	1,2-1,4	1,4-2,0	>2,0
Генотоксичность (рост числа мутаций в сравнении с контролем), кратность	<2	2-10	10-100	100-1000	>1000

Уровень активной микробной биомассы является информативным показателем общего состояния почвенной биоты. Степень деградации устанавливается по уменьшению уровня активной микробной биомассы по сравнению с контролем. Для недеградированной почвы допускается не более чем 5-кратное снижение, тогда как очень сильнодеградированная почва характеризуется более чем 100-кратным снижением активности микробной биомассы.

Содержание патогенных форм микроорганизмов характеризует биологическое загрязнение почвы. В норме их количество не превышает 1000 на 1 г почвы.

Фитотоксичность почвы является интегральным показателем состояния почвенной биоты. Зависит от суммарного загрязнения почвы, включая и почвоутомление. Определяют методом «почвенных пластинок» по снижению числа про-

росших семян и длины проростков по сравнению с контролем. Снижение числа проросших семян и длины проростков по сравнению с контролем в 1,1 раза допускается для недеградированной почвы. Если число проростков снизилось более чем в два раза, то почва очень сильно деградирована.

Генотоксичность почвы – показатель, с помощью которого определяют способность почвы влиять на структурно-функциональное состояние генетического аппарата почвенной биоты, включая микроорганизмы, растительность и почвенную фауну. Определяют по росту числа генных мутаций по сравнению с контролем. Оценивается в краткосрочных тестах. В норме число мутаций в нарушенной почве не должно отличаться более чем в два раза по сравнению с контролем.

При высоком значении показателя скорости биологической деградации необходимо выявление вызывающих ее причин, так как за исключением количества патогенных микроорганизмов все остальные параметры биологической деградации являются интегральными, обусловленными совокупным действием целого ряда причин.

Наибольшее распространение получили методы микробиологического тестирования для оценки состояния почв, подверженных загрязнению.

В ходе санитарно-гигиенического мониторинга оценка степени биологического загрязнения ведется по санитарно-бактериологическим, санитарно-паразитологическим и санитарно-энтомологическим показателям.

В загрязненной почве на фоне уменьшения аборигенных представителей почвенных микробоценозов и снижения ее биологической активности отмечается увеличение количества патогенных энтеробактерий и гельминтов, которые более устойчивы к химическому загрязнению почвы, чем представители естественных почвенных микробоценозов. Оценка санитарно-бактериологического состояния почвы обязательно проводится на объектах повышенного риска (детские сады, игровые площадки, зоны санитарной охраны).

Каждая почва характеризуется определенной обогаченностью микроорганизмами, и она может снижаться при разных видах воздействия на нее (табл. 30). При контроле микробиологического состояния почв проводится выявление реакции отдельных групп почвенных микроорганизмов на то или иное воздействие на разных уровнях их организации: особь, популяция, сообщество.

Для сообществ (комплексов) – один из основных показателей – изменение их видовой структуры. Показателями изменения могут быть общее число выделяемых видов (богатство видов), показатели их разнообразия, уровень доминирования. Наряду с изменением разнообразия может происходить изменение состава видов.

Слежение за изменением состава и структуры сообществ может проводиться как по отдельным таксономическим группам, так и для трофических групп почвенных микроорганизмов. Примером такого подхода является исследование крахмалразлагающего (амилолитического) микробного сообщества, или целлюлозоразлагающих микроорганизмов, или организмов, потребляющих легкодоступные органические вещества при изменении экологических условий.

Табл. 30. Оценка степени обогащенности почв микроорганизмами, люминесцентно-микроскопический метод (по Звягинцеву, 1978) [2]

Степень обогащенности почв	Бактерии		Микроскопические грибы			
	Общее количество		Сухая биомасса	Длина гиф		Сухая биомасса
	млрд/г	млрд/см ²		кг/га	м/г	
Очень бедная	<1	<50	<42	<30	<750	<120
Бедная	1-2	50-100	42-85	30-100	750-2500	120-400
Среднеобогатенная	2-5	100-200	85-170	100-300	2500-7500	400- 1200
Богатая	5-10	200-400	170-340	300- 1000	7500-25000	1200-4000
Очень богатая	>10	>400	>340	>1000	>25000	>4000

Выбор исследуемой трофической группы должен соответствовать специфике исследуемого биоценоза и основным изменениям трансформации органики под влиянием антропогенных факторов. Для того, чтобы произошли неоднократно регистрируемые изменения состава сообществ вследствие исчезновения одних и появления других видов, необходимы существенные экологические сдвиги. Следовательно, раньше, чем для сообществ, изменения могут проявиться для его составляющих – популяций отдельных видов. Изменения популяций регистрируются задолго до исчезновения вида в сообществе. При популяционных исследованиях важен выбор исследуемых организмов. В первую очередь таковыми могут быть виды, развивающиеся в определенных экологических условиях – так называемые стенотопные виды, и виды – возможные аккумуляторы поллютантов.

Наряду с традиционными микробиологическими методами популяционного анализа (посев на питательные среды) весьма перспективно слежение за развитием микроорганизмов непосредственно в почве с использованием мембранных камер с внесенными в них популяциями микроорганизмов. При этом наиболее эффективно внесение видов с известными свойствами. Например, для оценки влияния кислых осадков – внесение видов организмов, высокочувствительных к изменению pH. Реакция популяций микроорганизмов (например, микроскопических грибов) на изменение экологических условий может проявляться в увеличении лаг-фазы, изменении уровня прорастания спор, репродукции, скорости роста мицелия, длительности отдельных стадий развития. На популяционном уровне изменения биоты могут наблюдаться при более низких уровнях воздействия. Например, такие изменения были зарегистрированы для стенотопного вида *Mortierella ramanniana* при загрязнении кадмием дерново-подзолистых почв ниже уровня ПДК, в то время как при оценке сообществ изменения прослеживаются при дозе загрязнения на порядок выше.

Информативным показателем биологического состояния почвы является ее ферментативная активность. Оценка степени обогащенности почвы ферментами дана в табл. 31.

