

Владимирский государственный университет

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Учебное пособие



Владимир 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Учебное пособие

Электронное издание

Допущено Федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 35.00.00 «Сельское, лесное и рыбное хозяйство» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям бакалавриата 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.05 «Садоводство», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»



Владимир 2025

ISBN 978-5-9984-2057-3

© Шентерова Е. М., Рагимов А. О.,
Мазиров М. А., Чебаненко С. И., 2025

УДК 631.4
ББК 40.3

Авторы-составители: Е. М. Шентерова (гл. 1 – 6; введение; заключение; лабораторные работы № 1 – 34); А. О. Рагимов (гл. 7 – 13; глоссарий; лабораторные работы № 35 – 68); М. А. Мазиров (гл. 14; лабораторная работа № 69); С. И. Чебаненко (гл. 15; лабораторная работа № 70)

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор
профессор кафедры земледелия и методики опытного дела
Российского государственного аграрного университета – МСХА
имени К. А. Тимирязева
О. А. Савоськина

Доктор биологических наук, доцент
профессор кафедры биологии и экологии
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Н. В. Мищенко

Кандидат биологических наук, доцент
доцент кафедры биологии и экологии
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Н. В. Чугай

Химическое загрязнение почв [Электронный ресурс] : учеб. пособие / авт.-сост.: Е. М. Шентерова [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – 604 с. – ISBN 978-5-9984-2057-3. – Электрон. дан. (8,73 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены агрометеорологические условия и их влияние на продуктивность сельскохозяйственного производства, описаны сущность опасных для сельского и лесного хозяйства явлений природы и меры по предотвращению их пагубного воздействия.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям бакалавриата 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.05 «Садоводство», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 103. Табл. 42. Библиогр.: 56 назв.

ISBN 978-5-9984-2057-3

© Шентерова Е. М., Рагимов А. О.,
Мазиров М. А., Чебаненко С. И., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
Глава 1. ПЕДОСФЕРА ЗЕМЛИ И ЕЕ УСТРОЙСТВО	12
1.1. Педосфера и ее границы	12
1.2. Основные факторы, определяющие процесс почвообразования	13
1.3. Основные процессы почвообразования	16
1.4. Строение и химический состав литосферы	28
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>36</i>
Глава 2. МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ	37
2.1. Природная среда. Основные свойства и понятия	37
2.2. Миграция химических элементов.....	40
2.3. Факторы миграции химических элементов	48
2.4. Геохимические барьеры.....	49
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>54</i>
Глава 3. ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	55
3.1. Загрязнение и его виды	55
3.2. Классификации загрязняющих веществ	66
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>74</i>
Глава 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ	75
4.1. Тяжелые металлы	75
4.2. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду.....	77
4.2.1. Мышьяк	77
4.2.2. Селен.....	79
4.2.3. Бор	80
4.2.4. Свинец	81
4.2.5. Ртуть	86
4.2.6. Кадмий	90
4.2.7. Цинк	93
4.2.8. Фтор	99

4.2.9. Хром	100
4.2.10. Кобальт	105
4.2.11. Молибден.....	108
4.2.12. Никель.....	113
4.2.13. Медь	117
4.2.14. Ванадий-V	122
4.2.15. Вольфрам.....	126
4.2.16. Марганец	128
<i>Контрольные вопросы</i>	145

Глава 5. МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ	146
<i>Контрольные вопросы</i>	159

Глава 6. ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ..	160
6.1. Механизмы в почве при поступлении тяжелых металлов	160
6.2. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях ...	163
6.3. Экологические последствия загрязнения почв	169
6.4. Закономерности распределения металлов в растительных организмах.....	172
<i>Контрольные вопросы</i>	177

Глава 7. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ	178
<i>Контрольные вопросы</i>	204

Глава 8. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ	205
8.1. Содержание химических элементов в живом веществе.....	205
8.2. Химический состав биосферы и здоровье человека.....	215
<i>Контрольные вопросы</i>	221

Глава 9. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ	222
<i>Контрольные вопросы</i>	235

Глава 10. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ	236
10.1. Радиоактивное загрязнение почвы	236

10.2. Миграция и механизмы взаимодействия радионуклидов с почвой	250
10.3. Распределение радионуклидов в почвах различных экосистем	266
10.4. Воздействие радиоактивного излучения на живые компоненты окружающей среды	271
<i>Контрольные вопросы</i>	275

Глава 11. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ БИОЦИДАМИ, МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ УДОБРЕНИЯМИ	276
11.1. Загрязнение почв биоцидами	276
11.2. Загрязнение почв минеральными и органическими удобрениями.....	289
11.3. Загрязнение почв органическими удобрениями	295
<i>Контрольные вопросы</i>	306

Глава 12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	307
12.1. Экологические последствия применения пестицидов	307
12.2. Экологические последствия применения минеральных удобрений	314
12.3. Экологические последствия нефтяного загрязнения	320
<i>Контрольные вопросы</i>	333

Глава 13. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ	334
Безопасное обращение с отходами – одна из наиболее актуальных современных экологических проблем.....	334
<i>Контрольные вопросы</i>	364

Глава 14. НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ	365
<i>Контрольные вопросы</i>	379

Глава 15. НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ	381
<i>Контрольные вопросы</i>	394

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	396
<i>Лабораторная работа № 1. ОТБОР И ПОДГОТОВКА</i> ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	396
<i>Лабораторная работа № 2. ПОДГОТОВКА ПОЧВЕННЫХ</i> ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	397
<i>Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ</i> МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДАМИ ПРЯМОЙ МИКРОСКОПИИ	399
<i>Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ</i> МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДОМ ВИНОГРАДСКОГО	399
<i>Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ</i> МИКРООРГАНИЗМОВ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ	401
<i>Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ</i> ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДОМ ПОСЕВА НА ПЛОТНЫЕ ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ	403
<i>Лабораторная работа № 7. ПРИГОТОВЛЕНИЕ СРЕД</i>	405
<i>Лабораторная работа № 8. ПОДГОТОВКА ПОСУДЫ</i> И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПОСЕВА ..	407
<i>Лабораторная работа № 9. УЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ</i> МИКРООРГАНИЗМОВ	410
<i>Лабораторная работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ</i> ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДОМ КОМОЧКОВ ОБРАСТАНИЯ	412
<i>Лабораторная работа № 11. МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА</i> МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ БИОМАССЫ В ПОЧВЕ	413
<i>Лабораторная работа № 12. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ</i> ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ В ПОЧВЕ ПО ДАННЫМ МИКРОСКОПИИ И ПОСЕВА	414
<i>Лабораторная работа № 13. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ</i> ГРУПП ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИЙ	415
<i>Лабораторная работа № 14. ИССЛЕДОВАНИЕ</i> АКТИНОМИЦЕТОВ	423
<i>Лабораторная работа № 15. ИССЛЕДОВАНИЕ</i> МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ	427

Лабораторная работа № 16. ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ	438
Лабораторная работа № 17. ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ.....	442
Лабораторная работа № 18. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ	450
Лабораторная работа № 19. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОЧВЕ. РЕГИДРАТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ МИКРООРГАНИЗМОВ	453
Лабораторная работа № 20. ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ МЕТОДОМ ФУМИГАЦИИ-ЭКСТРАКЦИИ	456
Лабораторная работа № 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ. ПОКАЗАТЕЛИ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПО ДАННЫМ МЕТОДА ПОСЕВА	460
Лабораторная работа № 22. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ И АКТИНОМИЦЕТОВ ПО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РОСТА.....	462
Лабораторная работа № 23. АНТАГОНИЗМ МИКРООРГАНИЗМОВ.....	463
Лабораторная работа № 24. МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.....	464
Лабораторная работа № 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПО ЕЕ ЦВЕТУ И РАЗВИТИЮ РАСТЕНИЙ.....	468
Лабораторная работа № 26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ЗАСОЛЕНИЮ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА.....	470
Лабораторная работа № 27. РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВЫ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НЕКОТОРЫХ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ	471
Лабораторная работа № 28. ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ.....	474
Лабораторная работа № 29. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ВСХОЖЕСТЬ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПРОРОСТКОВ КРЕСС-САЛАТА.....	475

Лабораторная работа № 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПОЧВОЙ КАК ТЕСТ НА ПЛОТНОСТЬ ЕЕ ЗАСЕЛЕНИЯ ЖИВЫМИ ОРГАНИЗМАМИ	477
Лабораторная работа № 31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО «ДЫХАНИЯ»	479
Лабораторная работа № 32. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫХАНИЯ ПОЧВ	480
Лабораторная работа № 33. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ УРЕАЗЫ	481
Лабораторная работа № 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ	483
Лабораторная работа № 35. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ	485
Лабораторная работа № 36. ТЕСТ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ ИЛИ ПОЧВЫ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТЕНИЙ	487
Лабораторная работа № 37. РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ВЫМОКАНИЮ	488
Лабораторная работа № 38. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ	489
Лабораторная работа № 39. ИЗУЧЕНИЕ ФИТОНЦИДНЫХ СВОЙСТВ КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ МЕТОДОМ БИОТЕСТА	490
Лабораторная работа № 40. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБОВ- АНТАГОНИСТОВ И ИХ БАКТЕРИОСТАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	492
Лабораторная работа № 41. СРАВНЕНИЕ ЖИЗНЕННОЙ ФОРМЫ ОДНОГО ВИДА РАСТЕНИЯ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	499
Лабораторная работа № 42. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ ДОЗИРОВКИ $ZnSO_4$ НА РАЗВИТИЕ АСПЕРГИЛЛА (<i>ASPERGILLUS NIGER</i>)	500
Лабораторная работа № 43. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ НА УРОЖАЙ РАСТЕНИЙ	502

Лабораторная работа № 44. БИОТЕСТИРОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ СУБСТРАТОВ ПО ПРОРОСТКАМ РАЗЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ.....	504
Лабораторная работа № 45. МЕТОД ПОЛИВА ПРОРОСТКОВ РАСТЕНИЙ ИСПЫТУЕМОЙ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДОЙ	506
Лабораторная работа № 46. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ СЕРНИСТОГО ГАЗА, ПОЧВ, ВОДЫ, ПЕСТИЦИДОВ МЕТОДОМ ВЫСЕЧЕК ЛИСТЬЕВ (ПО РАЗРУШЕНИЮ ХЛОРОФИЛЛА).....	509
Лабораторная работа № 47. ОЦЕНКА ФИТОНЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ И ТОКСИЧНОСТИ ОСЕДАЮЩЕЙ НА НИХ ПЫЛИ В ОПЫТАХ С ПРОСТЕЙШИМИ И НАСЕКОМЫМИ	511
Лабораторная работа № 48. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ. МЕТОД СТЕКОЛ ОБРАСТАНИЯ (ПО РОССИ-ХОЛОДНОМУ).....	513
Лабораторная работа № 49. ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ.....	514
Лабораторная работа № 50. ПОПУЛЯЦИИ РЕДУЦЕНТОВ КАК ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ПОЧВ	515
Лабораторная работа № 51. ФИТОИНДИКАЦИЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В БИОИНДИКАЦИИ	518
Лабораторная работа № 52. ЗООЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	520
Лабораторная работа № 53. УЧЕТ МЕЛКИХ ПОЧВЕННЫХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ.....	526
Лабораторная работа № 54. ТРОФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФАУНЫ	529
Лабораторная работа № 55. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПОЧВЕННО-ЗООЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	530
Лабораторная работа № 56. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ	532
Лабораторная работа № 57. ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ДЫХАНИЯ» ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ПО КАРПАЧЕВСКОМУ, КИСЕЛЕВОЙ	549

<i>Лабораторная работа № 58. АНАЛИЗ СОСТАВА</i> <i>ПОЧВЕННОГО ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ПГА-75.....</i>	<i>550</i>
<i>Лабораторная работа № 59. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫХАНИЯ</i> <i>ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ ПГА-76.....</i>	<i>554</i>
<i>Лабораторная работа № 60. ОПРЕДЕЛЕНИЕ</i> <i>ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ</i> <i>ПО РОУЭЛЛУ.....</i>	<i>555</i>
<i>Лабораторная работа № 61. АППЛИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ....</i>	<i>557</i>
<i>Лабораторная работа № 62. ОПРЕДЕЛЕНИЕ</i> <i>ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ</i>	<i>557</i>
<i>Лабораторная работа № 63. ОПРЕДЕЛЕНИЕ</i> <i>ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ СВОБОДНЫХ</i> <i>АМИНОКИСЛОТ</i>	<i>558</i>
<i>Лабораторная работа № 64. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОТЕАЗНОЙ</i> <i>АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ФОТОБУМАЖНОЙ</i> <i>АВТОГРАФИИ</i>	<i>559</i>
<i>Лабораторная работа № 65. ОПРЕДЕЛЕНИЕ</i> <i>НИТРИФИЦИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ</i>	<i>560</i>
<i>Лабораторная работа № 66. СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ</i> <i>МОЧЕВИНЫ ПО АРИСТОВСКОЙ, ЧУГУНОВОЙ</i>	<i>561</i>
<i>Лабораторная работа № 67. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ</i> <i>ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ.....</i>	<i>562</i>
<i>Лабораторная работа № 68. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО</i> <i>ПОКАЗАТЕЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ</i>	<i>566</i>
<i>Лабораторная работа № 69. ЗООЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ</i> <i>ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ. УЧЕТ КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ</i> <i>БЕСПОЗВОНОЧНЫХ.....</i>	<i>568</i>
<i>Лабораторная работа № 70. УЧЕТ МЕЛКИХ ПОЧВЕННЫХ</i> <i>ЧЛЕНИСТОНОГИХ.....</i>	<i>571</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	574
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	575
ГЛОССАРИЙ	581
ПРИЛОЖЕНИЕ	599

ВВЕДЕНИЕ

Химическое загрязнение почв – это накопление химических веществ в почвах и грунтах в результате хозяйственной и иной деятельности в количествах, ухудшающих качество почв и грунтов и представляющих потенциальную опасность для здоровья населения и объектов окружающей природной среды.

Загрязнение почвенного покрова происходит практически при всех видах хозяйственной деятельности человека. Основными источниками загрязнения почв в России являются промышленные отходы производства черных и цветных металлов, а также отходы химической промышленности и ее продукция (органические химические соединения, продукты неорганической химии, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и др.).

Перед человечеством стоит острая проблема сильного загрязнения почвы. Полностью исключить его невозможно, однако вполне реально значительно снизить уровень опасности и деградации плодородного слоя.

Допустимые нормы загрязнений контролируются специальными нормативами, регулирующими органами и законодательными актами. В нашей стране такой контроль осуществляет федеральная служба «Росприроднадзор» [7].

Для определения степени загрязнения берутся пробы почв, проводятся физико-химические анализы и делаются выводы о степени угрозы и необходимых мерах для её снижения.

Глава 1. ПЕДОСФЕРА ЗЕМЛИ И ЕЕ УСТРОЙСТВО

1.1. Педосфера и ее границы

Почвенный покров является важнейшим компонентом биосферы, так как именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере в целом (рис 1.1.). Особые свойства и функции почвенного покрова проявляются в плодородии почв, в их способности производить органическую биомассу. Как показывают расчеты, основная масса живого вещества продуцируется именно на суше.

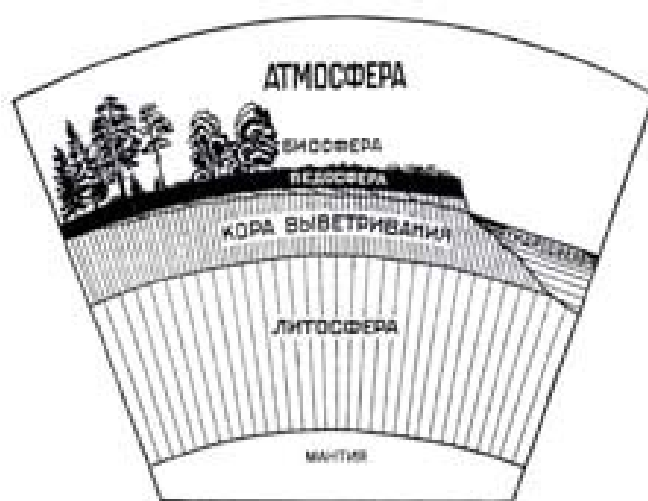


Рис. 1.1. Педосфера и ее границы

Почвы обеспечивают существование наземной растительности, которая использует солнечную энергию в 9 раз интенсивнее, чем живое вещество океана.

Через почву проходят наиболее значительные потоки многих элементов в биосфере: углерода, кислорода, азота, калия, магния, фосфора, серы и др.

Важнейшее значение почв состоит и в аккумуляции органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Запасы углерода в почвенном гумусе, по крайней мере, на порядок превышают его запасы в живом веществе, а количество аккумуляции

в органическом веществе почв энергии на порядок выше энергии биомассы суши и вполне сопоставимо с энергией горючих полезных ископаемых[10].

Почвенный покров служит биологическим поглотителем и преобразователем различных загрязняющих веществ, способным предотвращать распространение последних в сопредельные среды. Почва представляет собой незаменимую часть механизма функционирования биосферы, разрушение которого приведет к необратимым негативным последствиям в биосфере в целом.

Помимо исключительно важной роли в сохранении биосферы в целом, почвы имеют также огромное значение в решении продовольственной безопасности человечества.

***Продовольственная безопасность** – состояние, характеризующееся постоянным физическим, социальным и экономическим доступом для всех людей к достаточному по объему, безопасному и питательному продовольствию, необходимому для удовлетворения их потребностей в полноценном питании и пищевых привычек, и поддержания активного и здорового образа жизни.*

Состояние почв оказывает воздействие на окружающую среду и природные ресурсы, уровень экономического и социального развития государства, здоровье населения. Без решения проблем охраны почв невозможно устойчивое развитие биосферы, безопасность и благополучие нынешнего и будущих поколений людей [12].

***Почва** – это самостоятельное естественно-историческое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия.*

1.2. Основные факторы, определяющие процесс почвообразования

***Почвообразование** - процесс развития почв, почвенного покрова под влиянием природных и антропогенных факторов.*

***Почвообразование** - это совокупность явлений, протекающих под влиянием солнечной энергии в поверхностном слое земной коры при*

взаимодействии живых организмов и продуктов их распада с минеральными соединениями воды и воздуха.

Почвообразование (почвообразовательный процесс или педогенез) - природный биофизико-химический процесс образования почвы из поверхностных слоёв горных пород под совокупным воздействием факторов почвообразования (климат, рельеф, горные породы, организмы и время).

В агрономическом почвоведении большое значение также имеют антропогенные факторы, оказывающие всё большее воздействие на почвообразование (рис.1.2.).



Рис. 1.2. Почвообразующие факторы

1. Почвообразующие (материнские) горные породы определяют химический состав, физико-химические свойства, мощность, строение по вертикали и горизонтали, тепловые и водно-химические свойства;
2. Климат создает определенный водный, воздушный и тепловой режимы;
3. Рельеф перераспределяет влагу и тепло, определяет развитие почвенно-эрозионных процессов;
4. Живые организмы обеспечивают почвы органическим веществом, влияют на водный и воздушный режимы;

5. Время обеспечивает развитие и эволюцию почв;

Кроме того, к факторам почвообразования можно отнести подземные и морские воды, которые могут оказывать существенное влияние на водный и воздушный режимы, на химические свойства почв.

В настоящее время мощное воздействие на почвообразовательные процессы оказывает хозяйственная деятельность человека.

Все процессы, происходящие в почвенной толще, делятся на 4 основные группы:

- микропроцессы (прямые и обратные процессы),
- макропроцессы (элементарные почвообразовательные)
- частные процессы
- общие почвообразовательные процессы.

***Микропроцессы** – это наиболее простые и многочисленные процессы и явления в почвах, идущие на молекулярном, ионном, атомном и подобных уровнях.*

К микропроцессам относят:

- Абсорбция газов почвой и выделение газов в атмосферу и др.
- Восходящие и нисходящие токи влаги в почвенном профиле;
- Гидратация и дегидратация минеральных соединений;
- Коагуляция и пептизация почвенных коллоидов;
- Нагревание и охлаждение почвы;
- Окислительные и восстановительные процессы;
- Поглощение живыми организмами из почвы минеральных веществ и синтез органических соединений; выделение живыми организмами в почву органических и минеральных веществ;
- Подкисление почв органическими кислотами; нейтрализация почвенных растворов основаниями;
- Разложение и минерализация органических остатков; синтез новых органических веществ, свойственных почве;
- Разрушение первичных и вторичных минералов; синтез новых минералов;
- Увлажнение и иссушение почвы;

***Почвенные макропроцессы** - это процессы, которые обязательно имеют своим конечным или промежуточным результатом изменение в твёрдой фазе почвообразующей породы или почвы.*

Макропроцессы, объединяют в следующие группы:

- Миграционные процессы.
- Элементарные процессы, в которых ведущую роль играют разложение и трансформация органического вещества;
- Элементарные процессы, в которых ведущую роль играют разложение и трансформация минерального вещества;

***Частные почвообразовательные процессы** - это горизонтообразующие, которые определяют формирование генетических горизонтов в почвенном профиле.*

Совокупность частных почвообразовательных процессов формирует общий процесс, результатом которого является определенный почвенный профиль.

1.3. Основные процессы почвообразования

***Болотный процесс** – процесс развивается под влиянием болотной растительности в условиях постоянного избыточного увлажнения. Идет процесс торфообразования - накопления на поверхности почвы полуразложившихся растительных остатков в результате замедленной их гумификации и минерализации в условиях избыточного увлажнения.*

***Гумификация** - это совокупность биохимических и физико-химических процессов, в результате которых органические вещества индивидуальной природы превращаются в специфические гумусовые вещества.*

***Дерновый процесс** - образование гумусового горизонта, состоящего, по крайней мере, наполовину по объему из корневых систем растений.*

***Засоление** - процесс накопления в почвенной толще легкорастворимых солей из минерализованных грунтовых вод при выпотном водном режиме.*

***Латеритизация** - разрушение первичных и вторичных минералов (алюмо- и ферросиликатов) в условиях жаркого и влажного климата, сопровождающееся накоплением окислов железа и алюминия.*

***Лессиваж** - вынос из верхних горизонтов в нижние, илестых частиц без их химического разрушения.*

***Оглеение** - процессы восстановления различных соединений, главным образом окислов железа и алюминия в анаэробных условиях, возникающих при временном или постоянном переувлажнении.*

Оглинение - процесс внутрипочвенного выветривания первичных минералов с образованием и относительным накоплением *in situ* вторичных глинистых минералов.

Оподзоливание - разрушение (кислотный гидролиз) в верхних горизонтах первичных и вторичных глинистых минералов и вынос продуктов разрушения в нижележащие горизонты.

Осолодение - разрушение (щелочной гидролиз) в верхних горизонтах первичных и вторичных глинистых минералов и вынос продуктов разрушения в нижележащие горизонты.

Осолонцевание - процесс накопления в почвенном поглощающем комплексе (ППК) большого количества обменного натрия и магния, сопровождающееся пептизацией почвенных коллоидов и выщелачиванием их из верхнего горизонта. В состоянии геля коллоиды накапливаются на некоторой глубине, создавая плотный солонцовый горизонт.

Биологический круговорот веществ в почве можно представить в виде трех процессов (рис.1.3):



Рис. 1.3. Биологический круговорот веществ в почве

Органические остатки трансформируются в гумус.

Гумусообразование – это совокупность сложных биохимических процессов, в результате которых органические вещества индивидуальной природы превращаются в гумусовые вещества с общими чертами строения и свойствами

Органическое вещество почвы - это сложное сочетание растительных и животных остатков, находящихся на различных стадиях разложения, и специфических почвенных органических веществ.

Гумус – основная часть органического вещества почвы, утратившая черты анатомического строения организмов.

Основная роль в разложении, трансформации и минерализации органических остатков в почве принадлежит микроорганизмам, среди которых наиболее многочисленными являются бактерии.

Почвенная микрофлора принимает участие в процессах:

- **Азотфиксация** - это процесс восстановления молекулярного азота атмосферы до аммиака, осуществляемый азотфиксирующими (дiazотрофными) бактериями - азотфиксаторами.
- **Нитрификация** - это биологический процесс превращения аммонийного азота сначала в нитриты, а затем в нитраты в аэробных условиях.
- Преобразования минералов,
- **Сульфификация**. – процесс образования сульфатов, протекающий в подземных водах абиогенным и биогенным путем.

Гетеротрофные анаэробы восстанавливают нитраты до аммиака и молекулярного азота, сульфаты до сероводорода.

Железобактерии переводят закисные формы железа в окисные.

Процесс нитрификации состоит из двух стадий:

1. Окисление солей аммония в нитриты. Осуществляется автотрофными бактериями, использующими для питания неорганический углерод.
2. Окисление образовавшихся в первой фазе солей азотистой кислоты в соли азотной кислоты. Бактерии второй стадии функционируют в узких пределах нейтральных значений pH 7,0–7,6.

При анаэробном разложении органических соединений продуктами минерализации являются летучие соединения: водород, метан, аммиак, молекулярный азот, сероводород и фосфористый водород.

Гумус - совокупность всех органических соединений, находящихся в почве, но не входящих в состав живых организмов или образований, сохраняющих анатомическое строение.

Промежуточные продукты распада и гумификации - соединения, утратившие признаки индивидуальности, но еще не имеющие специфических признаков гумусовых веществ.

Неспецифические вещества - группа органических соединений, поступающих в почву в результате разложения растительных и животных остатков, а также с корневыми выделениями и т.п.

Неспецифические вещества могут образовываться за счет разложения специфических гумусовых веществ. Данная группа соединений представлена: лигнин, целлюлоза, протеины, аминокислоты, моносахариды, воска, жирные кислоты и т.д., другими словами практически всеми компонентами, составляющими животные и растительные ткани или входящими в состав прижизненных выделений макро- и микроорганизмов [23].

Неспецифические соединения присутствуют в почвах в свободном состоянии или связаны с минеральными компонентами почвы.

Специфические гумусовые вещества - это более или менее темноокрашенные, азотсодержащие высокомолекулярные соединения кислотной природы.

Специфические гумусовые вещества представлены гумусовыми кислотами, прогуминовыми веществами и негидролизуемым остатком (гумином).

Прогуминовые вещества - вещества, не имеющие ярко выраженной природы гумусовых кислот.

Негидролизуемый остаток (гумин) - это часть органического вещества, которую не удастся извлечь из почвы растворами кислот, щелочей или органическими растворителями.

Негидролизуемый остаток включает такие группы веществ как гумусовые кислоты, прочно связанные с минеральной частью, декарбоксилированные гумусовые вещества, утратившие способность растворяться в щелочах, неспецифические и нерастворимые органические соединения, а также частично остатки, не утратившие анатомического строения (обломки хитинного покрова насекомых).

Гумусовые кислоты - высокомолекулярные азотсодержащие оксикарбоновые кислоты с интенсивной темно-бурой или красновато-бурой окраской.

Гумусовые кислоты экстрагируют из почвы растворами щелочей (0,1-0,5 н. NaOH), а затем по растворимости разделяют на

- гуминовые кислоты,
- гиматомелановые кислоты
- фульвокислоты.

Гуминовые вещества - это продукт разложения всей живой органики, в который превращаются растения после отмирания.

Гуминовые кислоты - группа тёмноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и нерастворимых в кислотах.

Гуминовые кислоты обладают высокой молекулярной массой. У них более развито ядро молекулы, в состав которого входят бензол, пиррол, пиридин и т.д. В состав периферии входят карбоксильные, фенольные, спиртовые, метаксильные и карбонильные функциональные группы (рис.1.4).

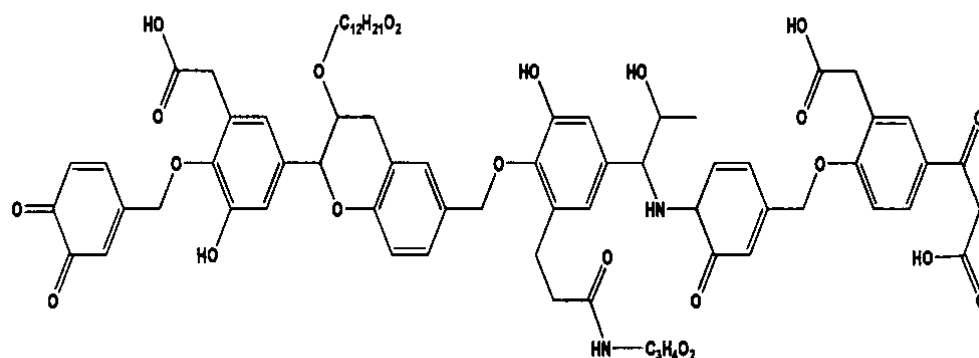


Рис. 1.4. Структурная формула гуминовой кислоты

Фульвокислоты - кислоторастворимая часть гумусовых кислот.

Фульвокислоты - это компонент гумуса, который является наиболее важной частью органического вещества почвы.

Фульвокислоты относятся к самой лёгкой фракции гумусных веществ и обладают высокой биологической активностью, связывают

минеральные элементы с органическими молекулами, повышая доступность питательных веществ, содержащихся в почве и привнесённых с удобрениями, изолируют токсичные элементы, такие как тяжёлые металлы, улучшают проницаемость клеточных мембран, повышают метаболизм, активируют ферменты и способствуют развитию корневой системы и активности биологической микрофлоры почвы[22].

Фульвокислоты от гуминовых кислот большим содержанием кислорода и меньшим содержанием углерода, более развитой периферийной частью. Фульвокислоты более активны, более подвижны, обладают большей емкостью поглощения, имеют меньшую молекулярную массу по сравнению с гуминовыми кислотами (рис.1.5).

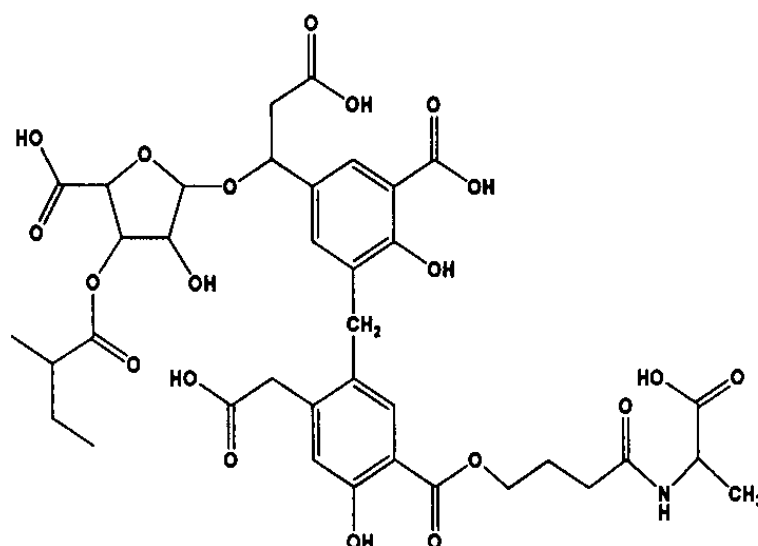


Рис. 1.5. Структурная формула фульвокислоты

Гиматомелановые кислоты - это спирторастворимая фракция гуминовых кислот.