Табл. 31. Оценка степени обогащенности почв ферментами, верхний ряд – на весовые единицы почвы, нижний ряд – на 1 см² поверхности почвы (по Звягинцеву, 1978) [2]

Степень обогащенности	Каталаза, О ₂ см ³ /г за 1 мин	Дегидрогеназа, мг ТФФ на 10 г за 24 часа	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г за 24 часа	Уреаза, мг NH ₃ на 10 г за 24 часа	Фосфатаза, мг Р ₂ О ₅ на Юг за 24 часа
Очень бедная	<1	<1	<5	<3	<0,5
	<25	<2,5	<125	<7,5	<1,2
Бедная	1–3	1–3	5–15	3–10	0,5–1,5
	25–75	2,5–7,5	125–375	7,5–25	1,2–3,8
Среднеобогатенная	3–10	3–10	15–50	10–30	1,5–5,0
	75–250	7,5–25	375–1250	25–75	3,8–12,5
Богатая	10–30	10–30	50–150	30–100	5–15
	250–750	25–75	1250–3750	75–250	12,5–38,0
Очень богатая	>30	>30	>150	>100	>15
	>750	>75	>3750	>250	>38

Почва является самой богатой системой как по ферментативному пулу, так и ферментному разнообразию. Источниками почвенных ферментов служат растения, микроорганизмы, животные, словом, все живое вещество почвы. Роль ферментов в почвенных процессах трудно переоценить, ведь они являются катализаторами биохимических превращений органических остатков и гумуса и тем самым участвуют в биохимических циклах углерода, азота, фосфора, серы и других элементов.

Обогащенность ферментами в значительной степени определяется генетическим типом почвы, при этом в верхних биогенных горизонтах активность ферментов максимальна, а вниз по профилю – в большинстве случаев снижается.

Деградация почвы сопровождается снижением ее биологической активности, и ферменты, как показали многочисленные исследования, являются надежным индикатором этого явления (табл. 32). При этом ферменты проявляют специфическую реакцию на тот или иной вид деградации почвы. Так, загрязнение почвы тяжелыми металлами (ТМ), нефтепродуктами в значительной степени снижает активность каталазы, в то время как инвертаза и дегидрогеназа довольно слабо реагируют на нефтезагрязнение. В то же время инвертаза чувствительна к сельскохозяйственному использованию, а каталаза – нет.

Табл. 32. Оценка показателей ферментативной активности (в баллах) в целях диагностики состояния почв [2]

Показатель	Вид антропогенного воздействия	Чувствительность	Сложность анализа	Точность определения	Средний балл
Каталаза	Сельскохозяйственное использование	3	10	10	9,2
	Загрязнение нефтью и нефтепродуктами	9	10	9	

	Загрязнение ТМ	8	10	8	
	СВЧ-излучение	9	10	10	
	Ионизирующее излучение	9	10	10	
	Гидроморфизм	10	10	9	
Инвертаза	Сельскохозяйственное использование	10	6	9	6,8
	Загрязнение нефтью и нефтепродуктами	3	6	6	
	Загрязнение ТМ	8	6	6	
	СВЧ-излучение	9	6	6	
	Ионизирующее излучение	9	6	7	
	Гидроморфизм	8	6	6	
Дегидрогеназа	Сельскохозяйственное использование	10	7	9	7,6
	Загрязнение нефтью и нефтепродуктами	2	7	8	
	Загрязнение ТМ	10	7	9	
	Ионизирующее излучение	8	7	7	
	Гидроморфизм	10	7	10	

9.2. Мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный мониторинг)

Бонитировка почв – сравнительная оценка качества почв по их производительной способности, это специализированная генетико-производственная классификация почв, плодородие которых выражено в баллах [2].

Предлагались различные подходы и методы оценки качества почв:

1. Естественно-исторический метод, на основе подходов В.В. Докучаева. Баллы бонитета почв устанавливаются на основе тех их природных свойств, которые коррелируют с урожайностью ведущих сельскохозяйственных культур. Элементарной таксономической единицей при бонитировке таким методом является разновидность почв.

2. Вариант естественно-исторического метода, при использовании которого таксономической единицей является не почвенная разновидность, а агропроизводственная группа или подгруппа почв. Баллы бонитета почв устанавливаются также по природным свойствам почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

3. При географическом подходе выявляется связь между урожайностью и типом местности. Баллы бонитета для различных типов местности устанавливаются по выходу сельскохозяйственной продукции.

В основу общей оценки почвенного плодородия положена оценка гумусного состояния, так как именно гумус является интегральным показателем плодородия почв. В качестве основных генетических показателей при разработке шкалы бонитета почв используются показатели:

- общая мощность горизонтов (А+В);
- запасы гумуса (т/га) во всей толще гумусовых горизонтов.

Эти индексы плодородия показали высокую информативность при оценке качества черноземов и каштановых почв Нижнего Дона и Северного Кавказа. Бонитировка этих почв осуществляется прежде всего применительно к потребностям зерновых культур, так как зерновое хозяйство составляет основу сельскохозяйственного производства региона.

Имеют значение выбранные критерии балльной оценки почв. При разработке рабочей оценочной шкалы для определения балла бонитета почв Ростовской области за 100 баллов (т. е. за эталон) были приняты признаки обыкновенного чернозема, в котором мощность гумусового горизонта $A+B = 75$ см, запасы гумуса – 425 т/га, а урожайность – близка к средней урожайности зерновых культур на сортоучастках – 20 ц/га. Использовались и «разомкнутые» оценочные шкалы, где средней по качеству почве присваивается 100 баллов, почвам выше среднего качества – соответственно более 100 баллов и почвам ниже среднего качества – менее 100 баллов.

Эффективность этих показателей неодинакова для разных типов почв. В частности, в почвах, где гумуса содержится меньше (каштановая и чернозем южный), влияние его на почвенное плодородие выше, чем в почвах с большим содержанием гумуса. Это связано с особенностями качественного состава гумуса.

Содержания гумуса в пахотном слое дерново-подзолистых почвах показало надежную связь с величиной урожайности сельскохозяйственных культур.

Оценку деградации почвы по показателям ее гумусного состояния можно провести исходя из рекомендаций Министерства природных ресурсов и экологии России, по которым уменьшение гумусового слоя менее чем на 0,1 доли его мощности указывает на отсутствие деградации.

Деградацию можно характеризовать показателями интенсивности процессов деградации и их направлениями. Под скоростью деградации понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по любому рассматриваемому показателю.