Гиматомелановые кислоты наряду с фульвокислотами и гуминовыми кислотами, являются частью гуминовых веществ, определяющих биологическую активность гумуса.

Гиматомелановые кислоты занимают промежуточное положение по свойствам между гуминовыми и фульвокислотами.

Содержание, запасы и состав гумуса относятся к числу важнейших показателей, от уровня которых зависят практически все агрономически ценные свойства почв.

В формировании почв и почвенного плодородия гумус выполняет многочисленные функции. Оптимальное содержание гумуса в почве обеспечивает агрономически ценную структуру и благоприятный водно-воздушный режим, улучшает прогреваемость почв.

С гумусом связаны важнейшие физико-химические свойства почв: емкость катионного обмена, кислотность, буферность, развитие восстановительных процессов и т. д. При оптимальном гумусном состоянии почва максимально устойчива к действию разрушающих факторов - эрозии, дефляции, загрязнению и др. [52].

Почвенные коллоиды – совокупность мелких почвенных частиц размером менее 0,1 мкм ($d < 0,0001\text{мм}$) с большой общей удельной поверхностью.

Почвенные коллоиды образуются в результате раздробления крупных частиц при выветривании или путём конденсации молекул или ионов.

По своему происхождению и составу все почвенные коллоиды можно разделить на три группы:

Минеральные. Образуются в результате выветривания горных пород и минералов.

Органические. Образуются в процессе разложения и гумификации органических остатков.

Органо-минеральные. Образуются при взаимодействии гумусовых веществ с высокодисперсными минеральными частицами.

Чем выше содержание гумусовых веществ и чем тяжелее гранулометрический состав почв, тем выше содержание коллоидов.

Мицеллы - частицы в коллоидных системах, состоящие из нерастворимого в данной среде ядра очень малого размера, окружённого стабилизирующей оболочкой адсорбированных ионов и молекул растворителя.

Коллоидная мицелла - это основа частиц, слагающих почвенный поглощающий комплекс (ППК)

Коллоидная мицелла состоит из:

- ядра, образованного негидратированными и недиссоциированными молекулами аморфного или кристаллического вещества;
- слоя потенциалоопределяющих ионов;
- неподвижного слоя компенсирующих ионов;
- диффузного слоя компенсирующих ионов.

Ядро вместе со слоем потенциалопределяющих ионов образуют гранулу.

Гранула вместе с неподвижным слоем компенсирующих ионов образуют частицу; частица вместе с диффузным слоем компенсирующих ионов образует мицеллу (рис. 1.6.).

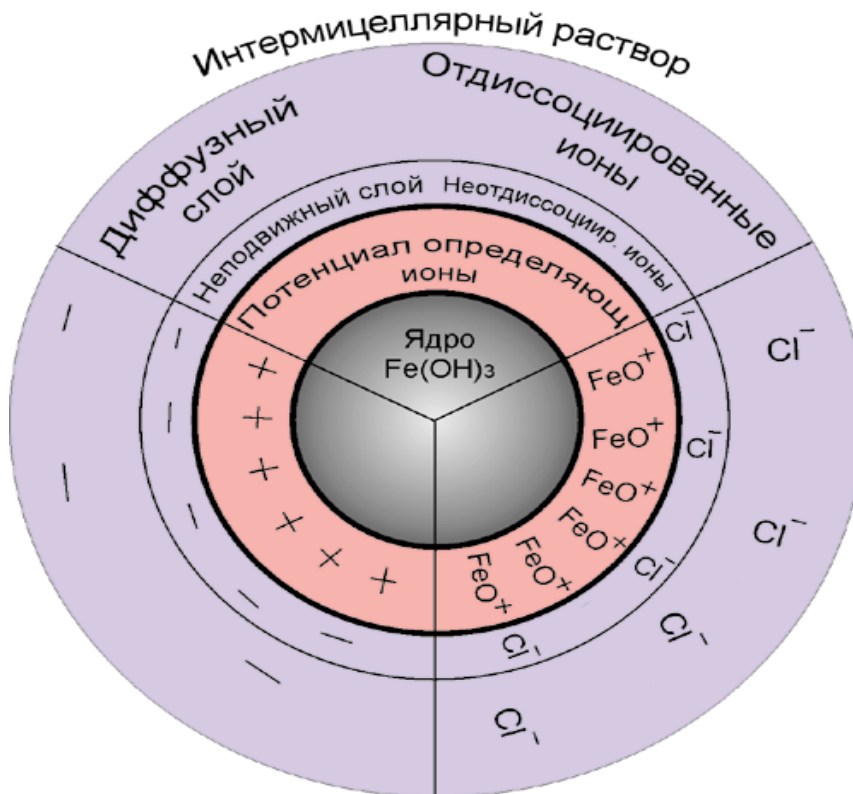


Рис.1.6. Строение коллоидной мицеллы

В зависимости от заряда выделяют следующие виды коллоидов:

Ацитоиды - коллоиды с отрицательным зарядом потенциалопределяющего слоя (глинистые минералы, гумусовые кислоты, кремневая кислота и др.);

Базоиды - коллоиды с положительным зарядом потенциалопределяющего слоя (гидроксиды железа и алюминия и др.);

Амфолитоиды - меняют заряд потенциалопределяющего слоя в зависимости от кислотно-щелочных условий (гидроксиды железа и алюминия и др.). В кислой среде они ведут себя как базоиды, а в щелочной - как ацитоиды.

По степени сродства к воде коллоиды разделяют на:

- гидрофильные, удерживающие повышенное количество воды

(минералы монтмориillonитовой группы, гумусовые кислоты, гидроксид кремния и др.)

- гидрофобные, связывающие небольшое количество воды (гидроксиды железа и алюминия, минералы группы каолинита и др.).

Коллоиды могут находиться в состоянии золя, то есть взвесей, или в виде студнеобразного осадка - геля.

Коагуляция (от лат. *coagulatio* - свертывание, сгущение) - это физико-химический процесс слипания мелких частиц дисперсных систем в более крупные агрегаты под влиянием сил сцепления с образованием коагуляционных структур.

Пептизация - это процесс, обратный коагуляции.

При пептизации частицы, находящиеся в рыхлом осадке, адсорбируют на своей поверхности одноимённые заряды, отталкиваются друг от друга и переходят в раствор, образуя золь.

Коагуляция почвенных коллоидов происходит при взаимодействии противоположно заряженных коллоидных систем, дегидратации, добавлении электролитов. При высыхании и замораживании коллоидов в почвах происходит их коагуляция. Основным коагулирующим агентом в почвах часто служат ионы кальция. Коагуляция может быть обратимой и необратимой [18].

Пептизация происходит при набухании и растворении осадка, при увеличении щелочности среды, при замене двух- и трехвалентных катионов на одновалентные катионы калия, натрия и аммония [1].

Поглотительная способность почв - это способность почвы поглощать твёрдые взвешенные частицы, целые молекулы веществ или их часть и удерживать их в себе.

Существует пять видов поглотительной способности почв:

- Механическая. Способность почвы задерживать взвешенные твёрдые частицы из фильтрующихся суспензий крупнее почвенных пор.
- Биологическая. Обусловлена жизнедеятельностью растений и микроорганизмов почвы, которые поглощают из неё необходимые для жизни элементы и переводят их в органические соединения своего тела.
- Химическая. Способность почвы закреплять нерастворимые соединения, образующиеся в результате химических обменных

реакций в почвенном растворе или при взаимодействии с твёрдой частью почвы.

- Физическая. Способность почвы поглощать и удерживать в себе целые молекулы веществ на поверхности своих частиц.
- Физико-химическая. Способность почвы поглощать из раствора различные катионы или анионы, отдавая в обмен эквивалентное количество ионов твёрдой фазы.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) - это совокупность минеральных и органических коллоидов почвы вместе с поглощенными ими ионами.

Почвенный поглощающий комплекс состоит из двух частей:

- коллоидов-адсорбентов
- адсорбируемых веществ - различных катионов и анионов.

В состав коллоидов-адсорбентов входят:

- Минеральные вещества,
- Органические вещества
- Органо- минеральные вещества.

Минеральные вещества (минеральные почвенные коллоиды)

- Группа глинистых минералов (монтмориллонит, бейделлит, каолинит, галлуазит, аллофаны и др.) - отрицательно заряженные коллоиды;
- Гидраты окиси кремния и марганца ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mn}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$) - отрицательно заряженные коллоиды;
- Гидроксиды железа и алюминия ($\text{Fe}(\text{OH})_3 \times n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Al}(\text{OH})_3 \times n\text{H}_2\text{O}$) - амфолитоиды. В кислой среде они заряжены положительно, в щелочной - отрицательно.

Органические вещества (Органические почвенные коллоиды)

- Коллоиды гумусовых веществ и прежде всего гуминовой кислоты - отрицательно заряженные коллоиды;
- Тела некоторых мелких бактерий, обладающих свойством физико-химического поглощения и обмена. У белковых тел в зависимости от реакции среды заряд может быть отрицательным или положительным.

Разные типы почв отличаются не только величиной емкости поглощения, но и составом поглощенных катионов.

Почвы, поглощенные катионы которых представлены катионами металлов, называются **насыщенными**.

Почвы, содержащие в составе ППК ионы водорода и алюминия, называются **ненасыщенными**.

Почвенный раствор - это жидкая фаза почвы вместе с растворенными в ней веществами.

Почвенный раствор - это вода с растворенными в ней газами, минеральными и органическими веществами, попавшими в почву из атмосферы.

Почвенный раствор - это водный раствор, находящийся в квазиравновесии с твёрдыми и газообразными фазами почвы, частично или полностью заполняющий её поровое пространство в природных условиях.

В почвах с промывным типом водного режима в почвенном растворе преобладают органические кислоты и их соли; в южных степных и полупустынных почвах - минеральные кислоты и их соли; в черноземах данное соотношение примерно одинаковое [3].

Кислотность почвы - это способность почвы проявлять свойства кислот.

Реакция почвы – физико-химическое свойство почвы, связанное с содержанием ионов H^+ и OH^- в ее твердой и жидкой частях.

Реакция почвы кислая, если в ней преобладают ионы H^+ , и щелочная, если ионы OH^- .

Кислотность почвы - это свойство почвы, определяющее её способность подкислять почвенный раствор.

Кислотность почвенных растворов обусловлена присутствием в почве органических и минеральных кислот, кислых и гидролитически кислых солей, а также поглощенных (обменных) ионов H^+ и Al^{3+} .

Различают следующие виды почвенной кислотности:

- актуальная (активная)
- потенциальная, которая в свою очередь подразделяется на обменную и гидролитическую.

Актуальная кислотность обусловлена содержанием свободных ионов водорода в почвенном растворе и действует непосредственно на корневую систему и почвенные микроорганизмы. При определении этой формы кислотности концентрацию водородных ионов выражают в условных единицах, обозначая символом рН.

Потенциальная кислотность зависит от наличия ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе, обладающих способностью обмениваться на другие ионы. В определение потенциальной кислотности входят обменная кислотность и гидролитическая.

Обменная кислотность определяется взаимодействием почвенно-поглощающего комплекса (ППК) с нейтральными солями.

Гидролитическая кислотность обусловлена наличием ионов водорода, более прочно связанных с ППК и вытесняемых при взаимодействии почвы с растворами гидролитически щелочных солей или щелочей [5].

Щелочность почвы - способность почвы подщелачивать почвенный раствор вследствие наличия в составе почвы гидролитически щелочных солей (актуальная щелочность), а также обменного натрия (потенциальная щелочность).

Щелочность почв принято оценивать только по значениям актуальной щелочности.

Буферность - способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора.

Различают буферность против подкисления и буферность против подщелачивания.

Почвы, не насыщенные основаниями, имеющие в составе ППК обменные катионы водорода и алюминия, обладают высокой буферностью против подщелачивания и низкой - против подкисления. И наоборот, почвы, насыщенные основаниями, обладают высокой буферностью против подкисления и низкой - против подщелачивания. Буферность почвы увеличивается с утяжелением гранулометрического состава и увеличением содержания гумуса. Буферность почв определяет их устойчивость к техногенным воздействиям.

Химические элементы в почвах входят в состав живых организмов, органических и минеральных соединений, почвенных растворов, газовых смесей.

Кларковое число (или кларки элементов) - числа, выражающие среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле, космических телах, геохимических или космохимических системах и др. по отношению к общей массе этой системы.

При определении кларковых содержаний химических элементов в почвах обычно учитываются все формы нахождения элементов в сумме, за исключением газовых смесей, что отражает таблица 1.1.

Таблица 1.1.

Кларки химических элементов в почвах, % массы

Элемент	Почвы	Элемент	Почвы
Ag	$n \times 10^{-5}$	Li	3×10^{-3}
Al	7,13	Mg	$6,3 \times 10^{-1}$
As	5×10^{-4}	Mn	$8,5 \times 10^{-2}$
B	1×10^{-3}	Mo	2×10^{-4}
Ba	5×10^{-2}	N	1×10^{-1}
Be	6×10^{-4}	Na	$6,3 \times 10^{-1}$
Br	5×10^{-4}	Ni	4×10^{-3}
Ca	1,37	P	8×10^{-2}
Cd	5×10^{-5}	Pb	1×10^{-3}
Ce	5×10^{-3}	Rb	1×10^{-2}
Cl	1×10^{-2}	S	$8,5 \times 10^{-2}$
Co	8×10^{-4}	Sc	7×10^{-4}
Cr	2×10^{-2}	Se	1×10^{-6}
Cs	5×10^{-4}	Si	33
Cu	2×10^{-3}	Sn	1×10^{-3}
F	2×10^{-2}	Sr	3×10^{-2}
Fe	3,8	Th	6×10^{-4}
Ga	3×10^{-3}	Ti	$4,6 \times 10^{-1}$
Ge	$n \times 10^{-4}$	U	5×10^{-4}
Hf	6×10^{-4}	V	1×10^{-2}
Hg	1×10^{-6}	Y	5×10^{-3}
J	5×10^{-4}	Zn	5×10^{-3}
K	1,36	Zr	3×10^{-2}
La	4×10^{-3}		

1.4. Строение и химический состав литосферы

Литосфера – это твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю часть мантии.

Литосфера - внешняя твердая оболочка Земли, которая включает всю земную кору с частью верхней мантии Земли, до астеносферы.

Нижняя граница литосферы нечеткая и определяется резким уменьшением вязкости пород, изменением скорости распространения

сейсмических волн и увеличением электропроводности пород. Мощность литосферы в разных областях Земли изменяется от 20 до 150-200 километров и более. В целом под континентами она толще, чем под океанами [37].

Под литосферой располагается астеносфера, составляющая внешнюю часть мантии.

Астеносфера ведёт себя как перегретая и чрезвычайно вязкая жидкость, где происходит понижение скорости сейсмических волн, свидетельствуя об изменении пластичности пород (рис.1.7.).

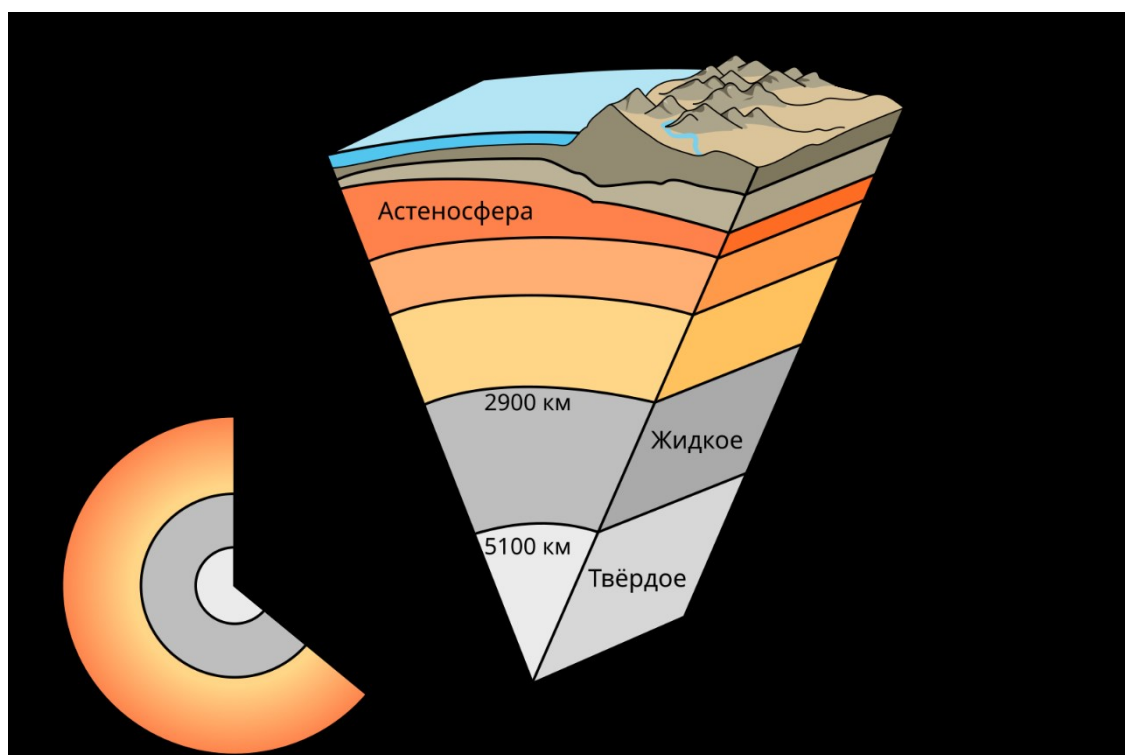


Рис.1.7. Строение литосферы

В строении литосферы выделяют подвижные области (складчатые пояса) и относительно стабильные платформы.

Блоки литосферы - литосферные плиты - двигаются по относительно пластичной астеносфере.

Литосферная плита - это крупный малоподвижный участок земной коры, часть литосферы.

Литосферные плиты отделены друг от друга глубокими разломами.

Выделяют очень крупные и несколько более мелких литосферных плит, которые постоянно, но медленно перемещаются со средней скоростью около 5 сантиметров в год.

- Австралийская плита.
- Антарктическая плита.
- Аравийская плита.
- Африканская плита.
- Евразийская плита.
- Индостанская плита.
- Тихоокеанская плита.
- Северо-Американская плита.
- Сомалийская плита.
- Южно-Американская плита.
- Филиппинская плита.
- Плита Кокос.
- Плита Наска.

Некоторые плиты полностью океанические, но большинство имеют разные типы земной коры.

Литосферные плиты движутся относительно друг друга в разных направлениях: или отодвигаются, или, наоборот, сближаются и сталкиваются.

В составе литосферных плит перемещается и их верхняя часть - земная кора. Благодаря движению литосферных плит меняется расположение на поверхности Земли материков и океанов. Материки то сталкиваются между собой, то отодвигаются друг от друга на тысячи километров.

Земная кора - внешняя твёрдая оболочка (кора) Земли, верхняя часть литосферы

Земная кора - это верхняя часть твёрдой Земли, отделенная от мантии границей с резким повышением скоростей сейсмических волн - границей Мохоровичича (или в упрощенном виде границей Мохо).

Поверхность или граница Мохоровичича - это нижняя граница земной коры, отделяющая земную кору от мантии (рис. 1.8.).

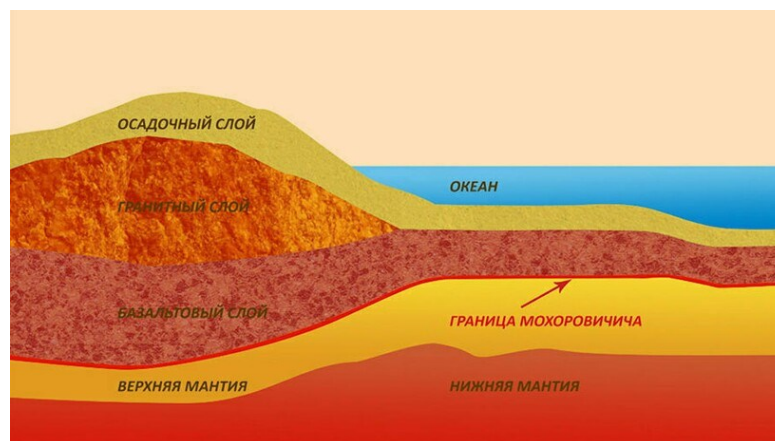


Рис. 1.8. Поверхность или граница Мохоровичича

На материках граница Мохо обычно располагается на глубинах от 30 до 80 км, а на дне океанов - от 5 до 15 км.

Наибольшая мощность коры (до 75- 80 км) характерна для участков континентальных горных хребтов.

Масса земной коры оценивается в $2,8 \cdot 10^{19}$ тонн, что составляет лишь 0,5 % общей массы Земли.

Выделяют два основных типа земной коры (рис. 1.9.):

- континентальная (материковая) кора;
- океаническая кора.

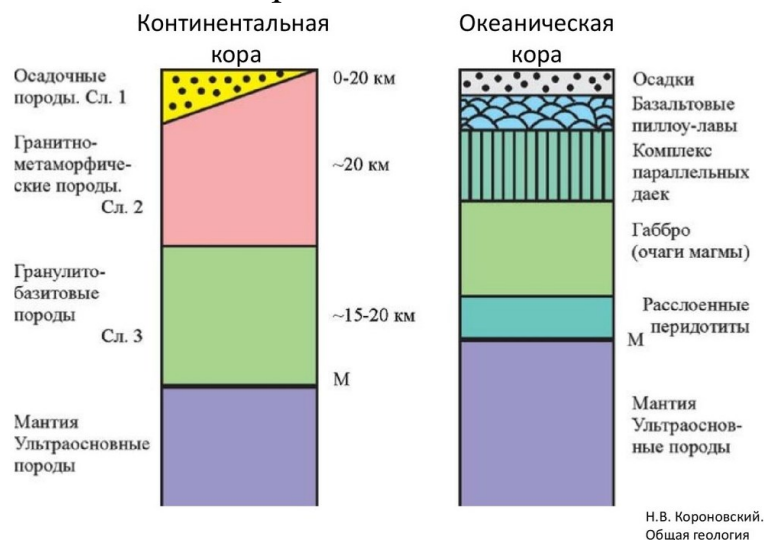


Рис. 1.9. Основные типы земной коры

Земная кора под океанами и континентами значительно различается.

Континентальная кора - это земная кора континентов, которая состоит из осадочного, гранитного и гранулит-базальтового пластов.

Океаническая кора - это тип земной коры, распространённый в океанах, которая отличается меньшей мощностью (толщиной) и базальтовым составом.

Континентальная кора составляет более половины массы коры в целом. Континентальная кора содержит меньше железа, кальция и магния, нежели океаническая кора, но намного больше кремния, алюминия, натрия и калия, то есть более легких элементов. Земная кора под континентами состоит из осадочного, гранитного и базальтового слоев. Земная кора под океанами сильно обеднена легкоплавкими редкими элементами, а гранитный слой полностью отсутствует.

Верхняя часть континентальной земной коры представляет собой прерывистый слой, состоящий из осадочных и вулканических горных пород (верхний слой). Ниже расположен гранитный слой (средний слой), состоящий из гнейсов и гранитов, под которым находится базальтовый слой (нижний слой), сложенный метаморфическими горными породами, базальтами и габбро.

Земная кора под океанами также подразделяется на несколько слоёв. Верхний слой (осадочный), мощностью в среднем около 0,5 км, состоит преимущественно из тонких металлоносных осадков с наиболее высокой концентрацией оксидов железа (верхний слой). Средняя часть рассматриваемого слоя часто сложена карбонатными осадками, и лишь иногда в разрезах встречаются вулканогенные отложения. Ниже расположен второй слой (средний слой), состоящий, главным образом, из серпентинита, базальта и имеющий мощность 1-2,5 км. Под ним находится нижний слой, сложенный преимущественно габбро; мощность данного слоя в среднем составляет 2-5 км. [49].

Мантия - часть Земли (геосфера), расположенная непосредственно под корой и выше ядра. В ней находится большая часть вещества Земли.

Мантия составляет 67,8 % массы Земли и около 89 % её объёма (без учёта атмосферы). Она простирается от границы с земной корой (на глубине 5-80 километров) до границы с ядром на глубине около 2900 км. Мантия занимает огромный диапазон глубин, и с увеличением

давления в веществе происходят фазовые переходы, при которых минералы приобретают всё более плотную структуру. В составе мантии преобладает сравнительно небольшая группа химических элементов: Si, Mg, Fe, Al и O (табл.1.2).

Таблица 1.2.

Средний химический состав мантии

Соединение	% по массе	Соединение	% по массе
SiO ₂	43-46	Na ₂ O	0,3-0,6
MgO	37-42	Cr ₂ O ₃	0,4-0,5
FeO	6-8,2	NiO	0,2-0,3
Al ₂ O ₃	3,7-5,1	MnO	0,13-0,14
CuO	2,5-3,0	K ₂ O	0,10-0,13
Fe ₂ O ₃	0,4-1,5	CaO	около 0,01
TiO ₂	0,3-0,7		

Мантия Земли включает в себя две оболочки: верхнюю мантию и нижнюю мантию (рис. 1.10.).



Рис.1.10. Строение мантии

Нижняя граница верхней мантии проходит на глубине 670 км. Верхняя мантия имеет хорошо фиксирующийся внутренний сейсмический раздел, проходящий на глубине 410 км.

При переходе этой границы сверху вниз сейсмические скорости резко возрастают, как и на нижней границе верхней мантии, происходят существенные минеральные преобразования. Согласно современ-

ным научным представлениям, состав земной мантии считается похожим на состав каменных метеоритов, в частности хондритов. Около 40% верхней мантии приходится на оливин, 30% на пироксены, 10-12% - на железоникелевый сплав, а оставшаяся часть - на плагиоклазы и троилит.

Граница нижней мантии с ядром проходит на глубине 2900 км, то есть нижняя мантия заключена между глубинами 670 и 2900 км. В настоящее время полагают, что в ее составе преобладают оксиды.

Агрегатное состояние мантии обусловлено воздействием температур и сверхвысокого давления. Из-за давления вещество почти всей мантии находится в твёрдом кристаллическом состоянии, несмотря на высокую температуру. Исключение составляет лишь астеносфера, где действие давления оказывается слабее, чем температуры, близкой к точке плавления вещества. Из-за этого эффекта, по-видимому, вещество здесь находится либо в аморфном состоянии, либо в полурасплавленном.

Ядро Земли - центральная часть планеты, которая, как предполагается, состоит из сплава железа, никеля и других металлов, и неметаллов.

Ядро - центральная, наиболее глубокая часть Земли, сфера, находящаяся под мантией и, предположительно, состоящая из железоникелевого сплава с примесью других сидерофильных элементов.

Глубина залегания ядра - 2900 км; средний радиус сферы около 3470 км. Температура в центре ядра Земли достигает 6000 °С, давление - до 360 ГПа (3,5 млн атмосфер).

Ядро разделяют на две оболочки:

- твёрдое внутреннее ядро радиусом около 1225 км
- жидкое внешнее ядро радиусом около 2250 км.

Минерал - это природное тело с определённым химическим составом и кристаллической структурой, которое образуется в результате природных физико-химических процессов.

Горные породы - это минеральные образования разного состава и происхождения, из которых состоит земная кора.

Горные породы представляют собой ту основу, на которой сформировались почвы, растительные и животные организмы. Горные породы являются постоянными источниками химических элементов, поступающие в верхние части ландшафтов.

По происхождению выделяют следующие типы горных пород:

Магматические горные породы - это породы, образовавшиеся в результате медленного остывания и затвердения магмы в земной коре или на земной поверхности.

Магматические горные породы по своему происхождению делятся на:

- Эффузивные
- Интрузивные.

Эффузивные горные породы - это вулканические горные породы, образовавшиеся при свободном излиянии (эффузии) лавы из вулканов и застывании её на поверхности Земли или дне океанов.

Интрузивные горные породы - полнокристаллические магматические горные породы, сформировавшиеся в результате застывания магмы, внедрившейся в толщи земной коры и мантии, в отличие от эффузивных горных пород, представляющих собой магму, излившуюся и затвердевшую на поверхности Земли в форме вулканической лавы.

Большая часть земной коры состоит из магматических пород. Чаще всего они покрыты другими породами и отложениями, и на поверхность выходят редко.

Осадочные горные породы - это породы, образовавшиеся в результате разрушения других пород или из остатков жизнедеятельности организмов.

Метаморфические горные породы - это породы, опустившиеся в недра Земли и изменившие свои свойства, строение и вид под воздействием высоких температур и давления. Примеры метаморфических пород: кварцит, мрамор, гнейс, и др.

Общий химический состав земной коры определяют - O, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg и K - распространены в земной коре в весовом количестве более 1%. [5].

Наиболее распространенным элементом земной коры, является кислород, составляющий примерно 47% ее массы и около 90% ее объема (табл.1.3.).

Таблица 1.3

Наиболее распространенные химические элементы, % по массе

Вселенная	Земля	Земная кора	Океан	Атмосфера	Биосфера
H - 77	Fe - 35	O - 46,6	O - 85,8	N - 78,08	O - 53
He - 21	O - 29	Si - 29,5	H - 11	O - 20,95	C - 39
O - 0,8	Si - 14	Al - 8,2	Cl - 1,94	Ar - 0,93	H - 6,6
C - 0,3	Mg - 14	Fe - 5,0	Na - 1,05	C - $9,3 \cdot 10^{-3}$	N - 0,5
Ne - 0,2	S - 2,9	Ca - 3,6	Mg - 0,13	Ne - $1,3 \cdot 10^{-3}$	Ca - 0,4
Fe - 0,1	Ni - 2,4	Na - 2,8	S - 0,09	Kr - $0,45 \cdot 10^{-3}$	K - 0,2
Si - 0,07	Ca - 2,1	K - 2,6	Ca - 0,041	He - $72 \cdot 10^{-6}$	Si - 0,1
N - 0,06	Al - 1,8	Mg - 2,1	K - 0,039	Xe - $40 \cdot 10^{-6}$	P - 0,1
Mg - 0,06	Na - 0,3	Ti - 0,57	Br - 0,007	H - $23 \cdot 10^{-6}$	Mg - 0,1
S - 0,04	P - 0,2	H - 0,22	C - 0,003	S - $70 \cdot 10^{-9}$	S - 0,07

Контрольные вопросы

1. Дайте определение, что называется минералом и горной породой?
2. Перечислите основные группы, на которые делятся минералы по химическому составу.
3. Что понимают под физико-техническими свойствами горных пород?
4. В чем отличие свойств образцов горных пород от свойств горных пород в массиве?
5. Дайте определения структуры и текстуры горных пород.

Глава 2. МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

2.1. Природная среда. Основные свойства и понятия

Природная среда – это совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов.

Природная среда - это окружающая нас естественная среда, то есть комплекс природных компонентов (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, недр), комплексов, ландшафтов и объектов природы, определяющих особенности жизнедеятельности живых организмов (человека, животных, растений).

Биосфера (греч. *bios* - жизнь, *sphaira* - шар, сфера) - оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности, а также совокупность её свойств как планеты, где создаются условия для развития биологических систем; глобальная экосистема Земли.

Биосфера, по В. И. Вернадскому, - это общепланетарная оболочка, та область Земли, где существует или существовала жизнь, и которая подвергается её воздействию.