Если имеются бонитировочные шкалы и многолетние материалы, накопленные в результате бонитировочных исследований, они могут быть эффективно использованы для оценки скорости изменения таких показателей, как мощность гумусового слоя и содержание гумуса в верхнем горизонте (табл. 33).

Табл. 33. Показатели и критерии оценки степени деградации гумусного состояния черноземов

со-

Показатель	Почвы	Степень деградации				
		0	1	2	3	4
Мощность (А+В), убыль в см	Черноземы южные	<5	5-15	15-20	20-30	>30
	Черноземы обыкновенные карбонатные: северо-приазовские предкавказские	<10 <15	10-20 15-25	20-30 25-45	30-45 45-65	>45 >65
Балльная оценка, убыль в баллах	Черноземы южные	<5	5-10	10-15	15-25	>25
	Черноземы обыкновенные карбонатные: северо-приазовские предкавказские	<5 <5	5-10 5-15	10-20 15-25	20-45 25-50	>45 >50
Содержание гумуса в $A_{пах}$, убыль в % к исходному содержанию (недеградированный аналог)	Черноземы (в среднем для типа)	<5	5-10	10-30	30-50	>50

При этом учитывалась различная мощность гумусового слоя (А+В) в разных подтипах черноземов, следовательно, и различная «цена» потерянных сантиметров этого слоя. Потеря (смыв) более 50 % мощности гумусового слоя приводит к необратимой утрате исходно плодородия этих почв и их необратимой деградации. Такое состояние почв соответствует крайней – четвертой степени деградации почв (диагностика по мощности гумусированного слоя).

При переводе деградационных потерь в балльную систему оценок необходимо учитывать различную исходную мощность (А+В) изучаемых подтипов черноземов. Поэтому уже при первой степени деградации черноземы, изначально имеющие большую мощность гумусового слоя, «могут позволить себе» большую потерю в баллах и при этом остаться в градации «слабая степень деградации». При очень сильной деградации потери мощности гумусового слоя в баллах в этом подтипе черноземов в 2 раза выше, чем в черноземах южных.

Контрольные вопросы

1. Что является индикатором состояния почв при универсальном почвенном мониторинге?
2. Какие микробиологические тесты используют для оценки микробиологического состояния почв?
3. Какое содержание патогенных микроорганизмов допускается в почве?
4. Как определяют фитотоксичность почв?
5. Для чего необходим показатель генотоксичности почв?
6. Какое количество бактерий должна содержать очень бедная почва и очень богатая почва?
7. Какие современные методы слежения за микроорганизмами в почве сегодня используют?

8. В чем суть ферментативной активности почв?
9. Какая существует оценка показателей ферментативной активности (в баллах) для диагностики состояния почв?
10. Что из себя представляет бонитировка почв?
11. Какие существуют методы оценки качества почв при ее бонитировке?
12. Какие показатели и критерии оценки степени деградации почв используют в бонитировочных исследованиях?

ГЛАВА 10. ГЛОБАЛЬНЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Цель глобального мониторинга – контроль общепланетарного загрязнения биосферы. Объектами наблюдения являются биосферные заповедники, национальные станции глобального мониторинга. В бывшем СССР национальные станции глобального мониторинга располагались вблизи государственных границ. В настоящее время на территории РФ они действуют в Янискоски (Мурманская область), в Лесогорске (Ленинградская область), в Пинеге (Архангельская область), в Пушкинских Горах (Псковская область) [2].

Результаты наблюдений обобщаются на международном уровне в соответствии с международными программами, так как контроль общепланетарного загрязнения не может проводиться разными странами изолированно. В рамках программы МАБ на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде 1972 года разработаны основные принципы Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) и поставлена перед ООН задача организации международной системы мониторинга окружающей среды. В 1973- 1974 годах в рамках Программы ЮНЕП (Программа ООН по проблемам окружающей среды) разработаны основные положения ГСМОС.

К 1975 году в ЮНЕП проведено усовершенствование списков загрязняющих веществ, разработаны рекомендации по формированию списка биосферных заповедников, созданию этих заповедников и размещению в них станций фонового мониторинга, намечены планы развития ГСМОС и разработана стратегия контроля состояния окружающей среды.

В 1979 году в Женеве на Общеевропейском совещании по охране окружающей среды разработана Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха за счет переноса поллютантов на большие расстояния, на основе которой принимается и развивается Совместная программа наблюдений и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе (ЕМЕП). В ней участвуют 28 стран, кроме стран Европы в ней участвуют США и Канада. Целью ЕМЕП является предоставление правительствам разных стран информации о переносе в атмосфере загрязняющих веществ через границы государств и о вкладе этих веществ в загрязнение окружающей среды этих стран. В программе ЕМЕП содержится методики отбора проб, их анализа, сбора данных о выбросах загрязняющих веществ, построения математических моделей для оценки трансграничного переноса и проверки их соответствия экспериментальным данным.

В 1981 году в Финляндии подписана Конвенция о трансграничном переносе веществ. К ней присоединились страны Европейского экономического сообщества. Контролю переноса веществ на дальние расстояния в Европе и глобальной системе мониторинга окружающей среды посвящены программы ЕМЕП, ИРТАР, ПКМ.

Эффективность глобального мониторинга получила международное признание. Результаты его позволили обнаружить разрушение озонового слоя, оп-

ределить масштабы трансграничного переноса веществ, выявить угрозу повышения содержания в атмосфере парниковых газов и глобального потепления. За этим последовало принятие ряда международных документов, обеспечивающих ограничение переноса поллютантов на большие расстояния, на основе которых принимается и развивается совместная программа наблюдений и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе. В 1986 году принята Венская конвенция об охране озонового слоя, в 1987-м Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. В 1991, 1994 годах ООН приняты конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте, направленные на снижение трансграничного переноса веществ, прежде всего оксидов серы (Финляндия).

В 1990 году Международный центр охраны природы, работающий в структуре ООН, предложил проект «Глобальный экологический мониторинг» с использованием военных спутниковых технологий. С 1992 года в этом проекте участвуют РФ, США, Украина, Казахстан, Литва, Китай.