Биосфера проникает во всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы (рис. 2.1).

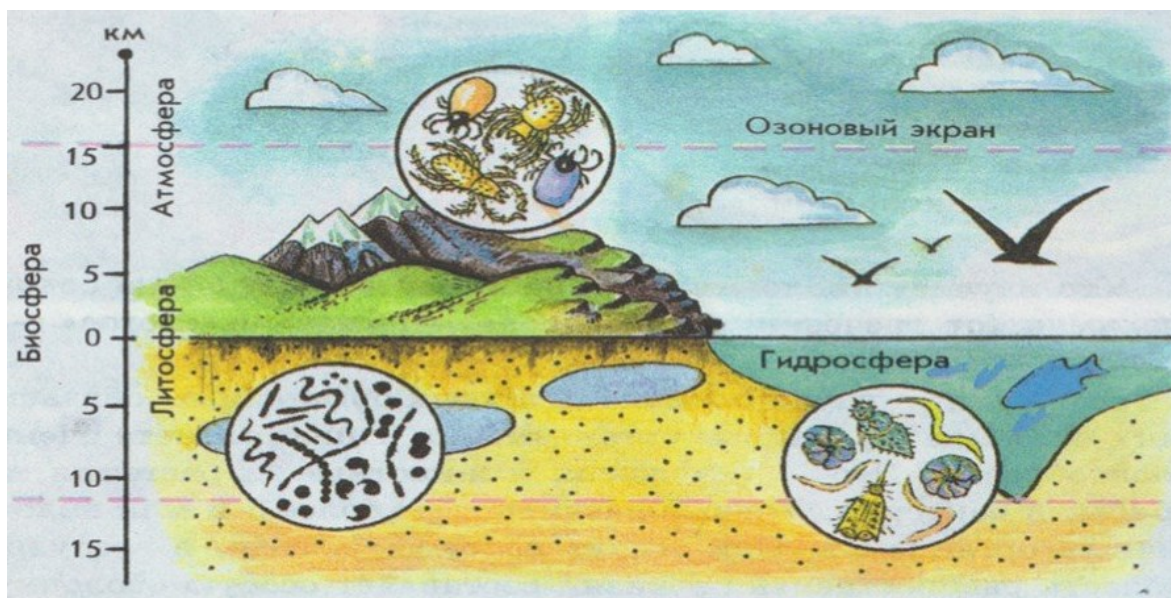


Рис.2.1. Биосфера земли

Согласно представлениям В.И. Вернадского, биосфера состоит из нескольких разнородных компонентов: главный и основной - это живое вещество, совокупность всех живых организмов, населяющих Землю.

Живое вещество - совокупность всех живых организмов в биосфере, вне зависимости от их систематической принадлежности.

В процессе жизнедеятельности живые организмы взаимодействуют с неживым (абиогенным) - косным веществом.

Общая сухая масса живого вещества составляет около 3 млрд тонн. Эта величина несущественна по сравнению с массой планеты Земля. Почти 90% биомассы всех живых организмов составляют растения.

Живое вещество играет важную роль в биогеохимических процессах благодаря совершающемуся в живых организмах обмену веществ и энергий. Оно преобразует энергию Солнца в свободную энергию, способную совершать работу.

Косное вещество - неживой компонент биосферы, образованный посредством физических или химических процессов без участия живых организмов.

Косное вещество образуется в результате процессов, в которых живые организмы не принимают участия, например, изверженные горные породы.

Биогенное вещество - это осадочные породы, которые образовались при разложении остатков живых организмов или из продуктов их жизнедеятельности.

Биокосное вещество - это вещество, которое создаётся одновременно деятельностью живых организмов и косными процессами.

Биосфера Земли - это открытая сложная многокомпонентная саморегулирующаяся, связанная с космосом система живого вещества и минеральных соединений, образующая внешнюю оболочку планеты.

Целостность и устойчивость биосферы обеспечивает обмен веществом и энергией между ее компонентами (живым, биокосным, биогенным и косным веществом) и окружающей средой.

Ноосфера (от др.-греч. νοῦς «разум» + σφαῖρα «шар»; дословно «сфера разума») - гипотетическая сфера взаимодействия общества и

природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития.

Ноосфера - предположительно новая, высшая стадия эволюции биосферы, становление которой связано с развитием общества, оказывающего глубокое воздействие на природные процессы.

Согласно В. И. Вернадскому, «в биосфере существует великая геологическая, быть может, космическая сила, планетное действие которой обычно не принимается во внимание в представлениях о космосе... Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его как существа общественного».

Ноосфера является высшей стадией развития биосферы, связанной с возникновением и становлением в ней цивилизованного общества, с периодом, когда разумная деятельность человека становится главным фактором развития на Земле.

Границы биосферы определяются границами существования живых организмов [28].

Миграция - это процесс перемещения химических элементов в пространстве и во времени, приводящий к их концентрации или рассеянию.

Круговорот веществ в биосфере - это циклический переход вещества и энергии между разными организмами и средой. Благодаря ему вещества постоянно возобновляются.

Перемещение элементов в биосфере можно представить в виде почти замкнутого цикла (рис. 2.2).

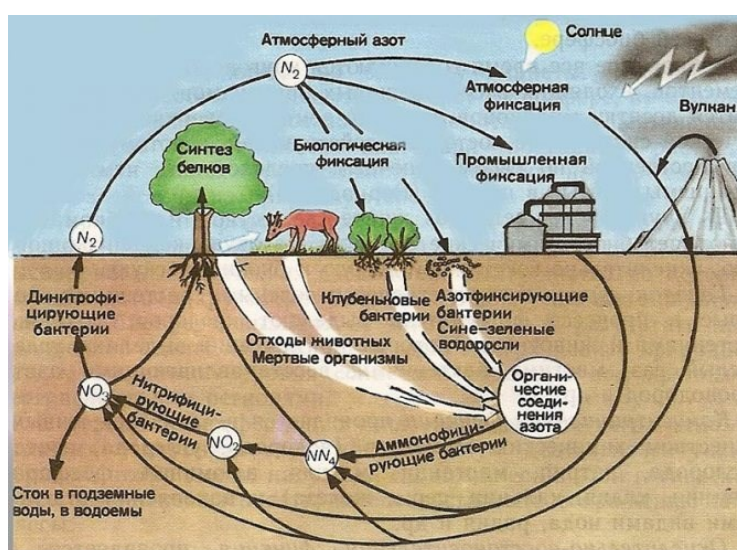


Рис. 2.2. Круговорот веществ в биосфере

Часть элементов не только постоянно поступает из мантии и космоса в биосферу, но и мигрирует из неё в глубинные зоны земной коры и в космос. При этом для перемещения какой-либо массы вещества необходима энергия, формы которой могут быть довольно разнообразны.

Источники энергии, расходуемой на Земле, подразделяются на четыре основные группы:

- Энергия гравитационных сил, которая проявляется в расслоении Земли на оболочки, когда преимущественно лёгкие атомы слагают верхние оболочки, а тяжёлые - ядро.
- Космическая энергия.
- Энергия радиоактивного распада, с которой многие учёные связывают большинство тектонических движений.
- Теплота глубин земного шара.

Иногда отдельно выделяют энергию живого вещества, но более корректно было бы говорить о проявлении ранее накопленной живым веществом энергии.

Геобиохимическая энергия живого вещества биосферы - это энергия, которая получена растениями путём фотосинтеза и затем усвоена животными через пищу.

2.2. Миграция химических элементов

Активные мигранты - это те элементы, которые интенсивно мигрируют в ландшафте, легко образуют химические соединения, вступают в химические реакции и определяют особенности ландшафта

К ним относят H, N, C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Mn, Fe, и др.

Неактивные мигранты - это химические элементы, которые почти не участвуют в реакциях передвигаются в биосфере пассивно при механическом перемещении частиц горных пород и минералов с водой, ледниками, воздушными массами и оказывают небольшое влияние на геохимические особенности ландшафта.

К ним относят Zr, Hf, Nb, Pt, Os, Ir и др.

По способу миграции активные мигранты делятся на:

- Воздушные
- Водные

Воздушные мигранты (H, N, C, O) – это элементы, которые образуют газообразные соединения; их миграция и накопление определяют важнейшие геохимические особенности среды. Данные элементы играют ведущую роль в биосфере, так как образуют органическое вещество;

Водные мигранты (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Mn, Fe, Co, Ni, V) – это элементы, мигрирующие преимущественно в почвенных, грунтовых, поверхностных водах в виде ионов, недиссоциированных молекул и коллоидных частиц.

Миграция химических элементов (*migratio – перемещение, лат*) – перемещение химических элементов и их соединений под действием различных факторов, что сопровождается их концентрированием или рассеянием

Миграция химических элементов в биосфере представлена:

- Механической миграцией
- Техногенной миграцией.
- Физико-химической миграцией.

Механическая миграция - механическое перемещение химических элементов без изменения форм их нахождения. Таким образом перемещаются обломки минералов в поверхностных водах и атмосфере, воды рек, газы атмосферы и т.д.

Данный вид миграции не зависит непосредственно от химических процессов; особое значение имеют размеры и плотность частиц.

Механическая миграция обусловлена работой рек, течений, ветра, ледников, вулканов. В результате механической миграции образуются делювий, пролювий, аллювий, морена, лессы и другие осадочные породы. Эта миграция существенна для элементов - пассивных мигрантов, и мала для элементов - активных мигрантов.

Механическая миграция происходит в водной и воздушной среде. В атмосфере есть распыленные частицы твердых и жидких веществ, эти взвеси называют аэрозолями.

Аэрозольные частицы поступают из суши и моря и попадают обратно в составе атмосферных осадков и в форме сухих осадений. Над океаном в составе аэрозолей преобладают растворимые в морской воде соли, на суше в обмен с атмосферой вступает твердое вещество литосферы. Частицы почвы, пород, вулканического пепла мигрируют на десятки тысяч километров.

Ветром поднимаются не только мелкие обломки пород, но и рыхлые продукты выветривания и почвообразования; в гумусе, органических остатках, на поверхности глинистых минералов аккумулированы некоторые элементы. Значительное влияние на механическую миграцию химических элементов оказывают поверхностные воды суши [31].

Физико-химическая миграция - миграция и сопровождающие ее химические реакции для таких форм нахождения химических элементов как водные растворы и газовые смеси.

К данному виду миграции относят также диффузию, процессы радиоактивного распада, явление изоморфизма, процессы сорбции.

Так как физико-химическая миграция происходит или в природных водах, или в атмосфере, то ее соответственно делят на водную и воздушную миграции.

Водная миграция – это миграция химических элементов в ионных, молекулярных и коллоидных растворах.

Интенсивность водной миграции элементов в значительной степени зависит от физико-химических свойств вод, особенно от кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий.

Интенсивность водной миграции характеризуется коэффициентом водной миграции (K).

Коэффициент водной миграции (k_x) - это отношение содержания элемента в водах (%) к содержанию элемента в породах, дренируемых этими водами (%).

Коэффициент водной миграции рассчитывается по формуле:

$$K_x = \frac{100 \times m_x}{a \times n_x}$$

где: m_x - содержание элемента в воде (г/л);

n_x - содержание элемента в породе (литосфере) (%);

a - минерализация вод (г/л)

Чем выше коэффициент водной миграции, тем сильнее элементы выщелачиваются из пород, тем интенсивнее их водная миграция.

По интенсивности водной миграции элементы образуют 4 ряда:
I – очень подвижные (высокоподвижные) мигранты: $k_x \approx n \cdot 10 \div n \cdot 100$;
II – легкоподвижные мигранты: $k_x \approx n$;

III – подвижные мигранты: $kx \approx n \times 10^{-1}$;

IV – слабоподвижные (инертные) мигранты: $kx < n \times 10^{-1}$,

где n – целое число.

Миграция газов. Первоисточником газов атмосферы Земли являлся процесс дегазации мантии.

Газ (газообразное состояние) (от греч. *χάος* - хаос) - агрегатное состояние вещества, характеризующееся очень слабыми связями между составляющими его частицами, (молекулами, атомами или ионами), а также их большой подвижностью.

Частицы газа почти свободно и хаотически движутся в промежутках между столкновениями, во время которых происходит резкое изменение характера их движения.

Идеальный газ - газ, в котором взаимодействие между молекулами сводится к парным столкновениям, причём время межмолекулярного столкновения много меньше среднего времени между столкновениями.

Идеальный газ является простейшим модельным объектом молекулярной физики.

Реальный газ - газ, в котором учитывается взаимодействие между молекулами.

Уравнение состояния реального газа часто строится методами теории возмущений, при этом отличие от уравнения состояния идеального газа описывается набором вириальных коэффициентов.

Газ ван-дер-Ваальса - частный случай реального газа с достаточно простым модельным уравнением состояния.

Важнейшим свойством газа ван-дер-Ваальса является существование в такой простой модели фазового перехода газ-жидкость.

Плазма – это частично или полностью ионизованный газ.

В биосфере дифференциация химических элементов в системе поверхность суши - атмосфера - поверхность океана является результатом длительной деятельности живого вещества, а существующая динамика циклических процессов миграции элементов в газопаровой форме обусловлена главным образом современными биогеохимическими процессами.

Миграция с атмосферными осадками. С атмосферными осадками происходит значительный перенос веществ.

***Атмосферные осадки** - это вода в жидком или твёрдом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся непосредственно из воздуха на поверхность Земли.*

В атмосферных осадках преобладают те же ионы, что и в поверхностных водах. Они поступают за счет растворения газов воздуха, переноса ветром солей с моря, растворения солей и пыли континентального происхождения, вулканических выбросов [35].

***Биогенная миграция** - миграция химических элементов, связанная с жизнедеятельностью организмов.*

***Биогенная миграция** - это вид миграции элементов, в которой принимают участие живые организмы.*

***Биогенная миграция** - это очень сложный вид миграции, так как организмы существуют в особом информационном поле, для них характерны процессы управления и переработки информации, отсутствующие в неживой природе.*

Процессы синтеза и разложения, постоянная смена отмерших организмов новыми, обуславливают ход миграции химических элементов в биосфере

В соответствии с законом В.И. Вернадского, «любое перемещение химических элементов происходит либо при непосредственном участии живого вещества, либо в среде, геохимические особенности которой обусловлены этим живым веществом».

***Техногенная миграция** - миграция химических элементов, вызванная деятельностью человека. Ее роль в поведении элементов в биосфере непрерывно возрастает.*

***Техногенная миграция** - это вид миграции химических элементов, вызванный деятельностью людей.*

Техногенную миграцию рассматривают как вид биогенной миграции, обусловленной техногенезом.

Роль техногенной миграции непрерывно растёт, в настоящее время она во многом контролирует поведение химических элементов в биосфере.

Примеры процессов, вызывающих техногенную миграцию: добыча полезных ископаемых, сжигание нефти, газа, угля, выплавление металлов из руд, развитие земледелия и животноводства, урбанизация.

В результате техногенной миграции скорость и направленность многих процессов изменяются или нарушаются, что обуславливает загрязнение окружающей среды химическими элементами и их соединениями.

Законы техногенной миграции подчиняются тем же законам природы, что и процессы, происходящие без вмешательства человека. Однако интенсивность отдельных составляющих техногенных процессов может создавать дисбаланс миграции и аккумуляции элементов, токсичных для биоты.

Осуществляя техногенную миграцию, человечество ещё плохо знает её законы, новые явления, которые возникают на нашей планете. Часть планеты, охваченная техногенезом, представляет собой особую систему – техносферу [51].

***Техногенез** - это процесс трансформации окружающей среды под воздействием различных видов технической деятельности человека.*

***Техносфера** - часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в технические и техногенные объекты (ресурсы, здания, дороги, механизмы, сооружения и др.), становящиеся частью ноосферы с целью удовлетворения социально-экономических потребностей.*

Техносфера - это искусственная среда обитания, созданная человеком и приспособленная людьми для удовлетворения своих потребностей.

Техносфера является окружающей средой для современного населения планеты.

В техносфере происходит грандиозная миграция химических элементов. Ежегодно перемещаются миллиарды тонн угля, нефти, газа, руд и др. В течение коротких отрезков времени рассеиваются месторождения полезных ископаемых, накопленные природой за миллионы лет. С продукцией сельского хозяйства и промышленности элементы мигрируют на огромные расстояния.

Выделяют два геохимических типа техногенной миграции:

- Техногенная миграция, унаследованная от биосферы, но изменённая в техносфере.
- Техногенная миграция, чуждая биосфере.

В техносфере протекает множество химических реакций, находящихся в резком противоречии с природными условиями.

- В большом количестве производятся химические соединения, ранее не существовавшие в биосфере. Новым является производство атомной энергии, получение радиоактивных изотопов. Наконец, несвойственны биосфере экспорт-импорт и другие виды миграции, подчиняющиеся социальным законам.

Для характеристики подобных процессов недостаточно старых понятий и методов, необходимы новый понятийный аппарат и новые подходы к исследованиям.

Химические элементы, находящиеся в биосфере, образуют различные, относительно устойчивые системы, получившие название **«формы нахождения»**.

***Формы нахождения химических элементов** - это системы различных относительно устойчивых химических равновесий этих элементов.*

В природе существует много различных форм нахождения химических элементов:

- Биогенная форма.
- Водные растворы.
- Газовые смеси.
- Коллоидная и сорбированная формы.
- Самостоятельные минеральные виды.
- Состояние рассеяния.
- Техногенные соединения, не имеющие природных аналогов.

В зависимости от форм нахождения (часто определяющих доступность химических элементов организмам) выделяют три основных типа миграции:

***Первый тип миграции** - изменение формы нахождения элементов без их значительного перемещения, например, переход элемента из минеральной формы в водные растворы, из почвы (породы) в растения и т.д. Для его характеристики используют коэффициенты перехода элементов из одной формы в другую.*

***Коэффициент биологического поглощения (КБП)** - это отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию его в почве.*

Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывают по формуле:

$$\text{КБП} = \frac{A_x}{B_x}$$

Где A_x - содержание химического элемента в растении

B_x - содержание химического элемента в почве

КБП показывает, во сколько раз содержание элемента в растении или определённом организме больше или меньше, чем в конкретной горной породе или почве. 1

В зависимости от величины коэффициента биологического поглощения все химические элементы можно разделить на две основные группы:

- КБП > 1 (то есть содержание элемента в растении больше, чем в компонентах литосферы). В этом случае в течение жизни организм накапливает химический элемент.
- КБП < 1 (содержание элемента в растении меньше, чем в литосфере). Такой химический элемент на протяжении жизни лишь захватывается организмом.

Рассматриваемый процесс (несмотря на практическое отсутствие перемещения) часто играет значительную роль в природной и техногенной миграциях элементов. При значениях коэффициента биологического поглощения больше единицы идёт выборочное «перекачивание» элементов из почв. При последующем отмирании растений минеральная часть опада в подстилке лесов будет иметь более высокое содержание этих элементов, чем нижележащие почвенные горизонты;

Второй тип миграции - перемещение элемента без изменения формы его нахождения.

Третий тип миграции объединяет два предыдущих и состоит в перемещении элементов с изменением форм их нахождения: перемещение элементов в подземных водах, растворяющих минералы на месторождениях; переход из минеральной формы в биогенную при мощном чехле рыхлых отложений и т. д. Этот тип миграции является преобладающим в биосфере.

2.3. Факторы миграции химических элементов

Миграция - это процесс перемещения химических элементов в пространстве и во времени, приводящий к их концентрации или рассеянию.

При изучении миграционных процессов химических элементов необходимо установить причины миграции, чтобы объяснить образование повышенных или пониженных содержаний элементов в горных породах, атмосферном воздухе, почвах, водах, растениях и животных [33]. Все причины миграции условно разделяют на две группы:

1. Внутренние факторы миграции определяются свойствами атомов и их соединений. От них зависит способность элементов давать летучие, растворимые или инертные формы.

К ним относятся:

- гравитационные свойства атомов (проявляются при кристаллизации, седиментации, выветривании);
- ионный потенциал - отношение заряда иона к его радиусу,
- радиоактивные свойства.
- свойства связи соединений, включая строение кристаллической решетки (определяют способность соединения противостоять разрушению);
- химические свойства соединений (это уже с учётом условий среды - например, более высокой устойчивости кислородных соединений в большинстве гипергенных обстановок);
- электростатические свойства ионов:
- энергетический коэффициент ионов (отражает последовательность кристаллизации минералов из растворов и расплавов и обусловлен, в основном, энергией их кристаллических решеток);

2. Внешние факторы миграции (обусловлены средой, окружающей мигрирующие элементы) - ландшафтно-геохимические условия, определяющие поведение элементов в различных химических (окислительно-восстановительных, кислотно-щелочных) обстановках:

- Геоморфологические факторы (рельеф);
- Давление (повышение давления в равновесной системе приводит к изменению системы в сторону уменьшения объёма);
- Жизнедеятельность организмов и техногенез - наиболее сложные по механизму влияния.

- Комплексы типоморфных элементов или ионов в почвах и водах;
- Концентрация водородных ионов, определяющая кислотность-щёлочность среды (Ph);
- Окислительно-восстановительный потенциал;
- Поверхностные силы коллоидных систем (определяют масштабы селективной
- Радиационные характеристики среды;
- Сорбции);
- Степень электролитической диссоциации (зависит от соотношения свойств растворителя и растворяемого вещества, температуры раствора и его концентрации);
- Температура (в целом повышение ускоряет физико-химическую миграцию, а для некоторых видов миграции, например, биогенной, нужны определённые диапазоны температур);

2.4. Геохимические барьеры

Геохимические барьеры - это участки пространства, на которых происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация.

Геохимические барьеры - это границы, переходные области, где одна устойчивая обстановка на сравнительно коротком расстоянии сменяется другой.

Геохимические барьеры - это те участки земной коры, на которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрирование».

Существует два основных типа геохимических барьеров:

1. Природные барьеры располагаются на участках изменения факторов миграции и смены геохимической обстановки, вызванных природными особенностями конкретного участка биосферы;
2. Техногенные барьеры располагаются на участках изменения факторов миграции и смены геохимической обстановки, являющихся результатом антропогенной деятельности.

Оба типа геохимических барьеров подразделяются на четыре класса:

1. Физико-химические барьеры связаны с изменением физико-химической обстановки. В настоящее время детально разработана классификация физико-химических барьеров. Среди них выделяют следующие: сероводородный, глеевый, кислородный, кислый, щелочной, испарительный, сорбционный и термодинамический;
2. Биогеохимические барьеры представляют собой накопление химических элементов живыми организмами. Они связаны в основном с первым типом миграции элементов и относятся к числу наиболее распространенных барьеров в биосфере;
3. Механические барьеры в основном связаны со вторым типом миграции элементов, а в пределах биосферы - преимущественно с миграцией элементов в минеральной или коллоидной форме, и представляют собой участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции;
4. Социальные барьеры созданы искусственно на участках, где в природных условиях не возникают. Это зоны складирования и захоронения промышленных и бытовых отходов. Социальные барьеры связаны с техногенной миграцией элементов.

Накопление химических элементов (соединений) на геохимических барьерах часто приводит к их аномальным концентрациям. При определённых условиях концентрация и общее содержание элементов на барьере резко возрастают, образуются месторождения полезных ископаемых. До недавнего времени эти процессы были только природными.

Сейчас техногенные процессы достигли таких масштабов, что и на природных, и на техногенных барьерах возможно накопление определённых элементов в промышленных концентрациях.

Геохимические барьеры отличаются друг от друга не только концентрациями определённых элементов и их общим количеством на барьере, но и величиной самих барьеров [41].

Макробарьеры - геохимические барьеры шириной до первых километров и длиной тысячи километров (современные и древние зоны смешивания пресных речных вод с солёными морскими);

Мезобарьеры - протяжённость доходит до десятков километров при ширине до сотен метров (краевые зоны болот, где отлагаются многие элементы, сносимые с водоразделов);

Микробарьеры - размеры колеблются от нескольких миллиметров до первых метров (возникают на отдельно разлагающихся на дне водоёма раковинах или рыбах; в родниках, на месте выхода на дневную поверхность глеевых вод, из которых в присутствии свободного кислорода воздуха отлагается окислившееся трёхвалентное железо и т.д).

В случаях, когда к одному и тому же барьеру поступают химические элементы (соединения) из разных миграционных потоков, возникают многосторонние барьеры. Часто при поступлении нескольких миграционных потоков в одно место геохимический барьер образуется именно за счёт слияния этих потоков. Тогда возможно образование не только многосторонних, но и комплексных барьеров (пространственное наложение друг на друга нескольких разных геохимических барьеров).

Барьеры разделяют также в зависимости от положения в пространстве поступающих к ним миграционных потоков. Если они продвигаются в горизонтальном направлении, например, по границе почв и подстилающих их горных пород, то формируются латеральные геохимические барьеры. При вертикальном и слабонаклонном продвижении миграционного потока (независимо от того, сверху вниз или снизу вверх) формируются вертикальные (радиальные) барьеры [21].

Геохимические барьеры – участки, где на коротком расстоянии происходит резкое снижение миграционной способности химических элементов, ведущее к их накоплению.

Наиболее важные типы механических геохимических барьеров:

1. Аэродинамический;
2. Гидродинамический;
3. Фильтрационный.

Интенсивность накопления химических элементов на барьере увеличивается с ростом контрастности и градиента (случай постепенного изменения параметров среды можно рассматривать как барьер с очень малым градиентом – и отсюда понятно, почему повышение содержания химических элементов будет незначительным).

По стабильности своего положения геохимические барьеры подразделяются на:

1. Подвижные
2. Неподвижные.

Неподвижные барьеры занимают фиксированное положение в пространстве. Они распространены более широко, так как обычно смена параметров среды связана с изменением каких-то характеристик ландшафта, занимающих фиксированное положение.

Подвижные барьеры могут возникнуть в тех случаях, когда сам миграционный поток является причиной изменения химизма среды. Например, поток грунтовых вод, богатых свободным кислородом, проникает вглубь зоны, характеризующейся восстановительной обстановкой. Зона раздела этих сред является геохимическим барьером, и с течением времени барьер будет всё более смещаться в направлении движения водного потока.

Специфическим типом геохимических барьеров являются **двусторонние барьеры**. Они возникают в тех случаях, когда через границу раздела обстановок с разными параметрами среды миграция осуществляется попеременно то в одну, то в другую сторону. Тогда барьер будет действовать в обоих направлениях.

В зависимости от направленности движения миграционного потока можно выделить барьеры латеральные и радиальные. На латеральном барьере миграция происходит по горизонтали, из одного элементарного ландшафта в другой. В этом случае барьеры приурочены к границам ландшафтов, резко различающихся по условиям миграции. Радиальные барьеры связаны с вертикальной миграцией вод, они локализованы внутри соответствующих ландшафтов, на границах раздела сред по вертикали.

Окислительные (кислородные) барьеры возникают на участках резкого повышения E_h среды – окислительно-восстановительного потенциала. Поскольку в условиях земных ландшафтов увеличение E_h обычно связано с увеличением концентрации свободного кислорода (основного окислителя), то можно называть окислительный барьер кислородным, считая эти термины в данном случае практически синонимами.

Сероводородные (сульфидные) барьеры возникают там, где кислородные или глеевые воды встречают на своём пути сероводородную обстановку. Естественно, если в сероводородную среду проникают сероводородные воды, никакого барьера не возникает.

Глеевые барьеры возникают на участках резкой смены кислотной обстановки глеевой.

Щелочные барьеры возникают на участках резкого повышения рН среды в нейтральной, кислой и щелочной обстановках. В соответствии с общими законами миграции на них происходит накопление преимущественно катионогенных химических элементов, лучше мигрирующих в кислой среде: Fe, Mn, Ni, Co, Cu, в том числе такие высоко токсичные загрязнители природной среды, как Pb, Cd, Hg, As, U и др.

Кислые барьеры возникают на путях миграции химических элементов при резком снижении рН среды. В противоположность щелочным барьерам, на них накапливаются не катионогенные, а анионогенные элементы, более активно мигрирующие в условиях щелочной среды. К ним принадлежат Si, Al, Mo, Be, Ga, Sc, Y, Zr, TR и др. Как правило, эти элементы мигрируют в форме растворимых солей щелочных металлов, подвижных в щелочной среде – Na_2SiO_3 , Na_2AlO_2 , Na_2MoO_4 и др.

Сорбционные барьеры возникают в результате резкого снижения миграционной способности химических элементов при фильтрации ионных водных растворов или газовых смесей через среды, обладающие повышенной сорбционной способностью. Эти барьеры особенно важны для элементов с низкими кларками, так как осаждение в процессе сорбции может происходить при очень низких концентрациях, намного меньших, чем концентрации насыщения.

Термодинамические барьеры возникают на участках резкого уменьшения миграционной способности химических элементов в результате изменения на путях движения миграционных потоков температуры или давления (или обоих этих факторов одновременно). В целом они весьма разнообразны по механизму и по направленности действия.

Контрольные вопросы

1. Как вы понимаете, что такое миграция химических элементов?
2. Какие существуют среды миграции?
3. Назовите основные факторы, определяющие характер миграции элементов.
4. Какие виды миграции элементов существуют на поверхности Земли?
5. Как построена геохимическая классификация элементов по особенностям их миграции в биосфере?

Глава 3. ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.1. Загрязнение и его виды

В любой экосистеме живые организмы, в том числе и человек, и окружающая их внешняя среда находятся в тесной взаимосвязи.

***Связь** - отношение общности, соединения или согласованности.*

***Связь** - взаимная зависимость или механическая соединенность каких-либо объектов или субъектов.*

***Связь** - возможность передачи/приема информации на расстоянии.*

***Связь** - философская категория, «выражающая взаимообусловленность существования явлений, разделённых в пространстве и (или) во времени», а также сами «отношения между объектами, проявляющиеся в том, что состояния или свойства любого из них меняются при изменении состояния и свойств других».*

***Взаимосвязь** – это взаимная обусловленность существования компонентов действительности друг другом, взаимная зависимость их отдельных характеристик.*

Связь в экосистеме создается и поддерживается постоянно действующими потоками вещества и энергии, поддержание стабильности которых - основа существования живых организмов.

Нарушение же потоков веществ под влиянием постоянно усиливающейся хозяйственной деятельности человека ведет к постепенной деградации отдельных экосистем и биосферы в целом.

Загрязнение относится к числу наиболее опасных видов деградации биосферы.

***Загрязнение** - это привнесение в окружающую среду новых, обычно нехарактерных для неё физических, химических или биологических агентов, или превышение их естественного уровня, приводящее к негативным воздействиям*

***Загрязнение окружающей среды** - это привнесение в окружающую среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов, или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных компонентах, приводящее к негативным воздействиям (рис.3.1).*



Рис. 3.1. Загрязнение окружающей среды

Загрязнение окружающей среды - это неблагоприятное изменение окружающей среды, которое целиком или частично является результатом человеческой деятельности, прямо или косвенно меняет распределение приходящей энергии, уровни радиации, физико-химические свойства окружающей среды и условия существования живых существ.

Загрязнение окружающей среды - это поступление в неё веществ, микроорганизмов и энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие.