Разработана координационная программа ЕЭС по охране окружающей среды, согласно которой в ряде стран в 90-е годы выполнялись национальные программы по охране окружающей среды.

Опыт работ по глобальному мониторингу показал, что глобальное (повсеместное) загрязнение почв металлами и металлоидами планете не угрожает. Об этом свидетельствует сопоставление общего содержания их в верхних слоях почвы и содержания подвижных соединений этих элементов с потоком их из атмосферы в одном из биосферных заповедников (табл.34).

Табл. 34. Показатели содержания металлов (Pb, Cd, Hg, Zn) и неметаллов (As) в верхнем слое (0–2 см) различных почв одного из биосферных заповедников России [2]

Элемент	Показатели общего содержания элементов		Показатели содержания подвижных соединений элементов	
	Мг/кг	Запас в слое 0–2 см	Мг/кг	Запас в слое 0–2 см
As	4,3-7,3	67-117	0,02-0,06	0,3-1,8
Pb	9-41	114-610	3-6	48-96
Cd	0,2-1,1	3-18	0,05-0,06	0,8-1,6
Hg	0,05-0,19	1-3	0,02-0,06	0,3-1,0
Zn	56-156	900-2500	5-30	80-480

Ежегодный средний поток из атмосферы на почвы в районе заповедника измеряются следующими величинами: Pb – 3,4; Cd - 0,3; Zn - 7,6; As - 0,6; Hg - 0,14 мг/м². По сравнению с общим содержанием элементов в верхнем слое почвы этот поток несоизмеримо мал. Он более соизмерим с содержанием подвижных соединений контролируемых элементов в почвах заповедника, но основная часть поступающих с атмосферными выпадениями металлов и неметаллов удерживается почвенными компонентами прочно:

Экологическая опасность глобального масштаба связана с дальним переносом газов антропогенного происхождения, в частности диоксида серы. На-

пример, выпадение диоксида серы на земную поверхность в Люксембурге, Нидерландах, Швейцарии за счет трансграничного переноса достигает 70 – 80 % от их общего выпадения, в Скандинавских странах - 54 – 63 %. Поступление серы в атмосферу России из соседних стран составляет не менее 40 % от общей техногенной нагрузки.

Международными программами планировалось к 1990 году по сравнению с 1980 годом снизить выбросы в атмосферу оксидов серы и азота на 60 %, взвешенных частиц –на 40 %, выхлопных газов автомобилей –на 50 %. В программе сформулированы требования к сжиганию топлива и коммунально-бытовых отходов, нормированы выбросы оксидов серы, азота. Создана сеть измерительных станций в зонах поступления повышенных количеств оксидов, предполагается регулярный отчет стран-участников о выполнении программы.

Тревогу экологов вызывает глобальное потепление климата. Это явление большинство ученых считают антропогенным и связывают с постоянно возрастающим сжиганием ископаемого топлива. Они считают, что необходимо ограничить выбросы парниковых газов и не допустить потепления более чем на 2 градуса.

Парниковый эффект вызывают любые газы, которые имеют полосы поглощения в инфракрасном диапазоне длин волн и практически не имеют их в видимой области света. Основной вклад в парниковый эффект вносит водяной пар. Существенно влияют имеющие промышленное происхождение диоксид углерода, закись азота и метан. Их содержание в атмосфере за индустриальную эпоху увеличилось соответственно на 30 %, 17 % и 150 %, особенно за последнее десятилетие. Влияют фреоны и их производные, их удельное поглощение в несколько тысяч раз выше, чем CO_2 . В природе им аналогов нет, а производство в настоящее время сокращается. Кроме газов, на парниковый эффект влияют атмосферные аэрозоли.

Ограничению поступления в атмосферу парниковых газов посвящен Киотский протокол –международный документ, принятый в Японии в 1997 году в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Киотский протокол – это первое глобальное соглашение об охране окружающей среды, основанное на рыночных механизмах регулирования – механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов. Предусмотрено сокращение в период 2008 - 2012 годов совокупного среднего выброса странами, подписавшими протокол, шести типов газов, вызывающих парниковый эффект, на 5,2 % по сравнению с уровнем 1990 года. Страны Восточной Европы и Прибалтики должны сократить выбросы на 8 %, Россия и Украина – сохранить среднегодовые выбросы на уровне 1990 года. Только мониторинг состояния окружающей среды покажет, насколько будет эффективно это решение. Для вступления его в силу была необходима ратификация его государствами, на долю которых приходилось бы не менее 55 % общемировых выбросов парниковых газов.

В 2004 году Российская Федерация ратифицировала Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата, вступил он в силу в феврале 2005 года. Российские эксперты полагают, что ратификация этого документа не требует специальных усилий, закрытия предприятий или нарушения социаль-

ной инфраструктуры и не вызывает никаких отрицательных эффектов для текущих российских социальных и экологических проблем.

Контрольные вопросы

1. Цель глобального почвенного экологического мониторинга.
2. Когда и на какой конференции были разработаны основные принципы Глобальной системы мониторинга окружающей среды?
3. Когда и где была разработана Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха за счет переноса поллютантов на большие расстояния?
4. Когда и кем был предложен проект «Глобальный экологический мониторинг» с использованием спутниковых технологий?
5. Суть Киотского протокола.

ГЛАВА 11. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ

11.1. Исчисление размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды

Для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, а также при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, разработана методика [9].

Размер вреда, причиненного почвам, исчисляется в стоимостной форме.

Расчет осуществляется для:

а) химического загрязнения почв в результате поступления в почвы химических веществ или смеси химических веществ, приводящих к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций химических веществ в почвах;

б) несанкционированного размещения отходов производства и потребления;

в) порчи почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами.

Данная методика не распространяется на случаи загрязнения почв радиоактивными веществами, а также на случаи несанкционированного размещения радиоактивных отходов, биологических отходов, отходов лечебно-профилактических учреждений.

Исчисление в стоимостной форме размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, осуществляется по формуле:

$$УЩ = УЩ_{загр} + УЩ_{отх} + УЩ_{порч},$$

где: $УЩ_{загр}$ - размер вреда при химическом загрязнении почв, руб.;

$УЩ_{отх}$ - размер вреда в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления, руб.;

$УЩ_{порч}$ - размер вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами, руб.

Расчеты частных ущербов показаны ниже.

Исчисление в стоимостной форме размера вреда при химическом загрязнении почв осуществляется по формуле:

$$УЩ_{загр} = C_{ХВ} \times S \times K_{г} \times K_{исх} \times T_{х},$$

где: $УЩ_{загр}$ - размер вреда (руб.);

$C_{ХВ}$ - степень химического загрязнения;

S - площадь загрязненного участка (кв. м);

K_r - показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв;

$K_{исх}$ - показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок;

T_x - такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при химическом загрязнении почв, определяется согласно табл. 35 (руб./кв. м).

Степень химического загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i -го химического вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв.

Соотношение (C) фактического содержания i -го химического вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв определяется по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n X_i / X_n$$

где: X_i - фактическое содержание i -го химического вещества в почве (мг/кг);

X_n - норматив качества окружающей среды для почв (мг/кг).

При отсутствии установленного норматива качества окружающей среды для почв (для конкретного химического вещества) в качестве значения X_n применяется значение концентрации этого химического вещества на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от данного вида нарушения.

При значении (C) менее 5 $C_{ХВ}$ принимается равным 1,5;

при значении (C) в интервале от 5 до 10 $C_{ХВ}$ принимается равным 2,0;

при значении (C) в интервале от более 10 до 20 $C_{ХВ}$ принимается равным 3,0;

при значении (C) в интервале от более 20 до 30 $C_{ХВ}$ принимается равным 4,0;

при значении (C) в интервале от более 30 до 50 $C_{ХВ}$ принимается равным 5,0;

при значении (C) более 50 $C_{ХВ}$ принимается равным 6,0.

Показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв (K_r) рассчитывается в соответствии с фактической глубиной химического загрязнения или порчи почв.

При глубине химического загрязнения или порчи почв до 20 см (K_r) принимается равным 1; до 50 см (K_r) принимается равным 1,3; до 100 см (K_r) принимается равным 1,5; до 150 см (K_r) принимается равным 1,7; более 150 см (K_r) принимается равным 2,0.

Показатель ($K_{исх}$) определяется исходя из категории земель и целевого назначения:

- для земель особо охраняемых территорий ($K_{исх}$) равен 2;
- для мохово-лишайниковых оленьих и лугово-разнотравных горных пастбищ в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,9;

- для водоохраных зон в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,8;
- для сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения ($K_{исх}$) равен 1,6;
- для облесенных территорий в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,5;
- для земель населенных пунктов (за исключением земельных участков, отнесенным к территориальным зонам производственного, специального назначения, инженерных и транспортных инфраструктур, военных объектов) ($K_{исх}$) равен 1,3;
- для остальных категорий и видов целевого назначения ($K_{исх}$) равен 1,0.

Если территория одновременно может быть отнесена к нескольким видам целевого назначения, приведенным в таблице, то в расчетах используется коэффициент $K_{исх}$ с максимальным значением.

Исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления осуществляется по формуле:

$$УЩ_{отх} = \sum_{i=1}^n (Mi \times Totx) \times K_{исх}$$

где:

$УЩ_{отх}$ - размер вреда (руб.);

Mi - масса отходов с одинаковым классом опасности (тонна);

n - количество видов отходов, сгруппированных по классам опасности в пределах одного участка, на котором выявлено несанкционированное размещение отходов производства и потребления;

$K_{исх}$ - показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок;

$Totx$ - такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при деградации почв в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления, определяется согласно табл. 36 (руб./тонна).

Исчисление в стоимостной форме размера вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами осуществляется по формуле:

$$УЩ_{порч} = S \times K_r \times K_{исх} \times T_x,$$

где: $УЩ_{порч}$ - размер вреда (руб.);

S - площадь участка, на котором обнаружена порча почв (кв. м);

K_r - показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв;

$K_{исх}$ - показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок;

T_x - такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при порче почв (руб./кв. м).

Табл. 35. Таксы (T_x) для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при химическом загрязнении и порче почв

Приуроченность участка к почвенно-климатическим зонам и горным поясам	Таксы, руб./м ²
Полярно-тундровая зоны (арктические, полярно-пустынные, тундрово-клеевые и тундрово-иллювиально-гумусовые почвы и др.)	900
Лесотундрово-северотаежная зона (глееподзолистые, подзолистые иллювиально-гумусовые и глемерзлотно-таежные почвы и др.)	600
Среднетаежная (подзолистые, мерзлотно-таежные и болотно-подзолистые почвы и др.)	500
Южнетаежная зона (дерново-подзолистые, буротаежные, бурые лесные и болотно-подзолистые почвы и др.)	400
Лесостепная зона (серые лесные почвы, черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные, лугово-черноземные почвы и др.)	500
Степная зона (черноземы обыкновенные и южные, лугово-черноземные почвы и др.)	600
Сухостепная зона (темно-каштановые и каштановые почвы, солонцы и почвы солонцовых комплексов и др.)	550
Полупустынная зона (светло-каштановые и бурые полупустынные почвы и др.)	550
Субтропическая зона (желтоземы и подзолисто-желтоземные почвы и др.)	700
Горный альпийский и субальпийский пояс (горно-луговые, горно-луговые черноземовидные почвы и др.)	900
Горный лесной пояс (горные бурые лесные, горно-луговые почвы и др.)	800
Горный степной пояс (горно-луговые, горно-лугово-степные почвы и др.)	700

Табл. 36. Таксы ($T_{отх}$) для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления

Класс опасности i-го вида отхода <*>	1	2	3	4	5
Такса, руб./т	35 000,0	30 000,0	20 000,0	5 000,0	4 000,0

<*> Класс опасности определяется в соответствии с Приказом МПР России и Росприроднадзора от 22.05 2017 г. N 242 (в ред. от 28.11.2017 г.) "Об утверждении федерального классификационного каталога отходов".

Примеры расчета размера вреда в стоимостной форме

Пример 1. В результате разрыва нефтепровода ОАО "Сибнефтепровод" на землях лесного фонда (среднетаежная зона) был обнаружен разлив нефти площадью 1414 м². Глубина химического загрязнения составила 20 см.