Загрязнение окружающей среды подразделяют на:

1. Антропогенное, возникающее в связи с хозяйственной деятельностью человека.
2. Природное, вызванное какими-то естественными причинами: извержение вулканов, разломы земной коры, стихийные пожары, пыльные бури и т. Д.,

В настоящее время существует множество классификаций загрязнений окружающей среды:

1. По масштабам: локальное, региональное, глобальное;
2. По объектам: загрязнение вод (поверхностных и подземных), атмосферы, почвенного покрова и т. п.;
3. По характеру воздействия на объекты окружающей среды и по природе действующих факторов: механическое, физическое, химическое, биологическое.

Механическое загрязнение - загрязнение материалами, оказывающими механическое воздействие без химических изменений (например, свалки мусора, поступление пыли в атмосферу и др., рис. 3.2.);



Рис. 3.2. Механическое загрязнение

Примеры механического загрязнения:

- заиливание водных объектов грунтами;
- поступление пыли в атмосферу;
- свалка строительного мусора на земельном участке.

На первый взгляд такое загрязнение может показаться безобидным, но оно может вызвать ряд экологических проблем, устранение которых потребует значительных экономических затрат [13].

Физическое загрязнение - это тепловое, световое, шумовое, вибрационное, электромагнитное и радиоактивное загрязнения.

Тепловое загрязнение - изменение температуры среды в связи с выбросами нагретых или охлажденных газов, воздуха, воды в окружающую среду (рис.3.3.).



Рис. 3.3. Тепловое загрязнение

Проявления теплового загрязнения:

- Для урбанизированных территорий - образование над ними «тепловой шапки», так называемого «острова тепла».
- В водоёмах - продукция органического вещества начинает резко превалировать над деструкцией, аэробные процессы заменяются анаэробными, санитарное состояние водоёмов ухудшается, происходят существенные изменения в биоте.
- В подземных водах - увеличение температуры против фоновых значений, уменьшение содержания кислорода в воде, изменение её химического и газового состава, «цветение» воды и увеличение содержания в воде микроорганизмов.

Основные источники теплового загрязнения: выбросы в атмосферу нагретых отработанных газов и воздуха, вбрасывание в водоприёмники нагретых сточных вод, отработанных вод ТЭЦ [9].

Меры предотвращения: постепенный отказ от ископаемого топлива и переход на возобновляемую энергию, использующую природные источники энергии: свет, ветер и гидроресурсы.

Световое загрязнение - нарушение естественной освещённости среды.

Световое загрязнение - это засвечивание ночного неба искусственными источниками освещения.

Свет рассеивается в нижних слоях атмосферы, мешая проведению астрономических наблюдений и изменяя биоритмы живых существ.

Основные источники светового загрязнения: уличное освещение, архитектурное освещение, светящиеся рекламные щиты или прожекторы.

Уровень светового загрязнения зависит от ряда факторов: продолжительность воздействия, количества, месторасположения и характера светильников, их направленности, интенсивности воздействия и цветового спектра, а также площади территории и особенности её планировки (рис. 3.4.).



Рис. 3.4. Световое загрязнение

Влияние светового загрязнения:

- Экологическое. Наносит вред окружающей среде и экосфере. Например, изменение уровня темноты ночного неба отражается на миграционных моделях животных.
- Экономическое. Приводит к лишним тратам энергии, а соответственно и к финансовым потерям.
- Психологическое. Бессонница, как следствие нарушения биологического цикла, приводят к ухудшению концентрации, снижению иммунитета, а также повышению раздражительности и депрессии.

Меры по снижению светового загрязнения: разработка стратегии развития освещения с учётом городского ландшафта и его особенностей, внедрение требований и рекомендаций по типам осветительных приборов и характеристикам их светораспределения [25].

Шумовое загрязнение - увеличение интенсивности и повторяемости шума сверх природного уровня (рис. 3.5.).



Рис. 3.5. Шумовое загрязнение

Главные источники шумового загрязнения: транспортные средства (автомобили, железнодорожные поезда, корабли и самолёты).

Другие источники:

- автомобильная сигнализация,
- промышленные предприятия,
- системы вентиляции.
- строительные и ремонтные работы,

Влияние шумового загрязнения на здоровье человека:

- может вызывать раздражение и агрессию;
- повышает артериальное давление;
- вызывает шум в ушах и потерю слуха;
- влияет на обмен веществ, угнетает окислительные процессы.

Влияние на окружающую среду: может приводить к нарушению естественного баланса в экосистемах.

Допустимый уровень шума регулируется СанПиН.

Уровень шума, при котором человек может качественно выспаться или просто отдохнуть, должен составлять не более 30 дБ в позднее вечернее или ночное время. В дневное время уровень шума в спальных районах не должен превышать 40 дБ.

Вибрационное загрязнение возникает в результате работы разных видов транспорта, вибрационного оборудования (рис.3.6.).



Рис. 3.6. Вибрационное загрязнение

Вибрационное загрязнение может привести к просадке грунтов, деформации зданий и сооружений.

Электромагнитное загрязнение - изменение электромагнитных свойств окружающей среды. Источниками электромагнитного загрязнения являются линии электропередач, радио и телецентры, радиолокаторы (рис.3.7.).



Рис. 3.7. Электромагнитное загрязнение

Источники электромагнитного излучения подразделяются на естественные и антропогенные.

К естественным относятся:

- атмосферное электричество,

- радиоизлучение галактик,
- радиоизлучение Солнца,
- электрическое и магнитное поля Земли.

Антропогенными источниками являются:

- бытовая техника,
- линии электропередач,
- персональные компьютеры,
- промышленные установки СВЧ энергетики
- радиолокационные и радиопередающие системы,
- системы сотовой связи,
- электротранспорт,

Электромагнитное загрязнение оказывает негативное воздействие на окружающую среду:

- загрязняется вода, меняются её свойства, происходят функциональные нарушения;
- излучение замедляет регенерацию тканей растений и животных, приводит к снижению выживаемости и повышению смертности;
- облучение способствует развитию мутации;
- у некоторых видов фауны при воздействии электромагнитного поля замедляется развитие и рост, повышается агрессия.
- у растений изменяются размеры стеблей, цветков, плодов, меняется их форма;

Чтобы снизить уровень электромагнитного загрязнения, применяется нормативное регулирование работы источников излучения. За использование оборудования, которое излучает электромагнитные волны, следят национальные и международные институты, контрольные органы и Всемирная организация здравоохранения. 3

Радиоактивное загрязнение - превышение природного радиоактивного уровня среды.

Источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды являются ядерные взрывы, захоронение радиоактивных отходов, аварии на атомных станциях и др. (рис. 3.8.).



Рис. 3.8. Радиоактивное загрязнение

Основные источники радиоактивного загрязнения:

- добыча урана;
- захоронения ядерных отходов.
- использование ядерного оружия;
- техногенные аварии;

Последствия радиоактивного загрязнения:

- Здоровье человека. Люди, проживающие в районах с неблагоприятным радиационным фоном, по статистике показывают самый большой процент заболеваемости онкологическими заболеваниями.
- Биосфера. Систематическое или очень интенсивное воздействие радиации в определённом районе приводит к мутациям, болезням, невозможности воспроизвести потомство, генетическим уродствам и гибели огромного количества животных.
- Почва, водоёмы, атмосферный воздух. Эти факторы наносят вред не только здоровью человека, но и сельскохозяйственной промышленности ввиду потери почвой плодородия, невозможности возделывать на ней какие-либо полезные культуры.

Степень опасности радиоактивного загрязнения определяется концентрацией загрязняющих веществ, энергией испускаемого излучения, типом излучения и близостью загрязнения к органам тела [42].

***Химическое загрязнение** - изменение естественных химических свойств окружающей среды в результате выбросов промышленными*

предприятиями, транспортом, сельским хозяйством различных загрязняющих веществ (тяжелых металлов, пестицидов, диоксинов и др.; рис.3.9.).



Рис. 3.9. Химическое загрязнение

Основные виды химического загрязнения:

- Атмосферное. Ухудшение состояния воздуха городов и промышленных зон.
- Загрязнение гидросферы - подземных и поверхностных вод, в результате которой попадает в водопроводы, используется в качестве питьевой.
- Загрязнение зданий, сооружений, жилых и производственных объектов.
- Загрязнение и изменение продуктов питания химическими добавками.
- Загрязнение литосферы - во время обработки почвы агрохимией.

Основные химические загрязнители окружающей среды:

- диоксид углерода;
- нефть и нефтепродукты;
- оксид углерода;
- оксиды азота;
- пестициды.
- ртуть;
- свинец;

- сернистый газ;
- фосфаты;

Химическое загрязнение несёт урон людям, животным, растениям и всему живому. Контроль и правильное использование химических веществ поможет снизить угрозу данной экологической проблемы.

Биологическое загрязнение - это внедрение в экологические системы и технологические сооружения чужеродных (инвазивных) организмов (рис.3.10.).



Рис. 3.10. Биологическое загрязнение

Причины биологического загрязнения:

- занос организмов с балластными водами, с импортируемой сельскохозяйственной продукцией;
- исчезновение физических преград, ограничивавших естественные ареалы видов (постройка каналов, соединяющих бассейны рек, сооружение дорог, тоннелей, вырубка просек в лесах и т. д.).
- перемещения организмов, обусловленные колебаниями их численности и климатическими изменениями;
- преднамеренная интродукция и реинтродукция человеком важных в хозяйственном отношении видов;
- случайное попадание организмов из экспериментных лабораторий, зоопарков, ботанических садов в окружающую среду;

Последствия биологического загрязнения:

- в ряде случаев вселенцы служат переносчиками паразитов и возбудителей различных заболеваний аборигенных видов;
- зачастую они становятся конкурентами аборигенных видов и вытесняют их;
- они могут нарушать работу или повреждать технологические сооружения.
- чужеродные организмы могут преобразовывать среду обитания, изменяя структуру и функцию экосистемы;

Основные источники биологического загрязнения:

- бытовые и промышленные свалки,
- канализационная сеть,
- кладбища,
- поля орошения
- сточные воды предприятий пищевой и кожевенной промышленности,

Биологическое загрязнение включает в себя бактериальное и органическое.

***Бактериальное загрязнение** - привнесение в среду болезнетворных микроорганизмов, способствующих распространению различных заболеваний.*

***Органическое загрязнение** - загрязнение экосистем веществами, способными к брожению, гниению: отходами пищевых, целлюлозно-бумажных производств, не очищенными канализационными сточными водами.*

К биологическому загрязнению можно отнести переселение животных в новые экосистемы, где отсутствуют их естественные враги. Такое переселение может привести к взрывообразному росту численности переселенных животных и иметь непредсказуемые последствия.

3.2. Классификации загрязняющих веществ

В настоящее время в мире производится около 80 тыс. видов химических веществ, каждый год на рынок поступает более тысячи новых [7].

При этом значительная их часть после использования бесконтрольно попадает в окружающую среду, постепенно изменяя состав компонентов биосферы.

Загрязняющее вещество - это химическое вещество, которое присутствует в окружающей среде в количествах, превышающих фоновые значения.

Загрязняющие вещества можно классифицируют по признакам:

1. источники поступления в окружающую среду;
2. технофильность.
3. токсичность для живых организмов;
4. фазовое состояние;
5. характер воздействия на компоненты биосферы;
6. химическая природа вещества (органические, минеральные или органоминеральные; естественного или искусственного происхождения);

Технофильность - показатель использования вещества человеком в хозяйственной деятельности

Технофильность химических элементов - это отношение ежегодной добычи или производства элемента (в тоннах) к его кларку в литосфере.

Технофильность, показывает связь интенсивности использования химических элементов цивилизацией с их средним содержанием в литосфере.

Коэффициент технофильности химического элемента определяется как отношение средней ежегодной мировой добычи элемента (в тоннах) к кларку этого элемента в литосфере.

Коэффициент технофильности химического элемента - показатель использования его человеком в хозяйственной деятельности.

Определяется как отношение средней ежегодной мировой добычи элемента (в тоннах) к кларку этого элемента в литосфере.

Коэффициент технофильности не является постоянной величиной. Чем интенсивнее элемент используется человеком в хозяйственной деятельности, тем выше значение этого показателя [2].

Максимальный уровень технофильности характерен для углерода, основного компонента органических веществ, составляющих основу различных видов топлива. Масштабы ежегодной добычи угля и нефти составляют миллиарды тонн (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Добыча угля

Высоко потребление хлорида натрия, который используется как в производственных целях, так и с пищей.

Особую группу веществ в биосфере составляют ксенобиотики - вещества, не свойственные природе. Среди них есть вещества, близкие к природным, а также вещества, не имеющие аналогов в природе.

При этом действие загрязнителей на живые организмы и экосистемы различны. Некоторые из них токсичны и оказывают прямое действие на метаболизм организма, отравляя его.

Токсикант – *вещество не биогенного происхождения, способное при взаимодействии с живыми организмами вызывать их интоксикацию или гибель.*

Ядовитое вещество (яд) - *это химическое соединение или вещество, которое может нанести вред живым организмам при воздействии на них в небольших количествах.*

Яды могут быть природного происхождения, такими как яды растений, животных и микроорганизмов, а также искусственно созданными химическими соединениями.

Более распространено не прямое действие загрязняющих веществ на организмы - через неблагоприятное изменение среды обитания. Необходимо отметить, что большинство загрязнителей обладает избирательной токсичностью, то есть они токсичны только для определенных видов организмов.

В условиях загрязнения экосистем может происходить угнетение и удаление одних видов (наиболее чувствительных), что создает

более благоприятные условия для существования других за счет появления новых мест обитания и источников пищи, а также за счет исчезновения конкурентов или хищников [24].

В экосистемах происходят некоторые экологические сдвиги. Однако при высокой степени загрязнения происходит частичная или полная деградация экосистем.

Для оценки степени устойчивости ксенобиотика к разложению и трансформации используют термин персистентность (лат. *persistere* - упорствовать).

Персистентность - это характеристика объекта или процесса, которые продолжают существовать даже после того, как процесс, который их создал, прекращается или машина, на которой он работает, выключается.

Период полураспада вещества - это время, за которое радиоактивное вещество естественным образом теряет половину своей радиоактивности.

Период полураспада является константой для данного радиоактивного ядра (изотопа). Для различных изотопов эта величина может изменяться от десятков йоктосекунд у водорода-7 до более чем 1024 лет у теллура-128. 2

Примеры периодов полураспада некоторых элементов:

- уран 238 - 4,5 миллиарда лет; 1
- радий - 1600 лет; 3
- полоний - 138 дней; 3
- инертный газ радон - 3,8 суток.

Персистентность одного и того же вещества может значительно изменяться под влиянием условий внешней среды. К наиболее персистентным веществам относятся стойкие органические загрязнители (СОЗ).

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) - это группа химических веществ, чрезвычайно устойчивых к естественному распаду, характеризующихся крайне высокой токсичностью и способностью накапливаться в тканях живых организмов.

К СОЗ относятся:

- крайне опасные диоксины и фураны, образующиеся в качестве побочных продуктов химической индустрии или при процессах горения.

- пестициды;
- промышленные химические вещества;

СОЗ наносят ущерб окружающей среде и здоровью людей. Даже малые концентрации некоторых СОЗ могут привести к развитию болезней иммунной и репродуктивной систем, повышению восприимчивости к заболеваниям, к расстройствам центральной и периферической нервной системы, раковым заболеваниям, врождённым дефектам у детей [30].

Для решения проблемы СОЗ в мае 2001 года была подписана Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Это договор о сокращении или прекращении производства, использования и выпуска в атмосферу 12 основных СОЗ.

Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ) - международный природоохранный договор, подписанный 22 мая 2001 года в Стокгольме (Швеция). Вступила в силу 17 мая 2004 года. 1

Цель конвенции - охрана окружающей среды и защита здоровья населения от воздействия особо опасных химических соединений - стойких органических загрязнителей.

Основные задачи конвенции - прекращение производства, сокращение использования и последующая ликвидация СОЗ, входящих в список веществ, регулируемых Конвенцией (рис. 3.12). В настоящее время список включает в себя 30 химических веществ (пестициды, промышленные химикаты, побочные продукты).



Рис. 3.12. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ)

Россия подписала конвенцию 22 мая 2002 года в городе Нью-Йорке. Ратифицировала её 27 июня 2011 года в соответствии с Федеральным законом №164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях». 1

Воздействие загрязняющих веществ на живые организмы может иметь:

- мутагенный характер,
- канцерогенный характер
- тератогенный характер.

Мутагены - химические и физические факторы, вызывающие наследственные изменения - мутации.

По происхождению мутагены делятся на:

- эндогенные (образуются в процессе жизнедеятельности организма);
- экзогенные (все прочие факторы, в том числе условия окружающей среды).

По природе возникновения мутагены делятся на:

- Биологические: специфические последовательности ДНК, некоторые вирусы (вирус кори, краснухи, гриппа), продукты обмена веществ, антигены некоторых микроорганизмов.
- Мутагены используются в генетических экспериментах и в селекции для получения новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.
- Физические: ионизирующее излучение, электромагнитное излучение, потоки заряженных частиц, нейтронное излучение.
- Химические: различные вещества, взаимодействующие с ДНК (аналоги азотистых оснований, активные формы кислорода, соединения, вызывающие дезаминирование оснований).

Значительное количество мутагенов также являются канцерогенами - источниками возникновения злокачественных новообразований.

Канцерогены - вещества, стимулирующие рост злокачественных новообразований (раковых опухолей) у подверженных их воздействию организмов.

Канцерогены - это вещества, факторы или агенты, которые способны вызывать или увеличивать риск развития раковых заболеваний у людей или других организмов.

Канцерогены могут быть:

- химическими,
- физическими
- биологическими

Химические канцерогены. Повреждают генетический материал в клетках и провоцируют изменения, приводящие к неконтролируемому размножению клеток и образованию опухолей. Примеры: асбест, табачные дымы, некоторые химические вещества в пищевых добавках и окрасках.

Физические канцерогены. Факторы окружающей среды, такие как ионизирующая радиация (рентгеновские лучи, радиоактивные элементы), которые могут вызвать повреждения ДНК и повысить риск рака [48].

Биологические канцерогены. Инфекции, вызванные определёнными вирусами или бактериями, которые могут привести к хроническому воспалению и повреждению клеток, увеличивая вероятность развития рака. Примеры: вирус гепатита В и С, вирус папилломы человека (ВПЧ) и бактерия *Helicobacter pylori* (рис. 3.13.)

Воздействие канцерогенов может зависеть от множества факторов, включая дозу, продолжительность экспозиции и индивидуальную восприимчивость.

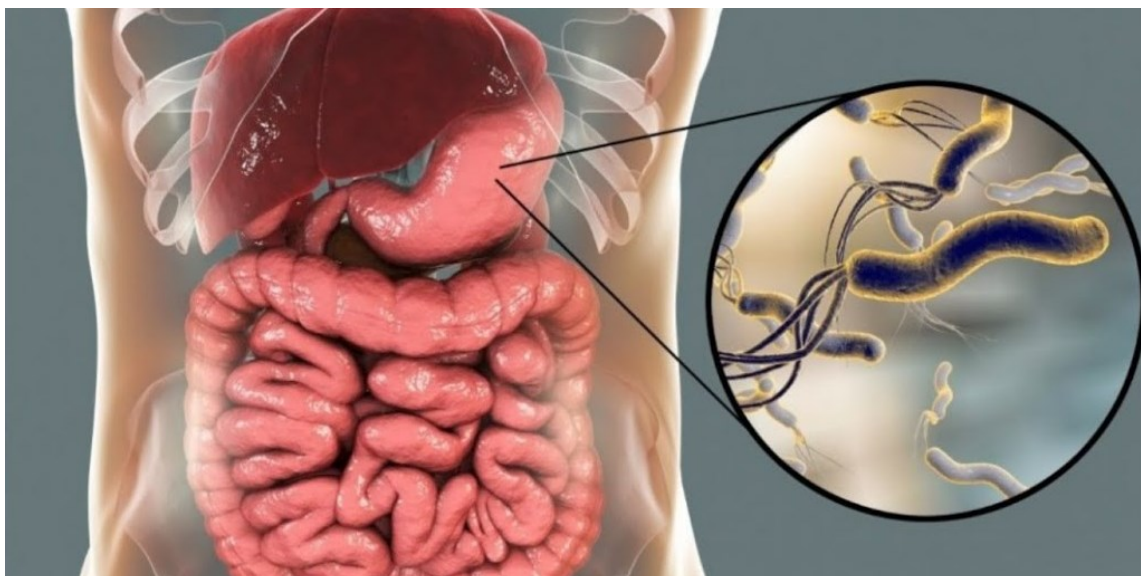


Рис. 3.13. Бактерия *Helicobacter pylori*

Тератогены - вещества, способные нарушать нормальное развитие эмбрионов многоклеточных организмов, вызывая появление измененных дефектных особей.

Тератоген - это любое вещество, которое нарушает развитие ребёнка, когда мама подвергается его воздействию во время беременности (рис.3.14).

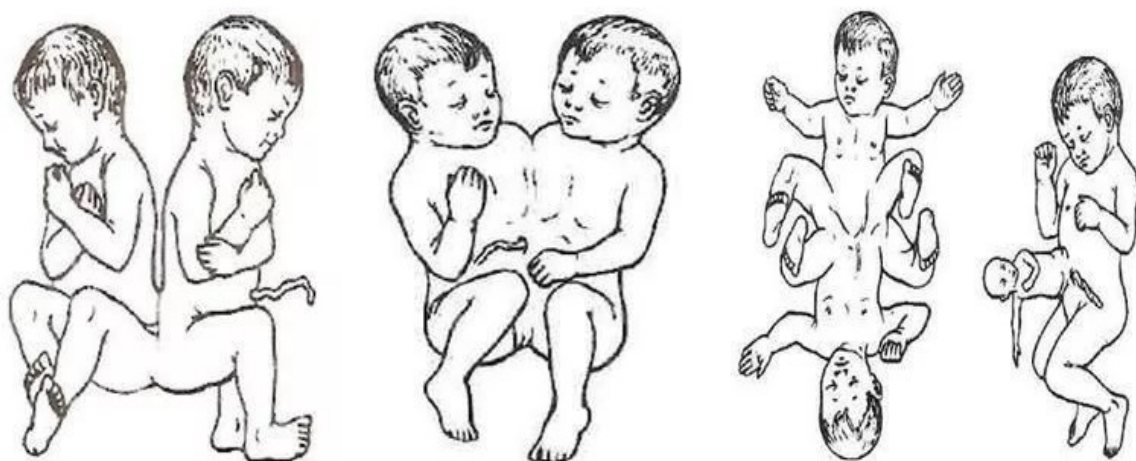


Рис. 3.14 Тератогенез

Названы так от греческого слова *teras* - чудовище, урод.

Известные тератогены включают:

- алкоголь,
- вирусы,
- высокую температуру,
- курение,
- некоторые заболевания матери,
- радиацию,
- ряд лекарственных препаратов.
- токсичные химические вещества,

Тератогены могут причинять вред в течение всего вынашивания от зачатия до родов, но часто наносят наибольший вред в первые 8 недель беременности.

Для предотвращения воздействия тератогенов на ребёнка рекомендуется проконсультироваться с врачом.

По степени воздействия на человека все вещества биосферы можно объединить в 4 группы:

1. безвредные вещества;

2. вещества, действующие опосредованно, делая среду обитания менее комфортной;
3. вещества, прямо действующие на человека, отравляя его;
4. вещества неопределенного характера действия, так как отсутствуют достоверные сведения об их действии.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под антропогенным воздействием на биосферу?
2. Назовите основные виды вмешательства человека в экологические процессы.
3. Дайте определение загрязнения окружающей среды. Укажите его виды, объекты и масштабы.
4. Какие загрязняющие вещества представляют наибольшую опасность для человеческой популяции и природных биотических сообществ?
5. Что такое локальное загрязнение и каковы его характеристики.

Глава 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

4.1. Тяжелые металлы

К тяжелым металлам (ТМ) относят более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева, масса атомов которых составляет свыше 50 атомных единиц массы (а. е. м.).

Атомная единица массы (а. е. м.) — единица массы, равная 1/12 массы атома изотопа углерода ^{12}C .

Она применяется в атомной и ядерной физике для выражения масс молекул, атомов, ядер, протона и нейтрона.

$1 \text{ а.е.м.} \approx 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$

Относительная атомная масса — это отношение массы атома к атомной единице массы.

Она показывает, во сколько раз масса данного атома больше 1/12 массы атома углерода.

Значения относительных атомных масс элементов приведены в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева

Термин тяжелые металлы (ТМ), характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение.

В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе ТМ, изменяется в широких пределах. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы [50].

В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк).

Тяжёлые металлы - это группа химических элементов со свойствами металлов и значительным атомным весом либо плотностью.

К этой группе относятся, например, алюминий, мышьяк, свинец, ртуть, кадмий, никель, олово, литий, сурьма, хром и некоторые другие.

Тяжёлые металлы присутствуют в окружающей среде и могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека. Они попадают в организм через загрязнённый воздух, воду, пищу, почву и потребительские товары.

Некоторые тяжёлые металлы участвуют в биологических процессах и в определённых количествах являются необходимыми микроэлементами для функционирования растений, животных и человека.

Однако их избыток может вызывать хроническую интоксикацию и нарушения различных функций организма.

Сложившееся понятие «тяжелые металлы» не является строгим, т.к. к тяжелым металлам часто относят элементы-неметаллы, например, As, Se, а иногда даже F, Be и другие элементы, атомная масса которых меньше 50 а.е.м.

Среди тяжелых металлов много микроэлементов, биологически важных для живых организмов. Они являются необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов. Однако избыточное содержание тяжелых металлов в различных объектах биосферы оказывает угнетающее и даже токсическое действие на живые организмы.

Источники поступления тяжелых металлов в почву делятся на:

- Природные (выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность)
- Техногенные (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, влияние автотранспорта, сельского хозяйства и т.д.)

Сельскохозяйственные земли, помимо загрязнения через атмосферу, загрязняются тяжелыми металлами еще и специфически, при применении пестицидов, минеральных и органических удобрений, известковании, использовании сточных вод.

В последнее время, особое внимание ученые уделяют городским почвам. Последние испытывают значительный техногенный пресс, составной частью которого является загрязнение тяжелыми металлами.

На поверхность почвы тяжелые металлы поступают в различных формах. Это оксиды и различные соли металлов, как растворимые, так и практически нерастворимые в воде (сульфиды, сульфаты, арсениты и др.). В составе выбросов предприятий по переработке руды и предприятий цветной металлургии - основного источника загрязнения

окружающей среды тяжелыми металлами - основная масса металлов (70-90 %) находится в форме оксидов.

Попадая на поверхность почв, тяжелые металлы могут либо накапливаться, либо рассеиваться в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории Табл. 4.1).

Таблица 4.1

Содержание тяжелых металлов в различных объектах биосферы,
мг/кг сухой массы

Элемент	Почвы	Пресные воды	Морские воды	Растения	Животные (в мышечной ткани)
Mn	1000 (20-10000)	0,008	0,0002	0,3-1000	0,2-2,3
Zn	90 (1-900)	0,015	0,0049	1,4-600	240
Cu	30 (2-250)	0,003	0,00025	4-25	10
Co	8 (0,05-65)	0,0002	0,00002	0,01-4,6	0,005-1
Pb	35 (2-300)	0,003	0,00003	0,2-20	0,23-3,3
Cd	0,35 (0,01-2)	0,0001	-	0,05-0,9	0,14-3,2
Hg	0,06	0,0001	0,00003	0,005-0,02	0,02-0,7
As	6	0,0005	0,0037	0,02-7	0,007-0,09
Se	0,4 (0,01-12)	0,0002	0,00002	0,001-0,5	0,42-1,9
F	200	0,1	1,3	0,02-24	0,05
B	20 (2-270)	0,15	4,44	8-200	0,33-1
Mo	1,2 (0,1-40)	0,0005	0,01	0,03-5	0,02-0,07
Cr	70 (5-1500)	0,001	0,0003	0,016-14	0,002-0,84
Ni	50 (2-750)	0,0005	0,00058	0,02-4	1-2

4.2. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду

4.2.1. Мышьяк

Элемент - As

Мышьяк - химический элемент 15-й группы (по устаревшей классификации - главной подгруппы пятой группы, VA), четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 33.

Мышьяк -металлоид и один из пниктогенов.

Мышьяк - общеизвестно токсичный тяжёлый металл. В природе он содержится во многих минералах, обычно в сочетании с серой и металлами, но также в виде чистых элементарных кристаллов.

Основное применение мышьяка - в сплавах свинца (например, в автомобильных аккумуляторах и боеприпасах).

Также мышьяк является распространённой легирующей добавкой n-типа в полупроводниковых электронных устройствах.

Мышьяк и его соединения, особенно триоксид, используются в производстве пестицидов, изделий из обработанной древесины, гербицидов и инсектицидов.

Некоторые характеристики элемента:

- относительная атомная масса: 74,92160 а. е. м.; 1
- радиус атома: 115 пм; 1
- электроотрицательность: 2,18 ед. по шкале Полинга; 1
- агрегатное состояние: твёрдое; 1
- плотность при н. у.: 5,727 г/см³; 1
- температура кипения: 614 °С. 1

Простое вещество мышьяк - это хрупкий полуметалл стального цвета с зеленоватым оттенком (в серой аллотропной модификации).

Ядовит и является канцерогеном.

Естественное загрязнение:

- Извержение вулканов,
- Ветровая эрозия

Техногенное загрязнение:

- Добыча и переработка мышьяксодержащих руд и минералов,
- Пирометаллургия и получение серной кислоты,
- Пирометаллургия и получение суперфосфата;
- Сжигание каменного угля,
- Сжигание нефти,
- Сжигание сланцев;
- Сжигание торфа,
- Синтез и использование антисептиков.
- Синтез и использование мышьяксодержащих ядохимикатов, синтез и использование препаратов,

Мышьяк в почве - это высокотоксичный полуметалл I класса опасности. Все соединения мышьяка крайне ядовиты.

В почве мышьяк накапливается в пахотном слое, мигрируя на глубину до 60 см.

Мышьяк в почве фиксируется на минеральных частицах и при достаточной увлажнённости грунта переходит в почвенный раствор.

Источниками загрязнения почв мышьяком являются отходы металлообрабатывающей промышленности, продукты сгорания топлива, промышленные выбросы, а также средства химизации сельского хозяйства: минеральные удобрения, пестициды, бытовые отходы.

Допустимая концентрация мышьяка, согласно Письму Минприроды РФ №04-25 и Письму Роскомзема №61-5678 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами», не должна превышать 2 мг/кг. Однако для разных почв значения ПДК могут отличаться [4].

Мышьяк даже в малых концентрациях обладает канцерогенным действием. У жителей регионов с загрязнёнными почвами наблюдаются гипогликемии, поражения респираторного аппарата, кровеносной и нервной системы, снижение функциональных способностей печени и почек.

4.2.2. Селен

Элемент – Se

Селен (символ - Se) - химический элемент 16-й группы (по устаревшей классификации - главной подгруппы шестой группы, VIA), четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 34.

Простое вещество селен - это хрупкий, блестящий на изломе неметалл серого цвета. 1

Элемент открыт Йёнсом Якобом Берцелиусом в 1817 году.