Фактическое содержание нефтепродуктов (X_i) определено как среднее арифметическое из 28 объединенных проб.

$$X_i = 4086,5 \text{ мг/кг};$$

$$X_n = 1000,0 \text{ мг/кг};$$

$$C = 4086,5/1000 = 4,0865$$

$$C_{ХВ} = 1,5;$$

$$K_r = 1,0;$$

$$K_{исх} = 1,5 \text{ (облесенные территории в составе земель всех категорий)};$$

$$T_x = 500 \text{ руб./м}^2.$$

Исчисление размера вреда осуществляется по формуле:

$$УЩ_{загр} = C_{ХВ} \times S \times K_r \times K_{исх} \times T_x = 1,5 \times 1414 \times 1,0 \times 1,5 \times 500 = 1\,590\,750 \text{ руб.}$$

Пример 2. На территории населенного пункта Московской области (южнотаежная зона) выявлено химическое загрязнение почв солями тяжелых металлов (соли цинка, кадмия, мышьяка).

Площадь загрязненного участка составила 150 м². Глубина химического загрязнения составила 15 см.

Фактическое содержание химических веществ (X_i) определено как среднее арифметическое из 30 объединенных проб.

Концентрации химических веществ составили:

$$X_i (\text{Zn}) = 83,2 \text{ мг/кг};$$

$$X_i (\text{Cd}) = 9,4 \text{ мг/кг};$$

$$X_i (\text{As}) = 10,3 \text{ мг/кг};$$

Нормативы качества окружающей среды для почв:

$$X_n (\text{Zn}) = 23,0 \text{ мг/кг};$$

$$X_n (\text{Cd}) = 1,0 \text{ мг/кг (для кислых почв (суглинистых и глинистых почв))};$$

$$X_n (\text{As}) = 5,0 \text{ мг/кг (для кислых почв (суглинистых и глинистых почв))};$$

$$C = (83,2 / 23,0) + (9,4 / 1,0) + (10,3 / 5,0) = 15,06$$

$$C_{ХВ} = 3,0;$$

$$K_r = 1,0;$$

$$K_{исх} = 1,3 \text{ (земли населенного пункта)};$$

$$T_x = 400 \text{ руб./м}^2 \text{ (южнотаежная зона)}.$$

Исчисление размера вреда осуществляется по формуле:

$УЩзагр = СХВ \times S \times K_r \times K_{исх} \times T_x = 3,0 \times 150 \times 1,0 \times 1,3 \times 400 = 234\ 000$ руб.

Пример 3. В Каргасокском районе Томской области на землях лесного фонда было обнаружено несанкционированное размещение отходов (обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел 15% и более) (3 класс опасности) и твердых коммунальных отходов (4 класс опасности).

Масса сброшенных отходов составила: обтирочный материал, загрязненный маслами - 0,1 т; твердые коммунальные отходы - 6 т.

$K_{исх} = 1,5$ (облесенные территории);

$T_{отх}$ (для 4 класса опасности) = 5 000,0 руб./т;

$T_{отх}$ (для 3 класса опасности) = 20 000,0 руб./т.

Исчисление размера вреда осуществляется по формуле:

$$УЩ_{отх} = \sum_{i=1}^n (M_i \times T_{отх}) \times K_{исх} = (0,1 \times 20000) + (6 \times 5000) \times 1,5 = 48000 \text{ руб.}$$

Пример 4. В результате земляных работ ЗАО "Салекс+" была перекрыта глинистыми отложениями поверхность почв сельскохозяйственного назначения (Тулская область, Куркинский район). Площадь перекрытия составила 250 м².

$K_r = 1,0$;

$K_{исх} = 1,6$ (сельскохозяйственные угодья);

$T_x = 500$ руб./м² (лесостепная зона).

Исчисление размера вреда осуществляется по формуле:

$$УЩ_{порч} = S \times K_r \times K_{исх} \times T_x = 250 \times 1,0 \times 1,6 \times 500 = 200\ 000 \text{ руб.}$$

Контрольные задачи

1. Рассчитать размер вреда, нанесенный водоохранной земле, при ее загрязнении химическими веществами на площади 60 м². Концентрации химических веществ и их ПДК_п приведены в табл. 37.

Табл. 37. Исходные данные для расчета размера вреда при загрязнении почвы химическими веществами

Загрязняющие вещества	Реальная концентрация в почве: C , мг/кг	ПДК ЗВ в почве, мг/кг
Фтор	470	2,8
Медь	287	3,0
Хром	4,9	6,0
Цинк	255	23

Глубина химического загрязнения составила 45 см.

Таксу для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при химическом загрязнении почвы, взять для лесотундрово-северотаежной зоны.

2. Рассчитать размер вреда, нанесенный почве при несанкционированном размещении твердых отходов различных классов опасности на землях лесного фонда (табл. 38).

Табл. 38. Исходные данные для расчета размера вреда, нанесенного почвам при размещении отходов

Вид отхода	Класс опасности	Масса отхода, т	Такса, руб./т
Отработанные ртутные лампы	I	0,002	35000
Отработанные аккумуляторные батареи	II	0,5	30000
Автомобильные покрышки отработанные	IV	1,5	5000
ТБО	IV	3	5000
Лом черных металлов несортированный	V	10	4000

Для расчета взять $K_{исх} = 1,3$ (для земель населенных пунктов).

3. Рассчитать ущерб, нанесенный земельным ресурсам (поляротундровая зона) в результате аварийного разлива нефти на площади 2600 кв.м на глубину 55 см. Фактическое содержание нефтепродуктов (X_i) составляет 15860,0 мг/кг; $X_n = 1000,0$ мг/кг; $K_r = 1,5$; $K_{исх} = 1,9$; такса для исчисления вреда составляет 900 руб/м².

4. Рассчитать ущерб, нанесенный земельным ресурсам в результате загрязнения почвы различными веществами. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 39.