Селен - редкий и рассеянный элемент, содержание в земной коре $1,4 \cdot 10^{-5}\%$ по массе, в воде морей и океанов $4 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³.

В небольших количествах селен необходим животным и людям, играя важнейшую роль в функционировании некоторых ферментов, защищающих клетки от окислительного разрушения. Однако в больших дозах он может быть токсичен.

Естественное загрязнение:

- Вулканическая деятельность.
- Выпадение с атмосферными осадками.

- Сульфидные месторождения, в которых селен изоморфно замещает серу.

Техногенное загрязнение:

- Обогащение руд,
- Производство серной кислоты,
- Сжигание угля

Селен в почве является одним из биогенных элементов, влияющих на ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность, зимостойкость, засухоустойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Среднее содержание селена в почвах изменяется от 10 до 1000 мг/кг и более при фоновом значении 400 мг/кг. Среднее содержание селена в почвах России равно 300 мг/кг.

В региональных условиях на содержание селена в почвах влияет направленность почвообразовательного процесса, уровень их плодородия и химизации земледелия. Наибольшее количество микроэлемента отмечается в почвах с высоким содержанием гумуса, глины и оксидов железа.

ПДК селена в почве не установлены

При этом в большинстве почв концентрация селена относительно низкая, в пределах значений 0,01–2,0 мкг/кг.

Также известно, что добавление селена в почву может оказывать токсическое действие на растения, снижая их урожайность.

4.2.3. Бор

Элемент – В

Бор (В) - химический элемент 13-й группы (по устаревшей классификации - главной подгруппы третьей группы, IIIA) второго периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 5.

Некоторые свойства бора:

- Простое вещество: бесцветный, серый или красный кристаллический, либо тёмный аморфный полуметалл.
- Атомная масса: 10,811 г/моль. 4
- Плотность: 2,34 г/см³.
- Температура плавления: 2074 °С.
- Температура кипения: 3658 °С.

В природе два стабильных изотопа: ^{10}B (19,9%) и ^{11}B (80,1%).

Естественное загрязнение:

Входит в состав многих минералов.

Техногенное загрязнение:

- Сточные воды производств: металлургического, машиностроительного, текстильного, стекольного, керамического, кожевенного, а также бытовые сточные воды, насыщенные стиральными порошками.
- Разработка борсодержащих руд, внесение удобрений

Бор в почве - важный элемент для полноценного развития растений. Он обеспечивает транспортировку полезных веществ к корням, плодам и листьям, способствует активизации работы ферментов.

В разных регионах количество бора в почве неодинаковое. Песчаные почвы, дерново-подзолистые, серые лесные, краснозёмы бором бедны. В чернозёмах и каштановых почвах содержание этого элемента больше.

Усвояемость бора зависит от кислотности почвы. На щелочных бор становится менее доступным. Дефицит его может возникать после известкования.

Предельно допустимая концентрация бора в почве - 30 мг/кг. Избыток этого микроэлемента также отрицательно сказывается на растениях, делая его токсичным.

Чтобы оценить содержание бора в почве, проводятся лабораторные анализы. Их результат позволяет принять решение о необходимости применения борсодержащих удобрений, а также увеличения или уменьшения их объёма.

4.2.4. Свинец

Элемент – Pb

Свинец (Pb) - элемент 14-й группы, шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 82.

Простое вещество свинец - ковкий, сравнительно легкоплавкий тяжёлый металл серебристо-белого цвета с синеватым отливом. Плотность свинца - 11,35 г/см³.

Некоторые характеристики элемента:

- Относительная атомная масса: 207,2 а. Е. М.;
- Радиус атома: 175 пм;

- Электроотрицательность: 2,33 ед. По шкале полинга;
- Температура плавления: 327 °с;
- Температура кипения: 1751 °с.

Свинец и его соединения токсичны, при этом органические соединения свинца более опасны, чем неорганические.

Естественное загрязнение:

Содержится в земной коре, входит в состав минералов. В окружающую среду поступает в виде силикатной пыли почвы, вулканического дыма, испарений лесов, морских солевых аэрозолей и метеоритной пыли.

Техногенное загрязнение:

- Выбросы продуктов, образующихся при высокотемпературных технологических процессах,
- Выхлопные газы,
- Добыча и переработка металла,
- Сточные воды,
- Транспортировка, истирание и рассеивание его во время работы машин и механизмов.

Свинец в почве может поступать из разных источников, например, отходы при добыче и переработке полиметаллических руд, примеси в удобрениях, галогениды и оксид этого металла, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей.

Уровень фоновых концентраций в почвах разного типа может значительно колебаться. Он достигает отметки в 1000 мг/кг при разрешённой ПДК в 30 мг/кг.

Степень загрязнённости почв сельскохозяйственных угодий свинцом относительно невысока. Среднее содержание валовых форм свинца в песчаных и супесчаных почвах составляет $6,8 \pm 0,6$ мг/кг.

Наибольшему загрязнению тяжёлыми металлами подвергаются почвы и растения в радиусе 2–5 км от металлургических предприятий, 1–2 км от рудников и ТЭЦ и в полосе 0–100 м от автомагистралей.

Свинец относится к тяжёлым металлам, высокотоксичным для человека и животных. В их организмы значительная часть свинца попадает в составе растительных продуктов.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) свинца в почве населённых пунктов в России - 32 мг/кг.

Свинец проявляет степень окисления +2 и +4, наиболее устойчивы соединения со степенью окисления +2.

Использование. Совокупные мировые запасы, пригодные для добычи, оцениваются в настоящее время в размере 89 млн т. Разведанные запасы свинца есть во многих странах мира. По данным Геологической службы США, в настоящее время наибольшими запасами металла обладает Австралия - 36 млн. т, на втором месте по запасам Китай - 14 млн т. В России запасы на месторождениях свинца составляют 9,2 млн т.

Со времен средневековья свинец используется для производства водопроводных труб, боеприпасов, монет, припоя, кухонной посуды. В настоящее время он широко применяется в производстве аккумуляторов, различных металлических изделий, типографского шрифта (сплав с оловом, сурьмой, мышьяком), химических препаратов и красителей. На его основе производят сплавы, используемые как материал для подшипников (сплав с сурьмой и медью). Из свинца изготавливают оболочку для кабелей и проводов [55].

Свинцовые изделия служат защитой от радиоактивного излучения. Соединения свинца используются в производстве красок (сурик Pb_3O_4); сурик и диоксид свинца PbO_2 применяют для заправки аккумуляторов; оксид свинца (II) PbO как специальная добавка входит в состав хрусталя, оптического стекла и эмалей. Долгое время тетраэтилсвинец (IV) $Pb(C_2H_5)_4$ применяли в качестве антидетонационной присадки к бензину.

Содержание в природных средах. Массовая доля свинца в земной коре колеблется от $1,25 \cdot 10^{-3} \%$ до $2,0 \cdot 10^{-3}\%$. Самородный свинец встречается редко, большая его часть находится в рассеянном виде. Данный элемент входит в состав более чем 200 минералов, важнейшие из них: галенит, церуссит, англезит; из более сложных - тиллит и бетехтинит, а также сульфосоли свинца - джемсонит, буланжерит.

Всегда содержится в рудах урана и тория, имея часто радиогенную природу. В природных условиях часто образуются крупные залежи свинцово-цинковых или полиметаллических руд.

Галенит часто встречается и в месторождениях других металлов: колчеданно-полиметаллических, медно-никелевых, урановых, золоторудных и др.

Сульфосоли обычно распространены в низкотемпературных гидротермальных месторождениях с сурьмой, мышьяком, а также в золоторудных месторождениях.

Минералы свинца сульфидного типа имеют гидротермальный генезис, минералы окисного типа часто встречаются в корах выветривания (зонах окисления) свинцово-цинковых месторождений.

Концентрация растворенного свинца в незагрязненных водах суши, как правило, не превышает 3 мкг/л. Уровни содержания свинца в атмосферных осадках, обычно изменяются от 0,03 до 50 мкг/л, однако в густонаселенных районах они могут превышать 1000 мкг/л, приводя к существенному загрязнению снежного покрова и почв.

Содержание свинца в поверхностных водах различных регионов мира в среднем колеблется в пределах 0,7-36 мкг/л, в грунтовых водах - 0,1-11 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 0,9-100 мг/кг 0,51 и др.

При этом предельно допустимая концентрация элемента в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 10 мкг/дм³, для пресных вод - 6 мкг/дм³. Среднее содержания свинца в почвах - $n \cdot 10^{-3}\%$.

Уровень содержания элемента в почвах, как правило, обусловлен содержанием элемента в почвообразующих породах.

Миграция и конечное распределение в почвенном профиле происходят под действием факторов почвообразования и обусловлены интенсивностью биологического круговорота элемента.

Свинец хорошо сорбируется почвенно-поглощающим комплексом почвы и с трудом вытесняется другими элементами. Сорбционные процессы удержания свинца почвами в значительной мере обусловлены содержанием в них органического вещества и глинистых минералов, однако ведущая роль принадлежит органическому веществу. В связи с этим характер распределения свинца по профилю почвы аналогичен распределению органического вещества.

Наибольшее количество элемента, как правило, приурочено к верхним гумусовым горизонтам почв [17].

В кислых подзолистых и дерново-подзолистых почвах происходит вынос свинца вниз по профилю и аккумуляция в иллювиальном горизонте. Таким образом, в данных почвах наблюдается два максимума содержания элемента - гумусовый и иллювиальный горизонты.

Максимальное содержание подвижных соединений свинца в серых лесных почвах отмечается в верхнем 20-сантиметровом слое, что составляет около 40% его валовых запасов.

В дерново-глеевых почвах основным барьером на пути передвижения свинца в условиях кислой реакции среды является глеевый горизонт, что связано с высоким содержанием в нем ила.

Свинец в этом горизонте имеет малую подвижность, кроме того, при сильном оглеении возможно образование сульфидов.

Растения накапливают свинец в количествах $n \cdot 10^{-5}$ - $n \cdot 10^{-4}\%$. Хотя в природных условиях свинец присутствует во всех видах растений, его роль в метаболизме выявить не удастся. Однако имеются данные о стимулирующем действии на рост и развитие растений некоторых солей свинца.

Взаимодействие свинца с другими элементами в различных условиях среды не позволяет точно определить его токсичные для жизненных процессов концентрации.

Научными исследованиями описано токсичное действие свинца на фотосинтез, дыхание, митоз и водный обмен, но при этом строго специфичных симптомов свинцового токсикоза у растений не отмечено.

В среднем за сутки организм человека поглощает 26-42 мкг свинца. При этом от 60 до 90% общего количества элемента находится в костях.

Основным диагностическим показателем воздействия свинца на здоровье человека является уровень его содержания в крови. Так, уже при содержании 50-60 мкг/100 мл в поведении человека проявляются признаки депрессии, агрессивности, а также ухудшение общего самочувствия.

Свинец вызывает хронические отравления с весьма разнообразными клиническими проявлениями: поражает центральную и периферическую нервную систему, костный мозг и кровь, почки, сосуды, генетический аппарат клетки, нарушает синтез белка, оказывает эмбриотоксическое действие.

Согласно классификации, утвержденной Министерством здравоохранения, выделено несколько форм свинцового отравления (сатурнизма) - по мере увеличения тяжести отравления развиваются малокровие, токсический гепатит, свинцовая колика, энцефалопатия, паралич.

4.2.5. Ртуть

Элемент – Hg

Ртуть (Hg) - элемент шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева с атомным номером 80. Относится к подгруппе цинка, 12-й группе (по устаревшей классификации - побочной подгруппе II группы).

Простое вещество ртуть - переходный металл, при комнатной температуре представляющий собой тяжёлую серебристо-белую жидкость. Пары ртути чрезвычайно ядовиты.

Ртуть - один из двух химических элементов (и единственный металл), простые вещества которых при нормальных условиях находятся в жидком агрегатном состоянии (второй такой элемент - бром).

В природе ртуть представлена семью стабильными изотопами с массовыми числами: 196 (0,2%), 198 (10,0%), 199 (16,8%), 200 (23,1%), 201 (13,2%), 202 (29,8%), 204 (6,9%). 2

Естественное загрязнение:

- Рассеянный элемент, концентрируется в сульфидных рудах.
- Небольшое количество встречается в самородном виде

Техногенное загрязнение:

- Metallургические производства,
- Потери на предприятиях по производству хлора, каустической соды.
- При сжигании мусора,
- Процесс пирометаллургического получения металла, а также все процессы, в которых используется ртуть.
- Сжигание любого органического топлива (нефть, уголь, торф, газ, древесина)
- Сточные воды.
- Термические процессы с нерудными материалами.

Ртуть в почве - это стойкое загрязняющее вещество, которое распространяется по воздуху, в воде и накапливается в растениях и организмах животных.

Основным источником попадания ртути в почву является работа предприятий цветной металлургии, а также использование фунгицидов для борьбы с грибковыми заболеваниями, нередко поражающими растения. Ещё одним фактором загрязнения ртутью являются сточные

воды, которые применяются с целью орошения и разработки месторождений.

Для определения концентрации ртути в почве необходимо выполнить анализ грунта на участке, который вызывает вопросы. Для этого сначала выполняется отбор образцов - чтобы добиться максимальной точности, их берут в нескольких местах. Исследование проб выполняется в лабораторных условиях.

ПДК вещества в почве составляет 2,1 мг/л.

В химическом отношении ртуть малоактивна. Она не реагирует с хлороводородной и разбавленной серной кислотами и щелочами, окисляется азотной и концентрированной серной кислотами, не образует гидроксидов.

При нагревании взаимодействует с неметаллами (кислородом, серой, галогенами). Ртуть способна растворять многие металлы (цинк, олово, медь, золото, натрий), образуя жидкие и твердые сплавы - амальгамы.

Одной из главных особенностей ионов ртути является способность к образованию комплексных соединений с координационными числами от 2 до 8. Связь ртуть - лиганд во всех комплексах является ковалентной. Наиболее устойчивы комплексы с лигандами, содержащими атомы галогенов, углерода, азота, фосфора, серы.

В окружающей среде ртуть встречается в виде Hg^0 , Hg^{1+} , Hg^{2+} .

По токсикологическим свойствам соединения ртути делятся на следующие группы:

- алкилртутные (метил- и этил-) соединения с короткой цепью и другие ртутьорганические соединения.
- неорганические соединения;
- элементарная ртуть;

Мировые запасы ртути оцениваются примерно в $5,9 \cdot 10^5$ т, мировое производство составляет около $8,4 \cdot 10^3$ т/год.

Сочетание таких физико-химических свойств, как текучесть при комнатной температуре, однородное объемное расширение в широком интервале температур, высокое поверхностное натяжение и несмачиваемость стеклянных поверхностей, делают ртуть единственным веществом, пригодным для использования в измерительных приборах - термометрах, барометрах, манометрах.

Низкая электросопротивляемость и высокая теплопроводность способствуют применению ртути в качестве электропроводника и холодильного теплоносителя. Парами ртути заполняют люминесцентные лампы. Оксид ртути

(II) HgO используется для получения красок, которыми окрашивают днища морских судов (при этом они не обрастают водорослями). Ртуть широко применяется в составе пестицидов и фармацевтических препаратов.

Амальгамы со многими металлами находят применение в металлургии и медицине, в частности в стоматологии. Из ртути изготавливают катоды для электрохимических производств [31].

В настоящее время двумя основными областями применения ртути являются производство электрических приборов и электролитическое производство хлорной и каустической соды.

Содержание в природных средах. Массовая доля ртути в земной коре составляет $n \cdot 10^{-6}$ - $n \cdot 10^{-5}\%$. Основная форма нахождения ртути в природе - рассеянная, и только около 0,02 % её заключено в месторождениях. Изредка ртуть встречается в самородном состоянии, вкрапленная в горные породы, но главным образом она находится в природе в виде ярко-красного сульфида HgS или киновари (этот минерал применяется для изготовления красной краски).

В природе известно около 20 минералов ртути, но главное промышленное значение имеет киноварь HgS (86,2 % Hg). Наиболее богатые ртутью руды содержат до 2,5 % ртути. Содержание элемента в различных типах изверженных пород близко между собой (около 100 мг/т).

Из осадочных пород максимальные концентрации ртути установлены в глинистых сланцах (до 200 мг/т). Ртуть содержится в большинстве сульфидных минералов. Особенно высокие её содержания (до тысячных и сотых долей процента) устанавливаются в блёклых рудах, антимонитах, сфалеритах и реальгарах.

Известны крайне редкие селениды ртути - тиманит и онофрит. Близость ионных радиусов двухвалентной ртути и кальция, одновалентной ртути и бария определяет их изоморфизм во флюоритах и баритах.

Концентрация растворенной ртути в незагрязненных пресных водах колеблется в пределах 0,02-0,1 мкг/л, а в морских водах - от < 0,01 до 0,03 мкг/л.

Содержание ртути в атмосферных осадках различных регионов мира изменяется в среднем в пределах 0,01-1,8 мкг/л, в поверхностных водах - 0,1-6,0 мкг/л, в грунтовых водах - 0,01-0,9 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 0,01-6,0 мг/кг [4].

Существенная часть ртути в природных водах является связанной и мигрирует со взвешенным твердым веществом. Об уровнях содержания метилртути в пресных водоемах данных немного. Хотя в незагрязненных водных системах ее содержание менее 0,2-1 нг/л, в биоте отмечаются относительно высокие содержания.

При этом предельно допустимая концентрация ртути в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 0,1 мкг/дм³, для пресных вод - 0,01 мкг/дм³.

Содержание ртути в почвах фоновых территорий изменяется в широких пределах - от $n \cdot 10^{-7}$ - $n \cdot 10^{-4}\%$. Уровень содержания данного элемента в почвах, как правило, выше, чем в почвообразующих породах. При этом осадочные породы характеризуются более высоким содержанием элемента по сравнению с магматическими.

Повышенное содержание ртути характерно для пойменных почв незасоленного ряда (болотных, луговых, лугово-болотных), что обусловлено как достаточно высоким содержанием органического вещества, так и принадлежностью почв к супераквальным ландшафтам.

В нейтральной и слабощелочной среде миграция ртути ограничена, поэтому ее распределение по почвенному профилю характеризуется низкой контрастностью [40].

В кислой среде при промывном типе водного режима соединения ртути обладают высокой подвижностью и могут активно мигрировать в почвенном профиле, аккумулируясь на геохимических барьерах.

Обогащенность ртутью верхних гумусовых горизонтов независимо от типа почвы, что в большинстве случаев связано с ее фиксацией органическими веществами. Доказана также способность илистой фракции почв и окислов железа к сорбции ртути, что приводит к накоплению элемента в иллювиальных горизонтах.

4.2.6. Кадмий

Элемент – Cd

Кадмий (Cd) - химический элемент 12-й группы (по устаревшей классификации - побочной подгруппы второй группы, ПВ), пятого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 48.

Некоторые свойства кадмия:

- Атомная масса: 112,411 г/моль.
- Электроотрицательность: 1,69 по шкале Полинга.
- Температура плавления: 321 °С.
- Температура кипения: 765 °С.
- Плотность: 8,642 (при 26 °С).

Кадмий - это металл, который в своей металлической форме имеет серебристо-белый или голубовато-белый цвет, он очень мягкий (можно резать ножом) и пластичный.

Кадмий и его соединения токсичны. Элемент считается тяжёлым металлом.

Применяется кадмий, среди прочего, при производстве никель-кадмиевых аккумуляторов, красителей, фотоэлектрических элементов.

Естественное загрязнение:

Относится к редким рассеянными элементам: содержится в виде изоморфной примеси во многих минералах и всегда в минералах цинка.

Техногенное загрязнение:

- Локальное загрязнение - выбросы промышленных комплексов, загрязнение различной степени мощности - это тепловые энергетические установки, моторы,
- Минеральные удобрения,
- Табачный дым.

Кадмий в почве содержится в небольшом количестве. На его содержание влияют многие факторы почвообразования, среди которых основную роль играет химический состав почвообразующих пород.

Среднее содержание кадмия в разных типах почв:

- чернозёмах - 0,12 мг/кг;
- интразональных почвах - 0,11 мг/кг;
- серых лесных и дерново-подзолистых почвах - 0,10 мг/кг.

Количество подвижного кадмия в почве колеблется от 0,02 до 0,04 мг/кг, или 18,7–37,5% от валового содержания.

Самая высокая подвижность кадмия отмечена в тёмно-бурых заливных и тёмно-серых лесных почвах.

Кадмий относится к первому классу опасности и обладает высоким кумулятивным эффектом. При загрязнении почв этот элемент по пищевым цепям может поступать в организм животных и человека.

Согласно СанПин 1.2.3685-21, ОДК кадмия в почве:

0,5 мг/кг - для песчаных и супесчаных почв;

1,0 мг/кг - для кислых почв;

2,0 мг/кг - для близких к нейтральным почвам.

По химическим свойствам кадмий - аналог цинка и отличается от ртути как по свойствам свободной, элементарной формы, так и по свойствам своих соединений. $\text{Cd}(\text{OH})_2$ более основной, чем $\text{Zn}(\text{OH})_2$, в то время как $\text{Hg}(\text{OH})_2$ - крайне слабое основание.

Галогениды цинка и кадмия имеют преимущественно ионную природу, в то время как HgCl_2 - ковалентное соединение, почти не диссоциирующее в водном растворе. Комплексы Hg^{2+} в целом на несколько порядков устойчивее комплексов Zn^{2+} и Cd^{2+} .

Мировые запасы кадмия оцениваются геологической службой США в размере 560 тыс. т. Самые большие запасы имеются в Китае, Австралии, Перу, Мексике и России. Вместе они составляют около 300 тыс. т.

В настоящее время кадмий и его соединения применяют в разнообразных промышленных изделиях и процессах:

- гальванические покрытия;
- кадмиевые покрытия кинескопов, флуоресцентных ламп, рентгеновских экранов и т.п.;
- кадмиевые сплавы в кадмиево-серебряных припоях и др.
- красители;
- стабилизаторы пластмасс;
- электрические аккумуляторы;

Содержание в природных средах. Содержание кадмия в литосфере колеблется около $n \cdot 10^{-6}$ - $n \cdot 10^{-5}\%$. Устойчивое состояние элемента в природной среде Cd^{2+} .

Кадмий относится к редким, рассеянным элементам: он содержится в виде изоморфной примеси во многих минералах и всегда в минералах цинка. Известно всего шесть кадмиевых минералов. Весьма редкими минералами кадмия являются гринокит, хоулиит, отавит, монтепонит, кадмоселит, ксантохроит.

Геохимия кадмия тесно связана с геохимией цинка, но кадмий имеет большее сродство к сере, чем цинк, и обнаруживает большую, чем цинк, подвижность в кислых средах. Кадмий, как правило, присутствует вместе с цинком в карбонатных и сульфидных рудах.

Распространенность кадмия в магматических и осадочных породах не превышает 0,3 мг/кг. Данный элемент концентрируется в глинистых осадках и сланцах.

Основная масса кадмия рассеяна в большом числе минералов (более 50), преимущественно в сульфидах цинка, свинца, меди, железа, марганца и ртути. Максимальная концентрация отмечена в минералах цинка, и прежде всего в сфалерите (до 5 %).

В большинстве же случаев содержание кадмия в сфалерите не превышает 0,4-0,6 %. В других сульфидах, например, в станине, содержание кадмия - 0,003-0,2 %, в галените - 0,005- 0,02 %, в халькопирите - 0,006-0,12 %; из этих сульфидов кадмий обычно не извлекается.

Кадмий не образует самостоятельных месторождений, а входит в состав руд месторождений других металлов. Относительно высоко содержание кадмия в рудах среднетемпературных свинцово-цинковых и частично медно-колчеданных месторождений [16].

Уровень концентрации растворенного кадмия в незагрязненных пресных водах изменяется в среднем от 0,01 до 0,5 мкг/л, однако на загрязненных территориях может достигать 17 мкг/л.

Содержание кадмия в атмосферных осадках различных регионов мира в среднем колеблется в пределах 0,02-18 мкг/л, в поверхностных водах - 0,11-10 мкг/л, в грунтовых водах - 0,05-10 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 0,03-12,5 мг/кг [0, 49 и др.]. При этом предельно допустимая концентрация цинка в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 10 мкг/дм³, для пресных вод - 5 мкг/дм³.

Среднее содержание кадмия в почвах мало отличается от его содержания в литосфере и составляет $n \cdot 10^{-5}\%$.

Основным фактором, определяющим содержание кадмия в почвах, является химический состав материнских пород.

В почвах, развивающихся в условиях гумидного климата, миграция Cd вниз по профилю более вероятна, чем его накопление в поверхностном горизонте почв. Обогащение данным элементом верхних слоев часто свидетельствует об антропогенном загрязнении.

В настоящее время многочисленными исследованиями было установлено, что ведущим процессом в связывании Cd почвами является конкурирующая адсорбция на глинах.

Именно адсорбция, а не осаждение контролирует концентрацию кадмия в почвенных растворах до тех пор, пока не будет превышена некоторая предельная величина pH.

При $\text{pH} > 7,5$ кадмий в почве перестает быть легкоподвижным, его подвижность начинает контролироваться растворимостью.

Растворимость кадмия в значительной степени зависит от pH, однако важное значение имеет также природа сорбирующих поверхностей и органических лигандов. При этом энергия связи при адсорбции Cd больше у органического вещества, чем у присутствующих в почве глин. Вместе с тем, установлено, что оксиды Fe, аллофан и имоголит обладают наибольшей способностью к селективной адсорбции Cd.

В кислых почвах органическое вещество и полуторные оксиды могут в значительной степени контролировать растворимость кадмия, а в щелочных почвах при рассмотрении равновесий с участием Cd надо учитывать также осаждение соединений кадмия.

Кадмий наиболее подвижен в кислых почвах в интервале pH 4,5-5,5, тогда как в щелочных почвах он относительно неподвижен.

Почвы имеют высокое сродство к кадмию при pH 6. В интервале pH 4-7,7 сорбционная емкость почв возрастает примерно втрое при увеличении pH на единицу.

4.2.7. Цинк

Элемент – Zn

Цинк - элемент 12-й группы 4-го периода периодической системы химических элементов (по устаревшей классификации - первый элемент в триаде (Zn, Cd, Hg) побочной подгруппы II группы) с атомной массой 65,37.

Его атомы имеют электронную конфигурацию внешней оболочки $3d^{10}4s^2$. Серебристо-белый металл с плотностью 7,13 г/см³, имеет хорошую электро- и теплопроводность.

Элемент не обладает множественной валентностью, мягче и имеет более низкую температуру плавления по сравнению с медью (419,5 °С). Однако цинк имеет сходство с медью по способности образовывать комплексы, особенно с аммиаком, аминами, ионами галогенидов и цианидами.

По характеру химического взаимодействия с лигандами цинк занимает промежуточное положение между жесткими и мягкими акцепторами - он образует комплексы как с жесткими (кислородные доноры) основаниями, так и с мягкими (серные доноры). Это находит выражение в том, что цинк в природе присутствует в виде сульфидных и карбонатных руд. В соединениях цинк проявляет степень окисления +2.

Некоторые характеристики элемента:

- Относительная атомная масса: 65,38 а. е. м.;
- Плотность при н. у.: 7,133 г/см³;
- Радиус атома: 133,2 пм;
- Температура кипения: 906,2 °С.
- Температура плавления: 419,58 °С;
- Электроотрицательность: 1,65 ед. По шкале полинга;

Естественное загрязнение:

- Относится к группе рассеянных элементов. Широко распространен во всех геосферах.

- Входит в состав 64 минералов

Техногенное загрязнение:

- Высокотемпературные технологические процессы,
- Потери при транспортировке, сжигание каменного угля.

Содержание цинка в почвах колеблется от 25 до 100 мг/кг.

Оно определяется наличием этого элемента в почвообразующих породах и тесно связано с увеличением органического вещества в почве.

Почвы более тяжелого механического состава, суглинки и глины, содержат больше цинка по сравнению с супесчаными и песчаными [15].

Дерново-подзолистые, серые лесные и сероземные почвы содержат гораздо меньше металла, чем во всех прочих типах почв.

Органическое вещество способно связывать цинк в устойчивые формы. Это приводит к накоплению данного металла в органическом горизонте почв и торфе.

Цинк наиболее подвижен и биологически доступен в почвах:

- кислых;
- легких;
- минеральных.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) цинка в почве равна 23 мг/кг (транслокационный показатель).

В зависимости от степени воздействия на почву и растения с сельскохозяйственными культурами, ПДК может также быть:

200 мг/кг (водный показатель);

37 мг/кг (общесанитарный показатель).

Мировые идентифицированные запасы цинка на Земле составляют примерно 1900 млн т, резервы (идентифицированные и доступные для добычи) - примерно 250 млн т.

Крупнейшие запасы цинка находятся в Австралии (22,4% от общего количества) и Китае (17,2%). Прогнозные ресурсы цинка в России составляют 62 млн т, или чуть более 3% мировых запасов.

В настоящее время цинк добывают и производят более чем в 30 странах. В ежегодном мировом потреблении металлов цинк занимает четвертое место после стали, алюминия и меди. Его используют в производстве сплавов - латуни (сплав с медью) и нейзильбера (с медью и никелем) - применяют как конструкционный материал в машиностроении, из него изготавливают электроды для электрохимических источников тока.

Цинком покрывают стальные и чугунные изделия для защиты их от коррозии. Оксид цинка применяют в производстве красок (цинковых белил) и как полупроводниковый материал [26].

Хлорид цинка используют как компонент флюсов при пайке металлов, им пропитывают древесину для предохранения от гниения.

Содержание в природных средах. Кларк цинка в литосфере колеблется от 0,004 до 0,008%.

Цинк - относительно мало распространенный элемент, однако он имеет длительную историю использования, что связано со способностью образовывать месторождения и легкостью извлечения из руд.

В природе цинк встречается в виде таких минералов, как цинковая обманка, вюртцит, цинкит, смитсонит или цинковый шпат, каламин, ганит. Но значительная доля элемента представлена в виде изоморфных примесей в слюдах, амфиболах, роговых обманках и других минералах.

Наибольшее промышленное значение имеют карбонатные и сульфидные руды цинка. Основная руда, встречается, как правило, совместно со свинцовыми рудами.

Содержание элемента в горных породах изменяется в широких пределах: в ультраосновных - 50-120 мг/кг, в основных - 104-220 мг/кг, в средних и кислых - 30-140 мг/кг, в осадочных - 57-125 мг/кг.

Содержание растворенного цинка в незагрязненных пресноводных системах колеблется от 0,5 до 15 мкг/л. Более высокие уровни содержания отмечаются в водных системах промышленных территорий.

В прибрежных участках моря концентрация цинка изменяется от 0,4 до 5 мкг/л. При этом повышенные количества обычно отмечаются на глубинах более 1 км вследствие осаждения разлагающегося планктона [19].

Содержание цинка в атмосферных осадках различных регионов мира в среднем колеблется в пределах 1-370 мкг/л, в поверхностных водах - 0,1-610 мкг/л, в грунтовых водах - 5-49 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 7-1600 мг/кг 0, 49, 5.

При этом предельно допустимая концентрация цинка в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 50 мкг/дм³, для пресных вод - 10 мкг/дм³ (табл. 4.2).