Табл. 39. Исходные данные для расчета ущерба, нанесенного земельным ресурсам

№ варианта	Концентрация (X_i) ЗВ, мг/кг почвы								K_r	$K_{исх}$	T_x
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Hg	Pb			
1	220	740	92	134	187	432	0,24	280	1,0	2,0	500
2	630	1700	66	250	98	548	0,34	49	1,3	1,9	900
3	420	1350	80	350	41	56	0,45	187	1,5	1,8	400
4	345	770	170	64	80	300	0,23	127	1,7	1,6	600
5	432	3200	31	195	230	510	0,54	265	2,0	1,5	500
6	366	1299	22	250	215	68	0,34	325	1,3	1,5	400
7	237	1110	34	46	112	265	0,17	130	1,5	1,3	600
8	345	415	96	400	324	48	0,09	127	1,7	1,3	500
9	190	654	44	333	178	123	0,04	66	2,0	1,0	500
10	520	1349	76	120	190	345	0,07	313	1,7	2,0	600
11	543	2345	132	119	87	148	0,12	156	1,5	1,9	900

12	590	1100	143	211	176	342	0,15	280	1,0	1,8	400
13	329	1267	128	276	134	286	0,07	145	1,3	1,6	600
14	355	1198	123	212	155	90	0,01	86	1,0	2,0	600
15	615	820	98	234	123	270	0,03	134	1,3	1,9	900
16	448	1970	83	342	165	321	0,62	79	1,5	1,8	400
17	432	974	78	314	233	121	0,85	124	1,0	1,6	600
18	332	876	73	265	202	132	0,34	266	2,0	1,5	500
19	524	1255	121	462	244	257	0,09	88	1,3	2,0	500
20	412	1299	59	400	87	114	0,02	118	1,5	2,0	600
21	321	1988	110	353	128	56	0,40	252	1,7	1,9	900
22	564	1155	114	128	231	127	0,08	305	2,0	1,8	400
23	408	1312	76	342	77	176	0,01	277	1,3	1,6	600
24	360	785	188	69	92	321	0,65	187	1,5	1,5	400
25	376	987	146	171	214	487	0,04	113	1,7	2,0	500
X_n	0,3	6,0	5,0	4,0	3,0	23	2,1	32,0	2,0	-	-

11.2. Порядок расчета размера ущерба от деградации почв и земель

Определение размера ущерба от деградации почв и земель [1, 9] осуществляется на основании результатов обследований, проводимых по инициативе территориальных органов Минприроды России и Роскомзема или по заявлениям физических и юридических лиц.

В основу расчета ущерба от деградации почв и земель положены нормативы стоимости, определяющие возмещение убытков за изъятие участков земель и регламентируемые «Положением о порядке возмещения убытков собственникам земли, землевладельцам, землепользователям, арендаторам и потерь сельскохозяйственного производства».

Указанные нормативы индексируются Роскомземом с использованием данных государственной статистики об индексации цен и изменяются с момента утверждения Правительством Российской Федерации новых нормативов стоимости земель.

При деградации почв и земель в пределах особо охраняемых территорий органами исполнительной власти краев, областей, автономных образований, городов Москвы и Санкт-Петербурга могут вводиться повышающие коэффициенты (Кп) к нормативам стоимости:

- на земли природно-заповедного фонда - 3
- на земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения - 2
- на земли рекреационного назначения - 1,5
- на прочие земли - 1,0

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости территории (Кэ), приведенные в табл. 40, вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого деградацией почв и земель на экологическую обстановку [10].

Территориальные органы Минприроды России и Роскомзема совместным решением осуществляют корректировку коэффициентов, а также вводят необходимые показатели по типам деградации почв и земель, исходя из природно-климатических условий.

Табл. 40. Коэффициенты (Кз) экологической ситуации и экологической значимости территории

Экономические районы Российской Федерации	Кз
Северный	1,4
Северо-Западный	1,3
Центральный	1,6
Волго-Вятский	1,5

При расчете размеров ущерба от деградации почв и земель, нанесенного их собственнику, учитывается потеря ежегодного дохода (Дх), который исчисляется по фактическим объемам производства в натуральном выражении в среднем за 5 лет и ценам, действующим на момент определения размеров ущерба. Размер ежегодного дохода рассчитывается с привлечением данных налоговых инспекций и в необходимых случаях корректируется в расчете на предстоящий период в соответствии со сложившимися темпами инфляции. В зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель, которое устанавливается землеустроительным проектом, вводится коэффициент пересчета (Кв), определяемый в соответствии с табл. 41.

Табл. 41. Значения коэффициента пересчета (Кв) дохода с сельскохозяйственных земель в зависимости от периода времени их восстановления

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета
1 год	0,9	8 - 10 лет	5,6
2 года	1,7	11 - 15 лет	7,0
3 года	2,5	16 - 20 лет	8,2
4 года	3,2	21 - 25 лет	8,9
5 лет	3,8	26 - 30 лет	9,3
6 - 7 лет	4,6	31 и более лет	10,0

Для определения размера ущерба в зависимости от изменения степени деградации почв и земель вводятся пересчетные коэффициенты (Кс), приведенные в табл. 42, а для отдельных случаев деградации почв и земель коэффициент пересчета (Кс) определяется по табл. 43.

При проведении обследований по выявлению деградированных почв и земель определяются площади, а также изменение степени их деградации:

а) в качестве исходных материалов используются данные почвенных, агрохимических, почвенно-эрозионных обследований, солевых и других съемок, проведенных предприятиями, организациями и гражданами, имеющими соответствующие лицензии, в сопоставлении с данными предыдущих обследований и съемок;

б) на план землепользования (выкопировку) наносятся контуры угодий в зависимости от изменения степени деградации почв и земель с выделением на них почвенных разновидностей, взятых с почвенной карты;

в) вычисляются площади контуров почвенных разновидностей;

Табл. 42. Коэффициенты пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель (Кс)

Степень деградации по данным предыдущих обследований	Степень деградации почв по данным контрольных обследований				
	0	1	2	3	4
0	0	0,2	0,5	0,8	1,0
1		0	0,3	0,6	0,8
2			0	0,3	0,5
3				0	0,2
4					0

Табл. 43. Коэффициенты пересчета для отдельных случаев деградации почв и земель (Кс)

Тип деградации	Коэффициент пересчета
Образование солончаков	1,5
Поднятие уровня минерализованных (> 3 г/л) грунтовых вод выше 2 м	2,0
Образование оврагов и рост существующих	3,0

г) результаты оформляются по специальной форме и доводятся до сведения собственников земли, землевладельцев, землепользователей и арендаторов;

д) в пределах типа и подтипа почв по нормативам определяется размер нанесенного ущерба по каждому контуру деградированных угодий.