По данным, среднее содержание цинка в почвах составляет $5 \times 10^{-3}\%$, при этом колебания в незагрязненных почвах весьма значительны (табл. 4.3)

Таблица 4.2

Валовое содержание цинка в поверхностном слое почв различных регионов мира, мг/кг

Почвы	Среднее содержание Zn	Пределы колебаний
Дерново-подзолистые почвы	35,0	-
Серые лесные почвы	60,5	-
Черноземы мощные	79,4	-
Темно-каштановые почвы	96,9	-
Красноземы на коре выветривания магматических пород	66	57 - 74
Красноземы на зёбровидной глине	68	62 - 72
Желтоземы на глинистых сланцах	47	41 - 54
Желтоземы на элювии галечников и карбонатных пород	52	30 - 74
Желтоземно-подзолистые почвы	54	41 - 67
Дерново-карбонатные почвы	100	89 - 111

Таблица 4.3

Содержание цинка в пахотном слое почв России, мг/кг

Дерново-подзолистые	Серые лесные	Черноземы	Каштановые	Торфяные
5-62	20-63	29-63	42-52	7-62

Наибольшие средние уровни содержания цинка в почвах установлены для ряда аллювиальных почв, солончаков и каштановых почв, наименьшие - для светлых минеральных почв.

Суглинистые почвы значительно богаче цинком, чем песчаные и супесчаные.

Распределение цинка по профилю почв, как правило, достаточно равномерное. Различные колебания обусловлены содержанием в почвенных горизонтах органического вещества, глинистой фракции, карбонатов и т.д.

К факторам, увеличивающим содержание цинка в почве, относятся: высокое содержание минералов тяжелой фракции и глинистых минералов, тяжелый механический состав, богатство коллоидами, наличие органического вещества.

Распределение цинка по почвенному профилю определяется типом почвы. Профиль чернозема характеризуется относительно равномерным распределением элемента по горизонтам. В подзолистых и серых лесных почвах отмечен вынос Zn из элювиального горизонта и накопление его в иллювиальной толще [12].

Многочисленные исследования свидетельствуют о биогенном характере накопления цинка в почвах, однако возможности такого накопления неодинаковы для различных почв.

В хорошо гумусированной, не затронутой элювиальным процессом почве, цинк аккумулируется в большей степени, чем в слабо гумусированной и подвергающейся оподзоливанию, лессивированию, осолодению и другим процессам.

Элювиальный процесс вызывает перемещение тонкодисперсных частиц, содержащих цинк, вниз по профилю, способствуя обогащению иллювиального горизонта. Чем ярче выражен подзолистый процесс, тем больше разница в содержании цинка между горизонтами подзолистых почв.

Аналогично происходит перемещение элемента при формировании осолоделых и солонцеватых почв.

В почвах полугидроморфного и гидроморфного рядов закономерности распределения усложняются процессами гидрогенной аккумуляции цинка из почвенно-грунтовых вод. В подзолисто-глеевых почвах повышенное содержание Zn приурочено к глеевым горизонтам, в солончаках - к солевым.

Существует два различных механизма адсорбции цинка: один - в кислой среде - связан катионным обменом, а другой - в щелочной среде - рассматривается как хемосорбция и в значительной степени обусловлен количеством органических лигандов [14].

Цинк ассоциируется в почвах главным образом с гидрооксидами Fe и Al и с глинистыми минералами. Наибольшая селективность адсорбции Zn обнаружена у оксидов Fe, галлуазита, аллофана и имоголита, а наименьшая - у монтмориллонита. Кроме того, цинк может входить в кристаллическую решетку некоторых глинистых минералов (например, монтмориллонита).

Наиболее важными факторами, контролирующими растворимость Zn в почвах, являются содержание глинистых минералов, гидрооксидов Fe и Al и величина pH, тогда как образование органических

комплексов и осаждение Zn в виде гидроксидов, карбонатов и сульфидов имеют меньшее значение.

Цинк наиболее подвижен и биологически доступен в кислых легких минеральных почвах.

Растворимость и доступность цинка имеют отрицательную корреляцию со степенью насыщенности кальцием и с содержанием фосфора. Эти соотношения могут отражать как влияние адсорбции и осаждения, так и взаимодействие между этими элементами.

Кроме того, в области высоких значений pH необходимо учитывать влияние на растворимость и доступность Zn образование растворимых Zn-органических комплексов и комплексных анионных форм Zn.

4.2.8. Фтор

Элемент – F

Фтор - элемент VII группы (17-й группы длинной формы) периодической системы. Относится к галогенам. Атомный номер - 9.

При нормальных условиях фтор - двухатомный газ бледно-жёлтого цвета с резким запахом. Очень ядовит.

Фтор - самый активный неметалл. Реагирует со всеми элементами, кроме гелия, неона и аргона. Взаимодействие фтора со многими веществами легко переходит в горение и взрыв.

В природе фтор встречается только в связанном состоянии. Основной промышленный минерал - флюорит. Промышленное значение как источники фтора имеют также апатит и фосфориты.

Естественное загрязнение:

- Широко распространен в природе, составляя примерно 0,08% земной коры.
- Входит в состав свыше 1000 минералов.
- Фтороводородом богаты вулканические газы.

Техногенное загрязнение:

- Электростанции, работающие на угле,
- Производство алюминия и суперфосфатных удобрений

Фтор в почве может накапливаться в виде труднорастворимых фторида кальция и фтороapatита. Его содержание колеблется от 0,003 до 0,032% (в среднем 0,02%).

Среднее содержание фтора в почвах составляет примерно 320 мг/кг. Наиболее низкое содержание отмечено в песчаных почвах (20–150 мг/кг), наиболее высокое - в тяжелосуглинистых (чернозёмы - 450–1200 мг/кг).

Фтор ухудшает свойства почвы, ингибирует биологические процессы, снижает продуктивность растений.

Его накопление приводит к снижению окислительно-восстановительного потенциала, уменьшению суммы обменных оснований, увеличению сухого остатка водной вытяжки.

Источниками фтора в почве могут быть извержения вулканов, угольные электростанции, алюминиевые заводы, заводы по производству фосфорных удобрений, стекла, керамики и пластмасс.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) фтора в почве составляет 2,8 мг/кг.

4.2.9. Хром

Элемент – Cr

Хром (Cr) - химический элемент 6-й группы (по устаревшей классификации - побочной подгруппы шестой группы, VIB), четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 24.

Простое вещество хром (при комнатной температуре) - это твёрдый переходный металл голубовато-белого цвета. Хром иногда относят к чёрным металлам.

Название «хром» произошло от греч. χρῶμα - цвет, краска - из-за разнообразия окраски соединений этого вещества. 4

Хром открыт во Франции в 1797 году химиком Л. Н. Вокленом.

В природе хром распространён в виде минералов, значимые для промышленности - хромистый железняк (хромит) и крокоит.

Хром используют в качестве легирующей добавки для улучшения коррозионной стойкости и прочности стали. Тонкий слой хрома наносят на металлические изделия (хромируют) для защиты от коррозии и придания красивого вида. 3

Естественное загрязнение:

- В элементарном состоянии в природе не встречается.
- В виде хромита входит в состав земной коры.

Техногенное загрязнение:

- Выбросы предприятий, где добывают, получают и перерабатывают хром.

Хром в почве - это химический элемент, который в природных условиях находится в трёх- и шестивалентных формах.

Содержание хрома в почвах зависит от климатических условий, направленности почвообразовательного процесса и минералогического состава почвообразующих пород. Оно колеблется от 4,1 до 57,6 мг/кг.

Избыток хрома в почвах вызывает различные заболевания у растений. Присутствие хрома (до 50–70 мг/кг сухой почвы) обуславливает его передвижение по пищевой цепочке: почва-растение-животное-человек. Это приводит к увеличению поступления хрома в организм человека с пищевыми продуктами.

Предельно допустимая концентрация хрома значительно отличается в зависимости от его валентности. Трехвалентный хром чаще выступает в качестве катиона - он хорошо впитывается почвой, из-за чего имеет более низкую токсичность в сравнении с шестивалентным.

В случае с трехвалентным хромом его ПДК в почве составляет 100 мг/кг, в то время как у шестивалентного значение составляет всего 0,05 мг/кг.

Как и у алюминия, на поверхности хрома образуется оксидная пленка Cr_2O_3 . Поэтому хром в разбавленных серной и соляной кислотах начинает растворяться постепенно по мере растворения оксидной пленки.

В азотной и концентрированной серной кислотах хром не растворяется, так как его оксидная пленка упрочняется, то есть хром переходит в пассивное состояние. По этой же причине не взаимодействуют с хромом разбавленные серная и соляная кислоты, содержащие растворенный кислород. Пассивация хрома устраняется очисткой поверхности металла [34].

При высокой температуре хром горит в кислороде, образуя оксид Cr_2O_3 . Раскаленный хром взаимодействует также с парами воды с образованием Cr_2O_3 .

Металлический хром при нагревании реагирует с галогенами, галогеноводородами, серой, азотом, фосфором, углеродом, кремнием и бором.

Хром образует три оксида: оксид хрома (II), или закись, CrO , имеющий основной характер, оксид хрома (III), или окись, Cr_2O_3 , проявляющий амфотерные свойства, и оксид хрома (VI), или хромовый ангидрид, CrO_3 - кислотный оксид. Соответственно этим трем оксидам известны и три ряда соединений хрома.

Мировые запасы хрома оцениваются примерно в $1 \cdot 10^9$ т; ежегодное мировое производство металлического хрома составляет $2 \cdot 10^4$ т.

Самые большие месторождения хрома находятся в ЮАР (1-е место в мире), Казахстане, России, Зимбабве, Мадагаскаре. Также есть месторождения на территории Турции, Индии, Армении, Бразилии, на Филиппинах. Главные месторождения хромовых руд в РФ известны на Урале. Разведанные запасы в Казахстане составляют свыше 350 миллионов тонн (2-е место в мире) [56].

Металлургия, огнеупорные материалы и химическая промышленность - главные области использования хрома, их относительные доли в общем потреблении хрома составляют в последние десятилетия в среднем 60, 20 и 20% соответственно.

Металлургические марки хромита используются в производстве ферросплавов. Наиболее важные из них - высоко- и низкоуглеродистый феррохромы и кремнийсодержащий феррохром.

Присутствие хрома в железном литье дает устойчивость к коррозии и окислению, а также повышает ударную прочность при повышенных температурах.

Феррохромовые сплавы широко применяются в производстве нержавеющей и жаропрочной стали, которая используется в агрессивных средах, нефтехимических производствах, турбинах и металлургических печах, в производстве режущих инструментов, в реактивных двигателях, станках и т.д.

Хромиты широко применяют для выделки огнеупорных кирпичей, огнеупорного цемента, смесей для набивки подов печей и их ремонта. Огнеупоры, содержащие хромит, используют в черной и цветной металлургии, а также в нагревательных камерах в стекольной промышленности и в регенерационных агрегатах для защиты от химического воздействия отработанных щелоков.

Кроме этого соединения хрома используются в качестве:

- для хромирования, анодирования и травления;

- дубильных веществ в кожевенной промышленности;
- окислителей и катализаторов при производстве многих продуктов, например, сахарина, при отбелке и очистке масел, жиров и химикатов;
- пигментов, красок и закрепителей в текстильной промышленности;
- средств для повышения влагоустойчивости клеев, чернил и т.д.

Содержание в природных средах. Массовая доля хрома в земной коре составляет 0,01- 0,03%. Он является типичным литофильным элементом и почти весь заключен в минералах типа хромшпинелидов. Хром вместе с железом, титаном, никелем, ванадием и марганцем составляют одно геохимическое семейство.

Встречаются три основных минерала хрома:

- алюмохромит.
- магнохромит,
- хромпикотит

По внешнему виду они неразличимы, и их неточно называют «хромиты».

Собственно, хромит (хромистый железняк) FeCr_2O_4 сравнительно редок.

Помимо различных хромитов хром входит в состав ряда других минералов - хромовой слюды (фуксита), хромового хлорита, хромвезувиана, хромдиопсида, хромтурмалина, хромового граната (уваровита) и др., которые нередко сопровождают руды, но сами промышленного значения не имеют.

В экзогенных условиях хром, как и железо, мигрирует в виде взвесей и может накапливаться в глинах.

Концентрация растворенного хрома в незагрязненных озерах и реках обычно изменяется в пределах 1-2 мкг/л, а в океане - 0,05-0,5 мкг/л. Более высокие значения (до 50 мкг/л) отмечаются в реках, протекающих через индустриальные районы.

Содержание хрома в атмосферных осадках различных регионов мира изменяется в среднем в пределах 0,1-5,5 мкг/л, в поверхностных водах - 0,2-40 мкг/л, в грунтовых водах - 0,5-10 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 2-280 мг/кг 0, 50 и др.

При этом предельно допустимая концентрация элемента в пресных водах рыбохозяйственного назначения составляет: для трехвалентного хрома - 70 мкг/дм³, для шестивалентного хрома - 20 мкг/дм³.

Среднее содержание хрома в почвах составляет 0,02%. Уровни содержания хрома в почвах в значительной мере определяются его содержанием в материнских породах. Именно поэтому наиболее высокие концентрации элемента обнаружены в почвах, сформированных на основных и вулканических породах [20].

Поведение хрома в почвах обусловлено многими факторами, важнейшими из которых являются кислотно-основной и окислительно-восстановительный режимы почв. Большая часть хрома в почвах находится в виде Cr^{3+} , который входит в состав минералов или образует различные Cr^{3+} - и Fe^{3+} -оксиды.

Вследствие инертности Cr^{3+} в кислой среде его соединения в почвах достаточно стабильны. Cr^{6+} , напротив, крайне нестабилен и легкоподвижен как в кислых, так и в щелочных почвах.

Значения pH определяют и интенсивность адсорбции хрома глинистыми минералами: с увеличением pH адсорбция Cr^{6+} уменьшается, а Cr^{3+} - увеличивается.

На поведение хрома в почвах большое влияние оказывает органическое вещество.

Переход растворимого шестивалентного хрома (наиболее доступного для растений) в нерастворимый трехвалентный хром в нормальных почвенных условиях представляет большой интерес с точки зрения изучения миграционных процессов данного элемента и транслокации его в растения. Однако в то же время в почвах могут наблюдаться и процессы окисления Cr^{3+} под действием соединений марганца.

Содержание хрома в живом веществе составляет $7 \cdot 10^{-5}\%$. Хром относят к числу необходимых для жизнедеятельности человека и животных элементов.

В организме человека содержится около 6 мг хрома, распределенного между многими тканями [27].

В настоящее время имеются данные, указывающие на участие хрома в метаболизме глюкозы и холестерина. Как показывают опыты на животных, недостаток хрома приводит к диабету, атеросклерозу, нарушениям роста. Cr^{6+} обладает гораздо большей токсичностью для живых организмов, чем Cr^{3+} .

4.2.10. Кобальт

Элемент – Co

Co - это кобальт, химический элемент VIII группы периодической системы Менделеева.

Характеристики кобальта:

- атомный номер 27;
- атомная масса 58,9332;
- тяжёлый металл серебристого цвета с розоватым отливом;
- в природе представлен одним устойчивым изотопом ^{59}Co ;
- из полученных искусственно радиоактивных изотопов важнейший - ^{60}Co .

Применение кобальта:

- в основном используется для получения кобальтовых сплавов (магнитные, жаропрочные, сверхтвёрдые, коррозионностойкие и др.);
- радиоактивный изотоп ^{60}Co применяют как источник γ -излучения в медицине и технике;
- важен для жизни растений и животных, входит в состав витамина B_{12} .
- Естественное загрязнение:

Известно более 100 кобальтсодержащих минералов.

Техногенное загрязнение:

Сжигание в процессе промышленного производства природных и топливных материалов.

Содержание кобальта в почве может колебаться в пределах 1–15 мг/кг в зависимости от типа почвы. Значение зависит от того, какое количество элемента находится в материнских породах.

Наиболее богаты на кобальт почвы, находящиеся на горных породах. Также много его в базальтах, суглинках и глинах. Меньше вещества в известняках, а совсем мало - в дерново-подзолистых и болотистых почвах.

Концентрация кобальта также зависит от типа климатической зоны. Так, в аридных и семиаридных регионах его больше всего.

Кобальт необходим для здорового функционирования некоторых растений. Он является важным питательным веществом для микроорганизмов, которые фиксируют атмосферный азот в корневых клубеньках растений.

В высоких концентрациях кобальт может оказывать негативное воздействие. Оно выражается в отмирании определённых участков - в первую очередь это касается краев и кончиков листьев. Чувствительнее всего к уровню этого вещества хлебные злаки [38].

Предельно допустимая концентрация (ПДК) кобальта в почве делится на три категории, которые учитывают вид воздействия на почву: 25, 1000 и 5 мг/кг соответственно.

Кобальт образует два оксида: оксид кобальта (II), или закись, CoO и оксид кобальта (III), или окись, Co_2O_3 , которым соответствуют гидрооксиды. Этим соединениям отвечают два ряда солей, но соли кобальта (III) нестойки и легко переходят в соли кобальта (II). Известен также смешанный оксид Co_3O_4 .

Для кобальта (III) характерна способность к комплексообразованию. Комплексные соединения кобальта (II) хотя и известны, но очень неустойчивы. В комплексных солях кобальт может входить как в состав катиона, так и в состав аниона.

Мировые запасы кобальта, составляют приблизительно 7,5 млн т. Ведущее место по запасам кобальта занимает Африка, далее следуют Америка, Азия, Австралия и Океания, Европа.

Кобальт используют главным образом в сплавах, которые применяются в качестве жаропрочных и жаростойких материалов, для изготовления постоянных магнитов и режущих инструментов.

Жаропрочный и жаростойкий сплав виталлиум содержит 65% кобальта, 28% хрома, 3% вольфрама и 4% молибдена. Этот сплав сохраняет высокую прочность и не поддается коррозии при температурах до 800-850 °С.

Твердые сплавы стеллиты, содержащие 40-60% кобальта, 20-35% хрома, 5-20% вольфрама и 1-2% углерода, применяются для изготовления режущего инструмента. Кобальт входит также в состав керамико-металлических твердых сплавов - керметов.

Соединения кобальта используют при производстве синей краски [29].

Содержание в природных средах. Массовая доля кобальта в земной коре составляет 0,002-0,01%. В природе он встречается главным образом в составе минералов:

- каролит
- кобальтин

- линнеит
- линнеит,
- скуттерудит
- смальтин
- сферокобальтит

В настоящее время известно около 30 кобальтосодержащих минералов. Кобальту, как правило, сопутствуют железо, никель, хром, марганец и медь.

Концентрация растворенного кобальта в незагрязненных океанических и морских водах составляет 0,05-0,1 мкг/л, в грунтовых водах - 4-60 мкг/л.

Содержание кобальта в атмосферных осадках различных регионов мира изменяется в среднем в пределах 0,1-5,0 мкг/л, в поверхностных водах - 0,1-6,0 мкг/л, в грунтовых водах - 4-60 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 1-27 мг/кг 0, 46, 48, 50 и др. При этом предельно допустимая концентрация элемента в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 5 мкг/дм³, для пресных вод - 10 мкг/дм³.

Среднее содержание кобальта в почвах составляет около $8 \cdot 10^{-4}$ %. Уровни содержания кобальта в почвах тесно связаны с его содержанием в почвообразующих породах.

Почвы, образованные на основных породах и на глинистых отложениях, наследуют от них повышенные концентрации кобальта; для почв, образованных на кислых породах, так же, как и для самих пород, характерны более низкие уровни содержания данного элемента.

Направление и интенсивность процессов миграции кобальта в почвах обусловлены его тесной геохимической связью с железом и марганцем. В природных условиях кобальт встречается в двух состояниях окисления: Co^{2+} и Co^{3+} , кроме того, возможно образование также аниона $\text{Co}(\text{OH})^{3-}$.

В окислительной кислой среде кобальт относительно подвижен, но из-за активные сорбции оксидами железа и марганца, а также глинистыми минералами элемент мало мигрирует в растворенной фазе.

Вследствие высокой избирательной способности оксидов железа к адсорбции кобальта характеры распределения кобальта и железа по почвенному профилю близки [43].

Однако в ряде почв, богатых минералами марганца, ведущую роль в распределении кобальта играют оксиды марганца. При этом сорбция кобальта оксидами марганца резко увеличивается с ростом pH.

Большую роль в поведении кобальта в почвах играют органическое вещество и содержание глинистых частиц, так как в значительной мере определяют подвижность кобальта: глины обладают высокой сорбционной способностью по отношению к кобальту, особенно монтмориллонитовые и иллитовые; органическое вещество образует с кобальтом соединения разной степени растворимости, а, следовательно, и подвижности.

Содержание кобальта в живом веществе составляет $4 \cdot 10^{-5}\%$. Кобальт известен как необходимый компонент витамина B₁₂, хелатированный в комплексный корриновый макроцикл четырьмя связанными пиррольными кольцами.

Суточная потребность человека в витамине B₁₂ составляет всего 3 мкг, а его недостаток приводит к анемии и остановке роста.

В настоящее время доказана необходимость кобальта для синезеленых водорослей и микроорганизмов в фиксации ими молекулярного азота. Имеются сведения о заметном влиянии кобальта на способность бобовых растений и ольхи фиксировать молекулярный азот из воздуха.

Избыток кобальта в организме человека проявляет кардиотоксичность, а также уменьшает способность щитовидной железы аккумулировать йод.

4.2.11. Молибден

Элемент – Мо

Молибден (Mo) - химический элемент VI группы короткой формы (6-й группы длинной формы) периодической системы. Атомный номер - 42, атомная масса - 95,94.

Молибден - блестящий светло-серый тугоплавкий металл. 2 Обладает высокой теплопроводностью и сопротивлением к коррозии, а также очень высокой температурной стойкостью.

Главное применение находит в металлургии, является легирующей добавкой множества марок легированных сталей. 4 Молибденовые сплавы также применяются в производстве электродов для электронных приборов и светоотражающих плёнок в солнечных батареях.

Был открыт в 1778 году шведским химиком Карлом Шееле. 4

Естественное загрязнение:

Входит в состав многих минералов.

Техногенное загрязнение:

- Выбросы ТЭС.
- Metallургический процесс переработки и обогащения руд,
- Производство цемента,
- Фосфорные удобрения,

Валовое содержание молибдена в почвах России изменяется от 1,5 до 12 мг на 1 кг и в среднем составляет 2,6 мг на 1 кг.

Наибольшее количество молибдена обнаружено в солонцах, много его в чернозёмах. Мало молибдена в дерново-подзолистых почвах, особенно лёгкого гранулометрического состава.

Однако при внесении больших доз навоза содержание молибдена в почве будет резко возрастать.

На усваиваемость молибдена влияет кислотность почвы. На почвах с $pH < 5,5$ молибден образует плохо растворимые соединения с алюминием, железом, марганцем, в щелочных - хорошо растворимый молибдат натрия.

Молибден может являться массивным загрязнителем почвы, особенно в местах его техногенных выбросов.

Предельно допустимая концентрация вещества в почве устанавливается на уровне 0,07 мг/л.

Общие мировые запасы молибдена составляют 11,05 млн т. Самые крупные запасы металла имеются в Китае - 4,3 млн т, в США - 2,7 млн т и Чили - 2,3 млн т. Месторождения молибдена также имеются в Перу, России и некоторых других странах.

В настоящее время в мире приблизительно 20% молибдена используются для производства нержавеющей стали, а доля конструкционной, инструментальной и других специальных сталей в потреблении молибдена вместе составляет около 57%.

Оставшиеся 23% используются в модернизированных смазочных материалах, химических соединениях молибдена и как чистый металл. Весьма перспективны жаропрочные (для реактивных двигателей) и кислотоупорные (аппараты химической промышленности) сплавы; так, сплав Fe-Ni-Mo стоек ко всем кислотам (кроме HF) до 100 °C.

Важный конструкционный материал в производстве нитей для электрических ламп и катодов для электровакуумных приборов. Оксиды MoO_2 , MoO_3 - катализаторы нефтехимических и других процессов. Чистый монокристаллический молибден используется для производства зеркал для мощных газодинамических лазеров. MoS_2 применяют в качестве твердой высокотемпературной смазки.

Массовая доля молибдена в земной коре составляет около $1 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ %. В свободном виде молибден в природе не встречается. Известно около 20 минералов молибдена.

Важнейшие из них:

- вульфенит
- молибденит
- молибдит
- повелит

В породах молибден находится в следующих формах:

- молибдатной и сульфидной в виде микроскопических и субмикроскопических выделений,
- изоморфной и рассеянной (в породообразующих минералах).

Молибден обладает большим сродством с серой, чем с кислородом, и в рудных телах образуется сульфид четырехвалентного молибдена - молибденит.

Наиболее благоприятны для кристаллизации молибденита восстановительная среда и повышенная кислотность. В поверхностных условиях образуются преимущественно кислородные соединения Mo^{6+} .

В первичных рудах молибденит встречается в ассоциации с вольфрамитом и висмутином, с минералами меди (медно-порфировые руды), а также с галенитом, сфалеритом и урановой смолкой (в низкотемпературных гидротермальных месторождениях).

В земной коре молибден распространён относительно равномерно. Меньше всего содержат молибдена ультраосновные и карбонатные породы (0,4-0,5 г/т).

При этом количество молибдена в породах повышается по мере увеличения SiO_2 . Хотя молибденит является достаточно устойчивым сульфидом по отношению к кислым и щелочным растворителям, в природных условиях при длительном воздействии воды и кислорода воз-

духа он способен окисляться, вследствие чего молибден может интенсивно мигрировать с образованием вторичных минералов. Этим можно объяснить повышенные концентрации молибдена в осадочных отложениях - углистых и кремнисто-углистых сланцах и углях.

Кларковое содержание молибдена в океанической и морской воде составляет в среднем $1,2 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ %, в речных водах - $0,1 \cdot 10^{-7}$ - $1,1 \cdot 10^{-6}$ %.

Молибден в поверхностных водах находится преимущественно в форме MoO_4^{2-} . При этом весьма вероятно существование его в виде органоминеральных комплексов.

Возможность некоторого накопления в коллоидном состоянии обусловлена тем фактом, что продукты окисления молибденита представляют рыхлые тонкодисперсные вещества.

Соединения молибдена попадают в поверхностные воды в результате выщелачивания их из экзогенных минералов, содержащих молибден.

При загрязнении элемент попадает в водоемы в основном со сточными водами обогатительных фабрик, предприятий цветной металлургии. Предельно допустимая концентрация элемента в пресных водах водных объектов рыбохозяйственного назначения составляет 1 мкг/дм³.

Среднее содержание молибдена в почвах составляет $2 \cdot 10^{-4}$ %. В незагрязненных почвах почвообразующие породы являются основным источником поступления молибдена. Как правило, в почвах тяжелого гранулометрического состава молибдена больше, чем в песчаных и супесчаных.

Тенденция накопления молибдена в илистой фракции различных типов почв выражена нечетко, хотя коэффициенты его накопления в илистой фракции верхних горизонтов дерново-подзолистых почв могут достигать 5-6. С органическим веществом почв связано от 1,5% элемента в красноземах до 3- 4% - в черноземах.

Ландшафтно-геохимическое распределение молибдена обусловлено участием элемента в различных почвообразовательных процессах [3].

Молибден относится к водным мигрантам, подвижным и слабо подвижным в окислительной обстановке и инертным в восстановительной, осаждающимся на сероводородном и глеевом барьерах. Кроме того, молибден накапливается и на сорбционных барьерах.

Часто такого рода барьером служат положительно заряженные коллоиды - гидроксиды железа, алюминия и др.

Роль этих барьеров особенно велика для ландшафтов с влажным климатом и слабой минерализацией вод.

В аридных ландшафтах при наличии испарительного геохимического барьера (засоленные почвы) молибден может концентрироваться в соленосном горизонте, хотя для почв аридных районов с щелочной реакцией среды характерно увеличение подвижности элемента и его выщелачивание.

Для почв различных природно-климатических зон и сопряженных ландшафтов свойственно накопление молибдена в аккумулятивных и супераккумулятивных ландшафтах.

Содержание молибдена в живом веществе составляет $2 \cdot 10^{-5}\%$. Он принадлежит к числу необходимых для жизнедеятельности человека и животных элементов.

Молибден входит в состав многих ферментов, таких как альдегидоксидаза, ксантиноксидаза, сульфитоксидаза и др.), выполняющих важные физиологические функции. Молибден повышает эффективность действия антиоксидантов, в том числе витамина С.

Является важным компонентом системы тканевого дыхания. Недостаток молибдена в организме сопровождается уменьшением содержания в тканях ксантиноксидазы - фермента, обеспечивающего переработку азотистых соединений в нашем организме.

При недостатке Мо нарушаются анаболические процессы, наблюдается ослабление иммунной системы.

Молибден входит в состав активного центра нитрогеназы - фермента, необходимого для связывания атмосферного азота (характерного для бактерий и архей).

В организм человека молибден попадает главным образом через пищеварительную систему. При поступлении в кровь Мо перемещается в печень, где используется для синтеза ферментов.

Выводится молибден преимущественно почками. Таким образом, в человеческом организме максимальные концентрации молибдена характерны для печени, где он используется на нужды организма, и для почек, через которые выводится его избыток.

4.2.12. Никель

Элемент – Ni

Никель (Ni) - химический элемент 10-й группы (по устаревшей классификации - побочной подгруппы восьмой группы, VIIIВ), четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 28.

Простое вещество никель - это пластичный, ковкий, переходный металл серебристо-белого цвета.

При обычных температурах на воздухе покрывается тонкой плёнкой оксида. Химически малоактивен.

Элемент получил своё название от имени духа гор (ср. нем. Nickel - озорник) немецкой мифологии, который «подбрасывал» искателям меди минерал красного цвета, похожий на медную руду (ныне известный как никелин).

Никель открыт в 1751 году А. Кронстедтом.

Большую часть производимого никеля используют как компонент легированных сталей и для получения сплавов, обладающих высокой механической прочностью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью, жаростойкостью, магнитными и другими особыми физическими свойствами.

Естественное загрязнение:

Входит в состав 53 минералов.

Техногенное загрязнение:

- Выбросы предприятий горнорудной промышленности, цветной металлургии,
- Машиностроительные, металлообрабатывающие, химические предприятия,
- Транспорт,
- ТЭС.

Никель в почве может попадать из различных источников, включая естественные процессы выветривания минералов, вулканическую активность, а также промышленные выбросы и отходы.

Среднее содержание никеля в почве составляет $4 \times 10^{-3}\%$ и колеблется в зависимости от вида почвы:

- в чернозёмах - $4,6 \times 10^{-3}\%$; 2
- в каштановых - $5,9 \times 10^{-3}\%$; 2
- в красноземе субтропиков - $6,5 \times 10^{-3}\%$.

Ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) никеля в почвах варьируется в зависимости от типа почвы:

- в песчаных и супесчаных - 20 мг/кг; 3
- в кислых ($\text{pH}_{\text{КС1}} < 5,5$) суглинистых и глинистых - 40 мг/кг;
- близких к нейтральным ($\text{pH}_{\text{КС1}} > 5,5$) суглинистых и глинистых - 80 мг/кг.

Превышение концентрации никеля в почве может оказывать токсическое воздействие на растения, микроорганизмы и другие элементы экосистемы. Это может привести к ухудшению почвенной фертильности, уменьшению урожайности и нарушению экологического равновесия.

По характеру химического взаимодействия с донорными атомами никель классифицируется как промежуточный элемент между акцепторами жестких и мягких кислот.

С этим связано образование никелем в земной коре разнообразных соединений: оксидов, карбонатов, силикатов с железом и магнием, а также сульфидов, арсенидов и теллуридов.

Наиболее распространены степени окисления никеля $+2$ и $+3$.

Соединения никеля сходны с соединениями кобальта. Подобно кобальту, никель образует оксид никеля (II), или закись, NiO и оксид никеля (III), или окись, Ni_2O_3 и соответствующие им основания. Однако известен только один ряд солей никеля, в которых он находится в степени окисления $+2$. Никель (II) образует много комплексных солей.

Мировые запасы никеля на месторождениях оцениваются примерно в $7,5 \cdot 10^7$ т, ежегодное мировое производство никеля составляет $1,9 \cdot 10^4$ т.

Такие физические свойства никеля, как коррозионная стойкость, высокая твердость и износоустойчивость в широком интервале температур, хорошая тепло- и электропроводность, обеспечили широкое применение данного металла.

Никель в виде высокодисперсного порошка может растворить водорода в 17 раз больше своего объема, что позволяет использовать его при гидрогенизации.

Более 75% никеля используется для производства сплавов. Известно более 3000 различных сплавов, среди них нержавеющая сталь и сплавы стали, ковкое и литейное железо, купроникель и сплавы на основе никеля.

Наиболее широко никель применяется для производства нержавеющей стали, при нанесении гальванического покрытия и получения различных сплавов на основе этого металла.

Чистый никель применяют в гальванопластике для производства бамперов и отделочных деталей автомобилей, бытовых приборов и водопроводных арматур.

Никель идет также на производство никелево-кадмиевых батарей для различных источников питания, цинково-никелевых кислотных аккумуляторов, оборудования для получения солнечной энергии. Кроме того, его используют как катализатор при производстве пищевых жиров [44].

Никель является одним из распространенных элементов Земли, составляя около 2% ее веса, однако его массовая доля в земной коре составляет всего 0,006-0,018%. В земной коре встречается только в связанном виде.

Подобно кобальту, никель присутствует в природе главным образом в соединении с мышьяком или серой. Его содержание в ультраосновных породах примерно в 200 раз выше, чем в кислых. В ультраосновных породах преобладающее количество никеля связано с оливинами, содержащими 0,13-0,41 % Ni.

Никель проявляет сидерофильные и халькофильные свойства. Он способен изоморфно замещать железо и магний. Небольшая часть данного элемента присутствует в виде сульфидов. При повышенном содержании в магме серы возникают сульфиды никеля вместе с медью, кобальтом, железом и платиноидами.

В гидротермальном процессе совместно с кобальтом, мышьяком и серой и иногда с висмутом, ураном и серебром никель образует повышенные концентрации в виде арсенидов и сульфидов никеля. Никель обычно содержится в сульфидных и мышьяксодержащих медно-никелевых рудах.

Он встречается в составе следующих минералов:

- гарниерит
- магнитный колчедан
- мышьяково-никелевый блеск (герсдорфит)
- никелин
- пентландит
- хлоантит

Содержание растворенного никеля в незагрязненных водах суши колеблется в пределах 1-3 мкг/л, в морских водах - около 1,8 мкг/л.

Под влиянием промышленного загрязнения концентрация никеля может повышаться до 10-50 мкг/л.

Содержание никеля в атмосферных осадках различных регионов мира изменяется в среднем в пределах 0,11-33 мкг/л, в поверхностных водах - 0,3-46 мкг/л, в грунтовых водах - 2-89 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 1-140 мг/кг 0, 46, 50 и др.

При этом предельно допустимая концентрация элемента в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет 10 мкг/дм³ как для морских, так и для пресных вод.

Среднее содержание никеля в почвах составляет $4 \cdot 10^{-3}\%$. Уровни содержания никеля в почвах определяются его содержанием в почвообразующих породах и генезисом почв.

Наибольшее содержание никеля характерно для почв, образованных на ультраосновных породах. С увеличением кислотности пород содержание никеля в самих породах и в почвах, образованных на данных породах, уменьшается.

Для осадочных пород характерна следующая закономерность в содержании никеля - наиболее высокие значения отмечены в глинистых отложениях, наиболее низкие - в песчаниках. В целом распределение никеля в земной коре имеет большое сходство с распределением кобальта и железа.

Характер распределения никеля в почвенном профиле определяется множеством факторов, важнейшими из которых являются содержание органического вещества, глинистых минералов, оксидов железа и марганца, а также кислотность.

Содержание никеля в живом веществе составляет $8 \cdot 10^{-5}\%$. В биологических системах никель встречается почти всегда в виде Ni (II).

В организме человека содержится около 10 мг никеля, а уровень в плазме крови заключен в довольно узких пределах, что свидетельствует о гомеостазе и, возможно, о необходимости никеля.

Низкие уровни никеля являются стимулирующими для животных. Он служит как кофактор для растительного фермента уреазы. Совместно с другими металлами активирует некоторые ферменты в организме животных, но пока необходимость никеля для человека достоверно не доказана.

Хроническая интоксикация никелем приводит к разрушению сердечной и других тканей. Причины никелевой токсичности связаны, вероятно, с блокировкой ферментов и взаимодействием данного элемента с нуклеиновыми кислотами.

4.2.13. Медь

Элемент – Cu

Cu - символ меди, химического элемента 11-й группы четвёртого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 29.

Некоторые характеристики меди:

- Атомная масса: 63,546 а. е. м.
- Плотность: 8,92 г/см³ (при 20 °С).
- Температура плавления: 1084,62 °С.
- Температура кипения: 2567 °С.

В виде простого вещества медь - это пластичный переходный металл золотисто-розового цвета (розового цвета при отсутствии оксидной плёнки).

Естественное загрязнение:

Общие мировые запасы меди в рудах оценивают 465 млн.т.

Входит в состав минералов

Вулканические и осадочные породы.

Техногенное загрязнение:

- Гальванизация,
- Пестициды,
- Предприятия цветной металлургии,
- Процессы сварки,
- Сжигание углеводородных топлив.
- Транспорт,

- Удобрения

Уровень меди в почвах в среднем составляет 20 мг/кг.

При недостаточной концентрации подвижной меди в почве страдают зерновые культуры и травы - это приводит к снижению урожайности и ухудшению качества, что в свою очередь отражается на животных и человеке при употреблении готовой продукции.

Медь относится к малотоксичным веществам, поэтому при небольших концентрациях неспособна нанести вред организму.

Более того, человек нуждается в определенном количестве металла - так, в организме взрослого находится до 100 мг вещества.

Из солей меди (II) наибольшее практическое значение имеет $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - медный купорос. Среди соединений меди (I) в природе наиболее распространены Cu_2O и CuS , однако в водных растворах они малоустойчивы.

Мировые запасы меди составляют около $6,8 \cdot 10^8$ т, ежегодное мировое производство превышает $7 \cdot 10^6$ т.

Она широко применяется в электротехнической, строительной и автомобильной промышленности, при производстве оборудования для водопроводных сетей.

Основная масса производимой чистой меди (с содержанием металла 99,98 - 99,999%) используется в электротехнической промышленности для изготовления проводов. В больших количествах идет на производство сплавов:

- медно-цинкового сплава (латуни);
- сплава меди с оловом, меди с алюминием, меди с бериллием (бронзы, алюминиевой бронзы, бериллиевой бронзы);
- медно-никелевых сплавов (мельхиора, константина);
- сплава меди с никелем и цинком (нейзильбера);
- сплава меди с никелем и марганцем (манганина).

Содержание в природных средах. Массовая доля меди в земной коре относительно невелика и составляет около 0,005-0,05%, однако она чаще, чем другие металлы, встречается в самородном состоянии, при этом самородки меди достигают значительной величины.

В настоящее время известно около 170 медьсодержащих минералов. Медные руды в зависимости от входящих в их состав соединений подразделяются на оксидные (куприт Cu_2O) и сульфидные (халькопирит или медный колчедан CuFeS_2 , халькозин или медный блеск.

Существуют также и гидрокарбонатные медные руды. Наибольшее значение имеют сульфидные руды, поскольку из них выплавляется 80% всей добываемой меди.

Наиболее высоким содержанием меди отличаются основные изверженные породы, менее богаты кислые массивно-кристаллические породы, мало меди в известняках, доломитах, валунных суглинках и песках.

Две трети мировых запасов меди связаны с магнитными гидротермальными месторождениями, которые располагаются в районах Тихоокеанского кольца и горных поясах Юго-Восточной Европы и Центральной Азии. Крупные месторождения меди известны также в Австралии и России.

Содержание растворимых форм меди в незагрязненных пресных водах обычно колеблется от 0,5 до 1,0 мкг/л, возрастая в городских районах. Значительно более высокие содержания (500-2000 мкг/л) характерны для горнорудных районов.

Для морских акваторий отмечается постепенное убывание содержания элемента от прибрежных районов в сторону открытого моря.

Количество меди в атмосферных осадках различных регионов мира изменяется в среднем в пределах 0,1-3,6 мкг/л, в поверхностных водах - 0,1-150 мкг/л, в грунтовых водах - 0,1-24 мкг/л, в донных отложениях пресноводных водоемов - 0,4-270 мг/кг 0, 50 и др.

При этом предельно допустимая концентрация элемента в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет: для морских вод - 5 мкг/дм³, для пресных вод - 1 мкг/дм³.

В почвах содержание меди в несколько раз меньше, чем в земной коре, и составляет $2 \cdot 10^{-3}\%$. Для данного элемента характерны большие колебания содержания в почвах [45].

Распределение меди по почвенному профилю в значительной степени определяется типом почвы.

К факторам, увеличивающим содержание элемента в почве, относятся: высокое содержание минералов тяжелой фракции и глинистых минералов, тяжелый механический состав, богатство коллоидами, наличие органического вещества. Как правило, основной запас меди сосредоточен в илистой фракции почв, на ее долю приходится до 60-80% общего количества элемента в почве.

Накопление меди почвой определяется следующими процессами:

- адсорбцией;
- окклюзией и соосаждением;
- образованием органических хелатов и комплексообразованием;
- микробиологической фиксацией.

В почвах с высоким содержанием минеральной части определяющее значение имеет сорбция меди на поверхности почвенных минералов.

Способность минералов адсорбировать ионы Cu из раствора обусловлена величиной поверхностного заряда адсорбента, который, в свою очередь, контролируется кислотностью, следовательно, адсорбция ионных форм Cu является функцией pH .

Наибольшие количества адсорбированной меди связаны с оксидами Fe и Mn (гематитом, гетитом и др.), аморфными гидроксидами Fe и Al и глинистыми минералами (монтмориллонитом, вермикулитом и др.).

Неспецифическая адсорбция включает окклюзию, соосаждение и замещение в кристаллической решетке.

Некоторые почвенные минералы, такие как гидрооксиды Fe и Al , карбонаты, фосфаты, в некоторой степени силикаты, способны связывать Cu в неподвижные соединения (хемосорбция), которые представляют собой наиболее устойчивую форму элемента в почве.

Основными реакциями, управляющими поведением Cu в большинстве почв, являются хелато- и комплексообразование. Множество органических соединений образуют различные по растворимости комплексы с Cu , поэтому способность почв связывать медь в значительной степени зависит от характера и количества органического вещества.

Микробиологическая фиксация играет важную роль в связывании меди в некоторых типах почв. При этом количество элемента, связанное в биомассе микроорганизмов, варьирует в широких пределах и обусловлено такими факторами, как концентрация меди, свойства почвы, климатические условия.

Медь - один из наименее подвижных тяжелых металлов. В кислой среде он более подвижен, суммарная растворимость катионных и анионных форм Cu понижается при pH около 7.

По имеющимся оценкам, при $pH < 7$ наиболее существенные формы меди - это продукты гидролиза $CuOH^+$ и $Cu_2(OH)_2^{2+}$, тогда как при $pH > 8$ становятся важными анионные оксикомплексы Cu . Растворимость меди в виде комплекса не зависит от pH , и это соединение, вероятно, является главной неорганической растворенной формой Cu в нейтральных и щелочных почвенных растворах.

Доля комплексов с нитратом, хлоридом и сульфатом в почвенных растворах незначительна. Однако наиболее важная форма меди в почвенных растворах - это ее растворимые органические хелаты, преобладающие в широком диапазоне pH .

Содержание меди в животных и растительных тканях составляет в среднем $n \cdot 10^{-4}$ - $n \cdot 10^{-3}\%$. К настоящему времени в биологических системах обнаружен ряд медьсодержащих протеинов, в частности связанный с кислородом гемоцианин, цитохромная оксидаза, тиросиназа и лакказа [23].

Церулоплазмин (белок сыворотки крови) содержит свыше 95% всей меди, находящихся в организме млекопитающих. Количество церулоплазмينا находится в зависимости от различных патологических изменений и отражает нарушения метаболизма меди.

Медь, как и железо, участвует в природной селекции аэробных клеток и в эволюции металлопротеинов и металлоферментов. Последнее выражается в развитии $Cu-Zn$ -ферментов (сверхкислая дисмутаза), ферментов гем, $Fe-Cu$ -ферментов и богатых кислородом белков.

Во всех названных протеинах медь связывается с лигандами азота, кислорода и (или) серы. Вместе с тем доминирующая роль меди в биологических системах определяется ее способностью стабилизировать серные радикалы.

Многочисленными исследованиями растительных организмов доказано положительное влияние меди на интенсивность фотосинтеза, дыхание, перераспределение углеводов, восстановление и фиксацию азота, проницаемость сосудов ксилемы для воды. Cu контролирует образование ДНК и РНК, оказывает влияние на механизмы, определяющие устойчивость к заболеваниям.

Потребность микроорганизмов в меди не всегда пропорциональна их росту и развитию. В ряде случаев Cu , не влияя на рост и размножение микробных клеток, воздействуют на качественный состав

микробного органического вещества и физиологические функции микроорганизмов.

Хронический избыток меди в организме человека ведет к остановке роста, гемолизу и низкому содержанию гемоглобина, а также к нарушению тканей в печени, почках, мозге.

Большая часть тяжелых металлов, поступивших на поверхность почвы, закрепляется в верхних гумусовых горизонтах.

Тяжелые металлы сорбируются на поверхности почвенных частиц, связываются с органическим веществом почвы, в частности в виде элементарно-органических соединений, аккумулируются в гидроксидах железа, входят в состав кристаллических решеток глинистых минералов, дают собственные минералы в результате изоморфного замещения, находятся в растворимом состоянии в почвенной влаге и газообразном состоянии в почвенном воздухе, являются составной частью почвенной биоты [6].

4.2.14. Ванадий-V

Химические свойства. Ванадий - элемент 5-й группы 4-го периода периодической системы элементов (по устаревшей классификации - побочной подгруппы V группы) с атомной массой 50,942. Его атомы имеют электронную конфигурацию внешней оболочки $3d^3 4s^2$. Пластичный металл серебристо-серого цвета (температура плавления 1920°C) с плотностью $6,11 \text{ г/см}^3$.

По внешнему виду похож на сталь. Химически ванадий довольно инертен. Он стоек к действию морской воды, разбавленных растворов соляной, азотной и серной кислот, щелочей. Соединения ванадия в степенях окисления $+2$ и $+3$ - сильные восстановители, в степени окисления $+5$ проявляют свойства окислителей.

С кислородом ванадий образует несколько оксидов: VO , V_2O_3 , VO_2 , V_2O_5 . Оранжевый V_2O_5 - кислотный оксид, синий VO_2 - амфотерный, остальные оксиды ванадия - основные.

При нагревании на воздухе выше 300°C ванадий поглощает кислород и становится хрупким.

При $600-700^{\circ}\text{C}$ он интенсивно окисляется с образованием оксида V_2O_5 , а также и низших окислов. При нагревании ванадия выше 700°C в токе азота образуется нитрид VN (температура кипения 2050°C), устойчивый в воде и кислотах.

С углеродом ванадий взаимодействует при высокой температуре, давая тугоплавкий карбид VC (температура плавления 2800 °C), обладающий высокой твердостью.

Примеси кислорода, водорода и азота резко снижают пластичность ванадия и повышают его твердость и хрупкость.

Известны тугоплавкий карбид ванадия VC (температура плавления 2800 °C), нитрид ванадия VN, сульфид ванадия V₂S₅, силицид ванадия V₃Si и другие соединения ванадия.

Использование. Мировые запасы ванадия на месторождениях оцениваются примерно в 14·10⁶т. Известны месторождения в Перу, США, ЮАР, Финляндии, Австралии, Армении, России.

Основной источник получения ванадия - железные руды, содержащие ванадий как примесь. Черная металлургия - основной потребитель элемента (до 95% всего производимого металла).

Ванадий входит в состав быстрорежущей стали, ее заменителей, малолегированных инструментальных и некоторых конструкционных сталей. При введении 0,15-0,25% ванадия резко повышаются прочность, вязкость, сопротивление усталости и износоустойчивость стали. Применяют ванадий и для легирования чугуна.

Чистый металлический ванадий используют в атомной энергетике (оболочки для тепловыделяющих элементов, трубы) и в производстве электронных приборов. Его соединения применяют в химической промышленности как катализаторы, в сельском хозяйстве и медицине, в текстильной, лакокрасочной, резиновой, керамической, стекольной, фото- и кинопромышленности.

Ванадий широко используется при производстве титановых сплавов; некоторые титановые сплавы содержат до 13% ванадия. В авиационной промышленности, ракетостроении и других областях техники широкое применение находят сплавы на основе ниобия, хрома и тантала, содержащие присадки ванадия.

В настоящее время активно разрабатываются различные по составу жаропрочные и коррозионностойкие сплавы на основе ванадия с добавлением Ti, W, Zr и Al, а также сверхпроводящие сплавы и соединения ванадия с Ga, Si и Ti.

Содержание в природных средах. Массовая доля ванадия в земной коре составляет $0,9 \cdot 10^{-2}$ - $1,6 \cdot 10^{-2}\%$. Это довольно распространенный, но рассеянный в породах и минералах элемент. В свободном виде в природе не встречается.

Наиболее высокие средние содержания ванадия в магматических породах отмечаются в габбро и базальтах. В осадочных породах значительное накопление данного элемента отмечается в биолитах (асфальтитах, углях, битуминозных фосфатах), битуминозных сланцах, бокситах, а также в оолитовых и кремнистых железных рудах. Важнейшими минералами ванадия являются патронит $V(S_2)_2$, ванадинит $Pb_5(VO_4)_3Cl$ и некоторые другие. Его носителями являются многочисленные минералы титана (титаномагнетит, сфен, рутил, ильменит), слюды, пироксены и гранаты, обладающие повышенной изоморфной ёмкостью по отношению к ванадию.

Содержание ванадия в незагрязненных водах составляет $3 \cdot 10^{-8}$ - $2,5 \cdot 10^{-7}\%$. В воде образует устойчивые анионные комплексы. В миграции ванадия существенна роль растворенных комплексных соединений его с органическими веществами.

Основными источниками антропогенного поступления ванадия в природные воды являются сточные воды предприятий черной и цветной металлургии, добычи и переработки нефти. Предельно допустимая концентрация элемента в пресных водах водных объектов рыбохозяйственного назначения составляет 1 мкг/дм³.

Среднее содержание ванадия в почвах составляет $8,8 \cdot 10^{-3}\%$. Уровни содержания ванадия в почвах определяются его содержанием в почвообразующих породах: почвы, образованные на покровных суглинках, более богаты ванадием по сравнению с почвами, образовавшимися на морене, а почвы, развившиеся на песках, наиболее бедны этим элементом.

Самые высокие концентрации ванадия (150 - 460 мг/кг) характерны для почв, развитых на основных породах. Распределение ванадия по профилю почв тесно связано с содержанием органического вещества, которое способствует накоплению данного элемента. Кроме того, прослеживается связь ванадия с оксидами железа и титана.

Комплексы ванадия в основном анионные, но в кислой среде они электронейтральные и катионные. Различие в заряде обуславливает высокую вариацию химических свойств металла. В кислых почвах

более устойчив катион ванадила VO^{2+} , который прочно закрепляется гумусом. При этом больше ванадия входит в состав устойчивых гумусовых кислот, чем фульвокислот.

В нейтральной среде ситуация становится более опасной, так как в этих условиях доминирует анион метаванадата VO_3^- , обладающий большей подвижностью и, как следствие, более высокой токсичностью для живых организмов. При подщелачивании почв опасность ванадия возрастает.

Торфянистые почвы отличаются самым низким содержанием ванадия. Суглинистые и ферралитные почвы содержат повышенное количество ванадия, при этом его концентрация в почвах превосходит содержание в материнской породе. Верхние горизонты подзолистых почв несколько обеднены ванадием в результате выщелачивания высокой интенсивности.

Содержание ванадия в живом веществе составляет в среднем $6 \cdot 10^{-5}\%$.

Соединения ванадия токсичны для живых организмов, при этом наибольшей токсичностью обладают соединения пентавалентного ванадия. Оксид ванадия (V) чрезвычайно ядовит при попадании внутрь организма через пищеварительную систему; при вдыхании в значительной степени поражается дыхательная система.

В настоящее время установлено, что ванадий способен тормозить синтез жирных кислот, подавлять образование холестерина, ингибировать ряд ферментных систем, тормозить процессы фосфорилирования и синтеза АТФ и т.д.

При остром воздействии токсических доз ванадия возникают системные аллергические реакции, а также лейкопения и анемия, которые сопровождаются нарушениями основных биохимических параметров организма.

Высокое содержание элемента выявлено у некоторых морских беспозвоночных (голотурий и асцидий), у которых ванадий входит в состав белковых комплексов плазмы и форменных элементах крови и целомической жидкости. Функция элемента в организмах голотурий и асцидий до конца не ясна; разные ученые считают его отвечающим либо за перенос кислорода в организме этих животных, либо за перенос питательных веществ.

В целом роль ванадия в функционировании различных систем живых организмов в настоящее время изучена недостаточно, однако известно, что он активно участвует в окислительных и восстановительных процессах на уровне клеток, необходим для дыхания и кроветворения, формирования костной ткани и роста зубов, для осуществления репродуктивных функций и др. [46].

Попадая в организм человека, ванадий депонируется в основном в костях, а также в мышечной и жировой тканях; в небольших количествах присутствует в щитовидной железе и сердечной мышце, в легких, в селезенке и почках.

4.2.15. Вольфрам

Химические свойства. Вольфрам - элемент 6-й группы 6-го периода периодической системы элементов (по устаревшей классификации - побочной подгруппы VI группы) с атомной массой 183,85. Его атомы имеют электронную конфигурацию внешней оболочки $4f145d46s2$.

Вольфрам обладает близкими физико-механическими и химическими свойствами к молибдену. Блестящий серебристо-серый металл (похож на платину), имеющий самые высокие доказанные температуры плавления и кипения (температура плавления 3422°C) с плотностью $19,25\text{ г/см}^3$.

Более высокую температуру плавления имеет только неметаллический элемент - углерод. В обычных условиях вольфрам химически стоек. При повышенных температурах реагирует с кислородом, углеродом и другими элементами. С фтором реагирует при 20°C , с другими галогенами - при нагревании.

Кислоты, за исключением плавиковой и азотной, на вольфрам не действуют. В соединениях проявляет валентность от 2 до 6. Наиболее устойчивы соединения 6-валентного Вольфрама.

Из соединений вольфрама наибольшее значение имеют: триоксид вольфрама или вольфрамовый ангидрид, вольфраматы, перекисные соединения с общей формулой Me_2WOX , а также соединения с галогенами, серой и углеродом.

Использование. Мировые запасы вольфрама на месторождениях оцениваются в $3,2 \cdot 10^6$ т. Наиболее крупными запасами обладают Ка-

захстан, Китай, Канада и США. Известны также месторождения в Боливии, Португалии, России и Южной Корее, Армении и других странах.

Основное применение вольфрама - в качестве основы тугоплавких материалов в металлургии. Применяют вольфрам для легирования сталей (высоколегированная сталь, относящаяся к классу «быстрорежущая», с маркировкой, начинающейся на букву Р, практически всегда содержит вольфрам), для изготовления твердых сплавов нитей накаливания электроламп, нагревателей в электрических печах, электродов для сварки, катодов генераторных ламп, выпрямителей высокого напряжения и др.

Благодаря высокой плотности вольфрам является основой тяжёлых сплавов, которые используются для противовесов, бронебойных сердечников подкалиберных и стреловидных оперенных снарядов артиллерийских орудий, сердечников бронебойных пуль и сверхскоростных роторов гироскопов для стабилизации полёта баллистических ракет.

Высокая плотность вольфрама делает его удобным для защиты от ионизирующего излучения. Сульфид вольфрама WS_2 применяется как высокотемпературная (до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) смазка. Некоторые соединения вольфрама применяются как катализаторы и пигменты.

Содержание в природных средах. Кларк вольфрама в земной коре составляет 0,0013%. Вольфрам мало распространен в природе. Встречается в природе главным образом в виде окисленных сложных соединений, образованных трехокисью вольфрама WO_3 с оксидами железа и марганца или кальция, а иногда свинца, меди, тория и редкоземельных элементов.

Образует собственные минералы - вольфрамит и шеелит, а также содержится как примесь в минералах олова, молибдена, титана. Среднее содержание вольфрама в горных породах составляет, г/т: ультраосновных - 0,1, основных - 0,7, средних - 1,2, кислых - 1,9.

Кларковое содержание вольфрама в природных водах составляет $1 \cdot 10^{-8}\%$. Содержится в сточных водах металлургических, металлообрабатывающих, машиностроительных, электротехнических, текстильных, лакокрасочных производств.

Среднее содержание вольфрама в почвах составляет $1,3 \cdot 10^{-4}\%$. По геохимическому поведению вольфрам очень близок к молибдену, а

в биохимических процессах, как правило, наблюдается замещение молибдена вольфрамом.

Данных о распределении вольфрама в почвах немного.

Содержание вольфрама в живом веществе составляет в среднем $1 \cdot 10^{-6}\%$.

В настоящее время необходимость вольфрама для живых организмов не доказана. Имеются отдельные сведения о том, что данный элемент входит в состав активных центров ферментов ряда бактерий.

Существуют облигатно-зависимые от вольфрама формы архебактерий-гипертермофилов, обитающие вокруг глубоководных гидротермальных источников.

В целом соединения вольфрама не являются высокотоксичными. Степень негативного действия вольфрама на здоровье человека в значительной мере обусловлена формой его соединений. Так, металлический вольфрам, карбид вольфрама и особенно ангидрит вольфрамовой кислоты (WO_3) вызывают изменения в легких.

При этом наблюдаются общие признаки отравления - недомогание, лихорадка, слабость. Гораздо более сильное поражение верхних дыхательных путей наблюдается при вдыхании пыли твердых сплавов вольфрама: развитие бронхитов, пневмосклероза, возникновение изменений в крови [36].

При поступлении внутрь организма с водой или пищей металлический вольфрам в кишечнике не всасывается и постепенно выводится из организма. Растворимые же соединения вольфрама могут откладываться в кишечнике, в костях, в меньшей степени в селезенке и кожных покровах, следы вольфрама обнаруживаются в почках.

4.2.16. Марганец

Химические свойства. Марганец - элемент 7-й группы 4-го периода периодической системы элементов (по устаревшей классификации - побочной подгруппы VII группы) с атомной массой 54,938. Его атомы имеют электронную конфигурацию внешней оболочки $4d^5 4s^2$.

Металл серебристо-белого цвета (температура плавления составляет 1244°C) с плотностью $7,44 \text{ г/см}^3$. Наряду с железом и его сплавами относится к чёрным металлам.

В соединениях валентность марганца обычно изменяется от 2 до 7 (+2, +3, +4, +6, +7). В зависимости от степени окисления, которую

проявляет марганец, его соединения могут быть как восстановителями, так и окислителями. При этом некоторые соединения элемента проявляют амфотерные свойства.

Основные свойства характерны для соединений, в которых марганец имеет степень окисления +2, амфотерные - +4. С увеличением степени окисления возрастают окислительные и кислотные свойства соединений марганца.

Высшая степень окисления позволяет соединениям выступать в роли сильнейших окислителей.

В свободном виде на воздухе марганец очень слабо реагирует с водой, растворяется в разбавленных кислотах. Однако по мере увеличения температуры активность металла резко возрастает. Так, он способен взаимодействовать с азотом, углеродом, галогенами, кремнием, фосфором, серой и другими неметаллами. При нагревании без доступа воздуха металл легко переходит в парообразное состояние.

Мировые запасы на месторождениях марганцевой руды оцениваются в $6,3 \cdot 10^8$ т. Более 90% из них приходится на месторождения, связанные с осадочными горными породами, остальные запасы приурочены к коре выветривания и гидротермальным источникам. 95% запасов принадлежит 11 странам ЮАР, Украине, Габону, Казахстану, Австралии, Грузии, Бразилии, России, Китаю, Индии и Болгарии. Данные Геологической службы США показывают, что самыми большими запасами марганца обладает ЮАР (150 млн т), а второе место занимает Украина - 140 млн т. Запасы марганцевой руды в Южной Африке - это, по большей части, высокие марганцевые сорта (более чем 44% Mn), а в руде Украины сорта, как правило, ниже (меньше чем 30% Mn).

Основной потребитель марганца - черная металлургия, расходующая в среднем около 8-9 кг данного элемента на 1 т выплавляемой стали.

Марганец входит во все виды чугуна и стали. Существует несколько видов сплавов, которые, благодаря марганцу, имеют уникальные свойства. Так, например, сталь Гадфильда настолько прочная и износостойкая, что ее используют для выплавки деталей экскаваторов, камнеперерабатывающих машин, дробилок, шаровых мельниц, броневых деталей.

Марганец элемент входит в состав бронзы, латуни, образует собственный сплав с медью, который служит для изготовления турбин самолетов, лопастей и прочих деталей. Сплав 83 % Cu, 13 % Mn и 4 % Ni (манганин) обладает высоким электросопротивлением, мало изменяющимся с изменением температуры. Поэтому его применяют для изготовления реостатов и пр.

Диоксид марганца - обязательный окислительный элемент гальваники, его используют при создании деполяризаторов. Марганец используется в производстве стекла и в керамической промышленности; в красильной и полиграфической промышленности; в сельском хозяйстве и т.д.

Многие соединения марганца нужны для осуществления органических синтезов различных веществ. Соединения марганца также широко используются как в тонком органическом синтезе (MnO_2 и $KMnO_4$ в качестве окислителей), так и промышленном органическом синтезе (компоненты катализаторов окисления углеводов).

Перманганат калия (или марганцовка) применяется в медицине в качестве сильного обеззараживающего средства.

Содержание в природных средах. Кларк марганца в литосфере составляет около 0,1%.