Размер ущерба рассчитывается для каждого контура деградированных почв и земель по формуле:

$$Ущ = Нс \times S \times Кэ \times Кс \times Кп + Дх \times S \times Кв,$$

• где

- Ущ - размер ущерба от деградации почв и земель (тыс. руб.);
- Нс - норматив стоимости;
- Дх - годовой доход с единицы площади (тыс. руб.);
- S - площадь деградированных почв и земель (га);
- Кэ - коэффициент экологической ситуации территории,
- Кв - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель,
- Кс - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель,
- Кп - коэффициент для особо охраняемых территорий.

ПРОВЕРОЧНЫЕ ТЕСТЫ

1. Степень устойчивости почвы к химическим загрязняющим веществам характеризуется следующими показателями...	1) гумусным состоянием почв; 2) составом индикаторных организмов; 3) катионно-обменными свойствами; 4) растворимыми веществами
2. К среднезагрязненным относят почвы, в которых ...	1) содержание загрязняющих веществ не превышает ПДК; 2) содержание ЗВ превышает ПДК без видимых изменений в свойствах почвы; 3) содержание ЗВ не превышает ПДК, но выше естественного фона; 4) содержание ЗВ в несколько раз превышает ПДК
3. Выделяются следующие основные типы деградации почв и земель	1) технологическая (эксплуатационная) деградация; 2) эрозия; 3) рекультивационная деградация; 4) заболачивание.
4. Краткосрочные изменения свойств почвы не диагностируются по	1) влажности; 2) величине pH; 3) отношению углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот; 4) дыханию почв.
5. При оценке устойчивости почв к химическим загрязняющим веществам не следует учитывать показатели	1) ранней диагностики появления неблагоприятных изменений свойств почвы; 2) долгосрочных изменений, проявляющихся в течение 5-10 лет; 3) сезонных изменений; 4) климатических изменений
6. Что понимают под деградацией почв и земель?	1) характеристика их состояния, отражающая ухудшение состава и свойств 2) ухудшение свойств почв, их физического состояния и агрономических характеристик, которое происходит в результате эксплуатационных нагрузок при всех видах землепользования 3) совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель 4) нарушением (деформацией) сложения почв, ухудшением комплекса их физических свойств
7. Сколько степеней влажности может иметь почва?	1) 2 2) 3 3) 4 4) 5
8. Что из себя представляют новообразования в почве?	1) инородные элементы почвенной массы, не связанные с процессом почвообразования 2) морфологически оформленные химические соединения, четко обособленные от вмещающей почвенной массы, являющиеся следствием почвообразовательного процесса

	<p>3) соединения, четко обособленные от вмещающей почвенной массы, являющиеся следствием почвообразовательного процесс</p> <p>4) относительное содержание в почве частиц разного размера</p>
9. Какой формы границ не существует между почвенными горизонтами?	<p>1) ровная</p> <p>2) волнистая</p> <p>3) карманная</p> <p>4) линейчатая</p>
10. Назовите лабораторный метод определения гранулометрического состава почв?	<p>1) метод пипетки</p> <p>2) метод бюретки</p> <p>3) метод цилиндра</p> <p>4) метод стакана</p>
11. Что такое почвенный поглощающий комплекс?	<p>1) совокупность минеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью</p> <p>2) совокупность органических частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью</p> <p>3) совокупность органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью</p> <p>4) совокупность минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, обладающих поглотительной способностью</p>
12. Что собой представляет почвенный гумус?	<p>1) неразложившиеся и слабо разложившиеся остатки растений и животных</p> <p>2) часть органического вещества почвы, полностью утратившая черты анатомического строения организмов</p> <p>3) растворимая в щелочах, но нерастворимая в кислотах группа темноокрашенных гумусовых веществ</p> <p>4) группа гумусовых соединений, отличающаяся от других фракций меньшей молекулярной массой</p>
13. Что понимают под ПДК почвы?	<p>1) концентрация химического вещества, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды</p> <p>2) это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования</p> <p>3) концентрация химического вещества (мг/кг) в пахотном слое почвы, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы</p> <p>4) это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб</p>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коньк, О.А., Шахова, Т.В.* Контроль качества грунтов: учебное пособие [Текст] / О. А. Коньк, Т.В. Шахова. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 3,71 Мб. – on-line. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000518.pdf>.
2. *Мотузова, Г.В.* Экологический мониторинг почв: учебник [Текст] / Г.В.Мотузова, О.С.Безуглова. – М. : Академический Проект, 2007. – 237 с.
3. *Одум,Ю.* Экология [Текст] / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. Т.1- 328 с.; Т.2 – 376 с.
4. *Ступин, Д.Ю.* Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления: учебное пособие. [Текст] / Д.Ю.Ступин. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432 с.
5. *Уваров, Г.И.* Практикум по почвоведению с основами бонитировки почв. [Текст] / Г.И.Уваров, П.В.Голеусов. – Белгород: Изд-во Белгор.ун-та, 2004. – 140 с.
6. *Эколого-экономические проблемы России и ее регионов:* учебное пособие. [Текст] / Под общей ред. В.Г. Глушковой. – Москва: Московский Лицей, 2004. – 328 с.
7. *ГОСТ 17.4.3.01-83.* Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс] : утв. постановлением Госстандарта России от 21.12.1983 № 6393. – Дата актуализации 01.12.2013 г. // СПС «КонсультантПлюс». – (Дата обращения: 01.03.2018).
8. *ГОСТ 17.4.4.02-84* «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа [Электронный ресурс] : утв. постановлением Госстандарта России от 19.12.1984 № 4731. – Дата изменения 21.12.2017 г. // СПС «КонсультантПлюс». – (Дата обращения: 01.03.2018).
9. *Методика* исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: утв. приказом Минприроды России от 8.06.2010 г. №238 (в ред. от 25.04.2014) // СПС «КонсультантПлюс». – (Дата обращения: 01.03.2018).
10. *Об охране* окружающей среды [Электронный ресурс] : федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в ред. от 31.12.2017 г.) // СПС «КонсультантПлюс». – (Дата обращения: 01.03.2018).