Известны следующие минералы марганца:

- пиролюзит, самый распространённый минерал (содержит 63,2 % марганца);
- манганит (бурая марганцевая руда) (62,5 % марганца);
- браунит (69,5 % марганца);
- гаусманит
- родохрозит (марганцевый шпат, малиновый шпат) (47,8 % марганца);
- псиломелан (45-60 % марганца);
- пурпурит (36,65 % марганца).

Содержание марганца увеличивается от кислых (600 г/т) к основным породам (2,2 кг/т).

Сопутствует железу во многих его рудах, однако встречаются и самостоятельные месторождения марганца.

Марганец, рассеянный в горных породах, вымывается водой и уносится в Мировой океан.

При этом его содержание в морской воде невелико (10^{-7} - $10^{-6}\%$), а в глубоких местах океана его концентрация возрастает до $0,3\%$ вследствие окисления растворённым в воде кислородом с образованием нерастворимого в воде оксида марганца, который в гидратированной форме и опускается в нижние слои океана, формируя так называемые железомарганцевые конкреции на дне, в которых количество марганца может достигать 45% (также в них имеются примеси меди, никеля, кобальта).

Такие конкреции могут стать в будущем источником марганца для промышленности [32].

Кларковое содержание марганца в морских и океанических водах составляет $2 \cdot 10^{-8}$ - $5,5 \cdot 10^{-7}\%$, в речных водах - $2,8 \cdot 10^{-6}$ - $7,7 \cdot 10^{-4}\%$.

В поверхностные воды марганец поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов, содержащих марганец. Значительные количества элемента поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно синезеленых, диатомовых водорослей и высших водных растений.

Соединения марганца выносятся в водоемы со сточными водами марганцевых обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами.

Предельно допустимая концентрация двухвалентного марганца (Mn^{2+}) в водных объектах рыбохозяйственного назначения составляет 10 мкг/дм³ для пресных вод и 50 мкг/дм³ для морских вод.

Основные формы миграции соединений марганца в поверхностных водах: взвеси, состав которых определяется, в свою очередь, составом пород, дренируемых водами; коллоидные гидроксиды металлов и сорбированные соединения марганца.

Большое значение в миграции данного элемента в растворенной и коллоидной формах имеют органические вещества и процессы комплексообразования марганца с неорганическими и органическими лигандами. $Mn(II)$ образует растворимые комплексы с бикарбонатами и сульфатами.

Комплексы марганца с ионом хлора встречаются редко.

Комплексные соединения $Mn(II)$ с органическими веществами (аминами, органическими кислотами, аминокислотами и гумусовыми веществами) обычно менее прочны, чем аналогичные соединения с

другими переходными металлами. Mn(III) в повышенных концентрациях может находиться в растворенном состоянии только в присутствии сильных комплексообразователей, Mn(VII) в природных водах не встречается.

К факторам, определяющим изменения концентраций марганца в природных водах, можно отнести соотношение между поверхностным и подземным стоком, интенсивность потребления его при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности, а также процессы осаждения его на дно водных объектов. В связи с этим концентрация марганца в поверхностных водах подвержена сезонным колебаниям.

Среднее содержание марганца в почвах составляет $8,5 \cdot 10^{-2}\%$, он относится к широко распространенным в литосфере и почвах элементам.

Марганец присутствует в почвах в виде оксидов и гидроксидов, осажденных как на почвенных частицах, так и в виде конкреций различного диаметра и отдельных примазок.

Наиболее высокие содержания марганца отмечаются в почвах, развитых на основных породах, в почвах, богатых железом и/или органическим веществом, а также в почвах аридных и семиаридных районов [39].

Марганец может накапливаться в различных почвенных горизонтах, особенно в обогащенных оксидами и гидроксидами железа, однако обычно данный элемент аккумулируется в верхнем слое почв вследствие его фиксации органическим веществом.

Колебания содержания марганца в почвах в глобальном масштабе происходят в пределах 10-9000 мг/кг. Значение соединений марганца для состояния почв весьма велико, поскольку он не только жизненно необходим для живых организмов, но и контролирует поведение ряда других питательных микроэлементов.

Кроме того, марганец оказывает существенное влияние на некоторые свойства почв, в частности на равновесие системы Eh - pH. Соединения Mn способны быстро окисляться и восстанавливаться в изменчивых условиях почвенной среды.

Окислительные условия могут заметно снижать доступность марганца и связанных с ним питательных веществ, тогда как восстановительные условия способствуют увеличению их доступности для растений, иногда даже до токсичных значений.

В хорошо дренируемых почвах растворимость марганца всегда возрастает с увеличением кислотности почв. Однако способность Mn образовывать анионные комплексы и комплексы с органическими лигандами может приводить к увеличению его растворимости и в щелочных интервалах pH.

Содержание марганца в живом веществе составляет в среднем $9,6 \cdot 10^{-3}\%$. Он принадлежит к числу жизненно необходимых для живых организмов элементов.

В физиологических процессах участвует двухвалентный и трехвалентный марганец, Mn(II) и Mn(III). Физиологическая роль марганца огромна. Он участвует в регулировании всасывания многих полезных веществ, в частности витаминов B1, B4, C, E. Входит в состав многих ферментных систем, обеспечивает метаболизм углеводов, белков и липидов.

В ходе утилизации белков под действием марганца происходит их расщепление с образованием конечных азотистых продуктов, мочевины и креатинина.

Марганец способствует расщеплению липидов, препятствуя тем самым отложению жировых масс в подкожном слое; снижению образования низкоплотного холестерина и его отложению на стенках сосудов в виде атеросклеротических бляшек; предотвращению жировой инфильтрации печени (жировому гепатозу).

Кроме того, Mn осуществляет депонирование гликогена в печени и в скелетных мышцах. Оказывает инсулиноподобное действие, способствуя транспорту глюкозы внутрь клетки и ее последующему расщеплению с образованием АТФ.

Именно поэтому он сосредоточен главным образом в митохондриях. Марганец обуславливает распространение нервных импульсов, формирование хрящей и укрепление костей. Вместе с медью он участвует в кроветворении, стимулирует свертывание крови. Марганец увеличивает выработку гормонов щитовидной железой.

Избыточное накопление марганца в организме сказывается, в первую очередь, на функционировании центральной нервной системы,

а также сердечно-сосудистой и гепатобилиарной систем. Высокие концентрации элемента способны вызвать аллергический и мутагенный эффекты.

При пероральном поступлении марганец относится к наименее ядовитым микроэлементам. Отравление людей наблюдается в основном в случаях хронической ингаляции больших количеств марганца на производстве. Оно проявляется в виде тяжёлых нарушений психики. Чтобы развилась клиническая картина хронического отравления марганцем, обычно требуется несколько лет.

Степень подвижности тяжелых металлов зависит от геохимической обстановки и уровня техногенного воздействия. Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к связыванию тяжелых металлов почвой.

Рост значений рН усиливает сорбированность катионообразующих металлов (медь, цинк, никель, ртуть, свинец и др.) и увеличивает подвижность анионообразующих (молибден, хром, ванадий и пр.).

Усиление окислительных условий увеличивает миграционную способность металлов. В итоге по способности связывать большинство тяжелых металлов, почвы образуют следующий ряд:

серозем > чернозем > дерново-подзолистая почва

Загрязнение почв тяжелыми металлами имеет сразу две отрицательные стороны.

1. Поступая по пищевым цепям из почвы в растения, а оттуда в организм животных и человека, тяжелые металлы вызывают у них серьезные заболевания. Росту заболеваемости населения и сокращению продолжительности жизни, а также к снижению количества и качества урожаев сельскохозяйственных растений и животноводческой продукции.

2. Накапливаясь в почве в больших количествах, тяжелые металлы способны изменять многие ее свойства. Изменения затрагивают биологические свойства почвы:

- изменяется структура микробоценозов,
- падает интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов.
- снижается общая численность микроорганизмов,
- сужается их видовой состав (разнообразие),

Сильное загрязнение тяжелыми металлами приводит к изменению и более консервативных признаков почвы, таких как гумусное состояние, структура, pH среды и др.

Результатом этого является частичная, а в ряде случаев и полная утрата почвенного плодородия.

В природе встречаются территории с недостаточным или избыточным содержанием в почвах тяжелых металлов.

Аномальное содержание тяжелых металлов в почвах обусловлено двумя группами причин:

- 1.. Биогеохимическими особенностями экосистем
2. Влиянием техногенных потоков вещества.

Районы, где концентрация химических элементов выше или ниже оптимального для живых организмов уровня, называются природными геохимическими аномалиями или биогеохимическими провинциями.

Здесь аномальное содержание элементов обусловлено естественными причинами:

- Особенности почвообразовательного процесса
- Особенности почвообразующих пород,
- Присутствием рудных аномалий.

***Техногенные геохимические аномалии** - это участки территорий, в пределах которых статистические параметры распределения химических элементов и их соединений достоверно отличаются от вариаций геохимического фона (фоновое содержание).*

Техногенные геохимические аномалии делятся на:

- Полезные. Улучшают природную среду.
- Вредные. Ухудшают условия существования биоты.
- Нейтральные. Не оказывают определённого влияния на экологические свойства окружающей среды.

По размерам выделяют:

- Глобальные,
- Региональные,
- Локальные.

Почва, в отличие от других компонентов природной среды, не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество.

Природный буфер - это свойство гетерогенной системы противостоять изменению её состава, то есть поддерживать химическое постоянство при воздействии потоков различных веществ природного или антропогенного характера.

Некоторые примеры природных буферов:

Природные воды. В них при потреблении какого-либо элемента из раствора происходит частичное растворение твёрдых фаз, и состав раствора восстанавливается. Если в воду извне попадает излишнее количество каких-либо соединений, то твёрдые фазы минералов связывают эти вещества, вновь поддерживая постоянство состава.

Океан. Он действует как гигантский буфер, сглаживающий последствия глобального потепления за счёт поглощения углекислого газа. Благодаря механизмам карбонатной системы океан поглощает до 60% выделяемого человеком углекислого газа.

Гуминовые вещества. Они выступают в качестве природного буфера, который позволяет защитить живые организмы от резкого выброса или смены условий обитания.

Различные растения, животные и человек требуют для жизнедеятельности определенного состава почвы, воды. В местах геохимических аномалий происходит, передача отклонений от нормы минерального состава по всей пищевой цепи.

В результате нарушения минерального питания наблюдаются изменения видового состава фито-, зоо- и микробоценозов, заболевание дикорастущих форм растений, снижение количества и качества урожаев сельскохозяйственных растений и животноводческой продукции, рост заболеваемости населения и снижение продолжительности жизни.

Механизм токсического действия тяжелых металлов на биологические системы в первую очередь обусловлено тем, что они легко связываются с сульфгидрильными группами белков, подавляя их синтез и, тем самым, нарушая обмен веществ в организме.

Живые организмы выработали разнообразные механизмы устойчивости к тяжелым металлам: от восстановления ионов ТМ в менее токсичные соединения до активации систем ионного транспорта, осуществляющих эффективное и специфическое удаление токсических ионов из клетки во внешнюю среду.

Наиболее существенное последствие воздействия тяжелых металлов на живые организмы, проявляющееся на биогеоценотическом и биосферном уровнях организации живого вещества, заключается в блокировании процессов окисления органического вещества. Это приводит к снижению скорости его минерализации и накоплению в экосистемах.

В то же время увеличение концентрации органического вещества вызывает связывание им тяжелых металлов, что временно снимает нагрузку с экосистемы [13].

Снижение скорости разложения органического вещества за счет снижения численности организмов, их биомассы и интенсивности жизнедеятельности считают пассивной реакцией экосистем на загрязнение тяжелыми металлами.

Активное противостояние организмов антропогенным нагрузкам проявляется лишь в ходе прижизненной аккумуляции металлов в телах и скелетах. Ответственными за этот процесс являются наиболее устойчивые виды.

Физиологические нарушения в растениях при избытке и недостатке содержания в них тяжелых металлов:

Медь (Cu)

при недостатке:

- Белые скрученные макушки,
- Вилт,
- Меланизм,
- Нарушение одревеснения,
- Ослабление образования метелок,
- Суховершинность деревьев
- Хлороз,

при избытке:

- Темно-зеленые листья, как при Fe - индуцированном хлорозе;
- Толстые, короткие или похожие на колючую проволоку корни,
- Угнетение образования побегов

Цинк (Zn)

при недостатке:

- Междужилковый хлороз (в основном у однодольных),
- Остановка роста,

- Розетчатость листьев деревьев,
- Фиолетово-красные точки на листьях

при избытке:

- Задержка роста растения в целом,
- Междужилковый хлороз молодых листьев,
- Поврежденные корни,
- Похожие на колючую проволоку
- Хлороз и некроз концов листьев,

Кадмий (Cd)

при избытке:

- Бурые края листьев,
- Бурые недоразвитые корни
- Красноватые жилки и черешки,
- Скрученные листья
- Хлороз,

Ртуть (Hg)

при избытке:

Некоторое торможение ростков и корней, хлороз листьев и бурые точки на них

Свинец (Pb)

при избытке:

- Бурые короткие корни
- Скручивание старых листьев,
- Снижение интенсивности фотосинтеза,
- Темно-зеленые листья,
- Чахлая листва,

Устойчивость живых организмов, прежде всего растений, к повышенным концентрациям тяжелых металлов и их способность накапливать высокие концентрации металлов могут представлять большую опасность для здоровья людей, поскольку допускают проникновение загрязняющих веществ в пищевые цепи.

В зависимости от геохимических условий производства пища человека как растительного, так и животного происхождения может удовлетворять потребности человека в минеральных элементах, быть дефицитной или содержать превышающее их количество, становясь более токсичной, вызывая заболевания и даже смерть.

Разные тяжелые металлы представляют опасность для здоровья человека в различной степени. Наиболее опасными являются Hg, Cd, Pb.

Очень сложен вопрос нормирования содержания тяжелых металлов в почве.

В основе его решения должно лежать признание полифункциональности почвы.

***Полифункциональность почвы** заключается в том, что она является одновременно природным телом, средой обитания живых организмов, средством сельскохозяйственного производства.*

В процессе нормирования почва может рассматриваться с различных позиций:

- как естественное природное тело, как среда обитания и субстрат для растений, животных и микроорганизмов,
- как объект и средство сельскохозяйственного и промышленного производства,
- как природный резервуар, содержащий патогенные микроорганизмы.

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве необходимо проводить на основе почвенно-экологических принципов, которые отрицают возможность нахождения единых значений для всех почв.

Почвенно-экологические принципы заключаются в разделении территории на регионы, однотипные по структуре почвенного покрова, сочетанию факторов почвообразования и возможностям хозяйственного использования почв.

В основу почвенно-экологического районирования положен биоклиматический принцип, соответствующий современному функционированию почвенного покрова и наиболее полно отвечающий запросам сельскохозяйственного производства.

Таксономическая система почвенно-экологического районирования многоступенчатая и включает следующие единицы:

***Географический пояс** - совокупность почвенных зон и горных почвенных провинций, объединённых сходством радиационных и термических условий.*

***Почвенно-биоклиматическая область** - совокупность почвенных зон и горных почвенных провинций, объединённых в пределах пояса*

не только сходством радиационных и термических условий, но и сходством условий увлажнения и континентальности климата.

Почвенная зона (подзона) - ареал зонального почвенного типа (подтипа) и сопутствующих ему внутризональных почв.

Горная почвенная провинция - горная страна или её часть в пределах почвенно-биоклиматической области, характеризующаяся однотипной структурой вертикальной поясности, обусловленной особенностями горного макроклимата и её общей орографией.

Санация почв - это очистка почв от вредных загрязняющих веществ и посторонних предметов на её поверхности.

Работы по рекультивации направлены в первую очередь на сохранение исходных свойств почвы, а санации - на их восстановление.

Разработка плана санации территории предусматривает:

1. Выбор оптимального с экологической и экономической точек зрения сценария (варианта) санации путём сравнения всех возможных сценариев.
2. Оценку применимости выбранного сценария на данном участке путём проведения дополнительных исследований и опытно-методических работ.
3. Оформление плана санации.

Существует два основных подхода санации территории при загрязнении тяжелыми металлами.

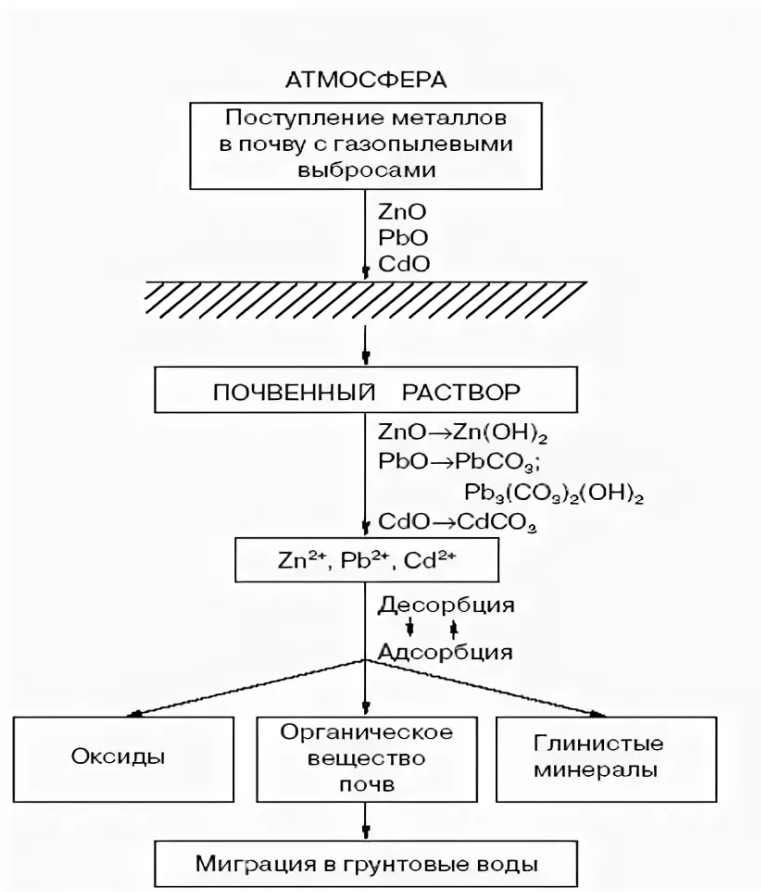
1. Направлен на очищение почвы от тяжелых металлов.

Очищение может производиться следующими путями:

- путем извлечения тяжелых металлов из почвы с помощью растений
- путем промывки почвы
- путем удаления верхнего загрязненного слоя почвы

2. Закрепление тяжелых металлов в почве, переводе их в нерастворимые в воде и недоступные живым организмам формы.

Закрепление тяжелых металлов в почве проводится путем внесения в почву органического вещества, фосфорных минеральных удобрений, ионообменных смол, природных цеолитов, бурого угля, известкование почвы и т.д.



Загрязнение почв тяжелыми металлами

Однако любой способ закрепления тяжелых металлов в почве имеет свой срок действия. Рано или поздно часть тяжелых металлов снова начнет поступать в почвенный раствор, а оттуда в живые организмы.

Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами зависят от:

- Геохимической обстановки
- Параметров загрязнения,
- Устойчивости почв.

К параметрам загрязнения относятся природа металла, т.е. его химические и токсические свойства, содержание металла в почве, форма химического соединения, срок от момента загрязнения и т.д.

Устойчивость почв к загрязнению зависит от:

- Активности биохимических процессов
- Активности микробиологических процессов
- Гранулометрического состава,

- Кислотно-щелочных
- Окислительно-восстановительных условий,
- Содержания органического вещества,

***Устойчивость** - это способность системы сохранять текущее состояние при наличии внешних воздействий*

Устойчивость живых организмов, прежде всего растений, к повышенным концентрациям тяжелых металлов и их способность накапливать высокие концентрации металлов могут представлять большую опасность для здоровья людей, поскольку допускают проникновение загрязняющих веществ в пищевые цепи.

Источники эмиссии тяжелых металлов и пути их проникновения в окружающую среду весьма разнообразны. Основными антропогенными источниками поступления металлов в биосферу являются предприятия по добыче и переработке черных и цветных металлов, тепловые электростанции и теплоцентрали, транспорт, машиностроительная и химическая промышленность, сельскохозяйственное производство, жилищно-коммунальные комплексы.

Только в результате работы металлургических предприятий на поверхность Земли ежегодно поступает (тыс. т): меди - не менее 154,7, цинка - 121,5, свинца 89, никеля - 12, кобальта - 0,765, молибдена - 1,5, ртути - 0,031; вследствие сжигания угля и нефти (тыс. т): свинца - 3,6, ртути - 1,6, меди - 2,1, цинка - 7, никеля 3,7. [35].

В настоящее время гальванические производства поставляют большое количество шламовых отходов, содержащих тяжелые металлы (гальваношламы, состоящие в основном из осадков нейтрализации гальваностоков), так как наиболее распространенными и доступными для предприятий являются реагентные методы обезвреживания сточных вод, отработанных электролитов, растворов.

Главный недостаток реагентных методов в том, что образуются аморфные и обводненные вещества, отличающиеся дисперсностью и сложностью состава, с содержанием целого комплекса соединений тяжелых металлов, среди которых приоритетными загрязнителями являются Cr, Zn, Ni, Cu, Mn, Co, Pb .

В осадках очистных сооружений гальванических производств большого города содержится Cr - 1,5%, Zn - 0,9%, Ni - 0,3%, Cu - 1,0% и т.д.

В пыли металлургических производств концентрация тяжелых металлов может быть повышена по сравнению с литосферой на несколько порядков (до 10^{12}).

Отходы предприятий цветной металлургии, заводов лакокрасочной промышленности и железобетонных конструкций обогащены ртутью. В пыли машиностроительных заводов повышена концентрация W, Cd и Pb.

Таким образом, в отходах различных отраслей промышленности формируются техногенные ассоциации химических элементов:

- цветная металлургия - Pb, Zn, Cu, Hg, Mn;
- черная металлургия - Ni, Mn, Pb, Zn, Cu;
- энергетика - B, Sb, As, Se;
- нефтяная отрасль - Ni, Mn, Pb, Zn, Cu.

Загрязнение окружающей среды металлами в результате работы предприятий энергетического комплекса связано с работой угольных и мазутных электростанций.

При этом состав отходов характеризуется более низкими коэффициентами концентрирования тяжелых металлов, чем отходы металлургических предприятий.

В результате антропогенной эмиссии металлов их концентрации в промышленно развитых районах превышают фоновые в десятки раз, а около мощных источников выбросов могут увеличиваться в сотни и тысячи раз - основная масса выбросов осаждается в непосредственной близости от источника загрязнения.

Теоретически техногенные аномалии представляют систему концентрических колец, в которых концентрация элемента убывает от центра к периферии.

В реальной природной обстановке форма и размеры зон загрязнения существенно отличаются от теоретических; как правило, наблюдается достаточно четкая корреляция формы и размеров зон загрязнения с конфигурацией розы ветров.

Вокруг крупных предприятий черной и цветной металлургии образуются техногенные аномалии металлов [53].

Для таких предприятий характерно наличие зоны максимальных концентраций тяжелых металлов на расстоянии до 5 км от источника и зоны повышенных содержаний на расстоянии до 20-50 км. Далее содержание металлов убывает до величин местного фона.

Вокруг промышленных предприятий меньшей мощности зона максимального загрязнения простирается на расстояние до 1-2 км.

Вокруг крупных тепловых электростанций располагаются зоны загрязнения 10-20 км в диаметре с максимальными значениями на расстоянии от источника 1-2 км.

Геохимическая аномалия - это участок со значительно повышенным (или пониженным) по сравнению с фоном содержанием химических элементов (их соединений).

Элементы при этом могут находиться в минеральной, биогенной, коллоидной, сорбированной или изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей.

К геохимическим аномалиям относятся и участки с резкими отклонениями от нормы соотношения двух и более элементов или изотопов одного и того же элемента.

По особенностям распределения элементов аномалии могут быть положительными или отрицательными.

Первые отличаются повышенными концентрациями элементов-индикаторов, а вторые - пониженными.

Локальные техногенные геохимические аномалии образуются также вокруг предприятий, которые перерабатывают сырье, содержащее металлы в качестве примесей (например, суперфосфатные заводы). К числу значительных источников поступления металлов в природную среду относятся и городские территории.

Таким образом, по мере промышленного развития человечества растут масштабы загрязнения биосферы тяжелыми металлами. При этом негативному воздействию в той или иной степени подвержены все ее компоненты.

В силу наличия тесной взаимосвязи и взаимозависимости между природными средами при оценке загрязнения необходимо учитывать интенсивность переноса и накопления загрязняющих веществ во всех средах - почвах, водах и воздухе.

Источник загрязнения - локальный, региональный или более обширный источник образования или поступления любого вида загрязнения по отношению к конкретной территории (месту) и находящимся на ней объектам живой и неживой природы.

Ведь часто атмосфера служит вторичным источником загрязнения почв и вод, которые, в свою очередь, могут стать источниками загрязнения атмосферы.

В этой связи следует подчеркнуть тот факт, что количество тяжелых металлов, переносимых в системе «почва - воздух», существенно превышает соответствующие значения для системы океан - воздух.

Антропогенный вклад в миграционные процессы наиболее заметен для Cd, Pb, Zn, Ni, Cu и Mn.

Контрольные вопросы

1. Какие территории Владимирской области наиболее загрязненные? Какие металлы вызывают эти загрязнения? Как вы думаете, с чем это связано?
2. Что такое загрязнение?
3. Как классифицируют загрязнение окружающей природной среды? Приведите примеры.
4. Назовите основные загрязняющие вещества и источники загрязнения ими окружающей среды.
5. Что означают понятия малоотходная и безотходная технология? Какое из понятий является некорректным?

Глава 5. МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Изучение закономерностей распределения химических элементов в природных средах

Изучение закономерностей распределения химических элементов в природных средах, а также контроль за содержанием их соединений невозможно без знания факторов, определяющих подвижность данных элементов.

Миграция тяжёлых металлов (ТМ) происходит в разных средах и зависит от различных факторов.

В почвенном профиле тяжёлые металлы аккумулируются преимущественно в гумусово-аккумулятивном почвенном горизонте, где они связываются с алюмосиликатами, несиликатными минералами и органическими веществами.

Подвижность элементов зависит от кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий в почвах. Например, в нейтральных почвах подвижны соединения Zn, V, As, Se, которые могут выщелачиваться при сезонном промачивании почв.

В природных водах тяжёлые металлы мигрируют в разных формах, например, в составе взвесей (до 98%) или в растворённом состоянии. В донных отложениях металлы содержатся в виде карбонатов, сульфидов и в связанном с органическими остатками состоянии. При подкислении среды, недостатке кислорода и при появлении растворённых комплексообразователей происходит переход металлов из осадков в воду [11].

В растениях тяжёлые металлы поглощаются из загрязнённых почв и аккумулируются в них. Затем они способны мигрировать из растений по пищевым цепочкам к животным и человеку.

Поведение металлов в экосистемах во многом зависит от специфичности миграционных форм и вклада каждой из них в общую концентрацию элементов.

Коэффициент концентрации (КК) - это соотношение содержания химического элемента в конкретном природном вещественном агрегате или системе (горной породе, месторождении и т.п.) к его кларку (среднему содержанию в земной коре).

Общая концентрация элементов может выражаться через кларки элементов - это числа, которые обозначают среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле в целом, космических телах и других геохимических или космохимических системах.

Различают:

- весовые кларки (в %, в г/т или в г/г)
- атомные кларки (в % от числа атомов).

Общая аналитическая концентрация элемента равна сумме концентраций всех равновесных форм, в которых присутствует элемент.

Для расчёта общей концентрации элементов можно использовать следующие методы:

- **Определение массовой доли элемента.** Рассчитывается как отношение атомной массы элемента, умноженной на число его атомов в молекуле, к молекулярной массе вещества.
- **Вычисление количества молей элемента.** Определяется как произведение количества молей вещества, умноженное на массовую долю.
- **Расчёт массы элемента.** Вычисляется как произведение количества молей элемента, умноженное на его атомную массу, или как произведение количества молей вещества на массовую долю элемента и его атомную массу.

Для понимания миграционных процессов и оценки токсичности тяжёлых металлов недостаточно определить только их валовое содержание.

Валовое содержание тяжёлых металлов - один из основных санитарно-гигиенических показателей, характеризующий общую загрязненность почвы.

Для оценки влияния тяжёлых металлов на микробные сообщества почвы и растения изучают их подвижные (мобильные) формы, которые могут легко переходить в почвенный раствор.

Подвижная форма тяжёлых металлов - это количество вещества, которое легко переходит из почвы в воду, а также в растения через корневую систему.

Именно с подвижными формами тяжёлых металлов связаны отрицательные экологические последствия.

Содержание в почве подвижных форм тяжёлых металлов представляет собой важнейший показатель, характеризующий санитарно-

гигиеническое состояние почвы и определяющий необходимость проведения мероприятий по ремедиации загрязнённой почвы.

Дифференцирование форм тяжелых металлов в зависимости от химического состава и физической структуры:

- Восстановленные,
- Метилированные,
- Окисленные,
- Хелатированные.

Наибольшую опасность представляют лабильные формы, которые характеризуются высокой биохимической активностью и интенсивно накапливаются в биологических средах.

Лабильные формы тяжёлых металлов - это формы, характеризующиеся высокой биохимической активностью и способностью аккумулироваться в природных средах.

В атмосферном воздухе тяжёлые металлы присутствуют в форме органических и неорганических соединений в виде пыли и аэрозолей, а также в газообразной форме (ртуть). Из атмосферы металлы вымываются с осадками, в которых присутствуют в растворимой (соли, комплексные ионы) и малорастворимой формах.

В водных средах тяжёлые металлы присутствуют в трёх формах: взвешенной, коллоидной и растворённой.

Растворимая форма представлена в виде свободных ионов и комплексных соединений с неорганическими (галогениды, сульфаты, фосфаты, карбонаты) и органическими лигандами (комплексы гуминовых и фульвокислот). Коллоидные формы образуются вследствие адсорбции растворённых веществ на коллоидных частицах глинистых минералов и гумусовых веществах [47].

В почвах лабильные формы тяжёлых металлов термодинамически неустойчивы и относительно быстро переходят в более стабильные формы. Основным процесс их первичной трансформации в почвах - переход в жидкую фазу за счёт растворения.

Наибольшую опасность представляют лабильные формы, так как они токсичны для живых организмов и человека.

Известно, что миграционная способность химических элементов обусловлена наличием различных типов геохимических барьеров, способствующих их осаждению и накоплению.

В атмосферном воздухе тяжелые металлы присутствуют в форме органических и неорганических соединений в виде пыли и аэрозолей, а также в газообразной форме (ртуть).

При этом аэрозоли Pb, Cd, Cu и Zn состоят преимущественно из частиц диаметром 0,5-1 мкм, а аэрозоли Ni и Co - из крупнодисперсных частиц - более 1 мкм, которые образуются в основном при сжигании дизельного топлива.

Ртуть в атмосферном воздухе существует в основном в элементной форме - 90-97%. При этом вклад антропогенных факторов в уровни содержания элемента в воздушной среде составляет в среднем 30-50%.

Источниками металлов в поверхностных пресных водах служат литосфера, атмосфера и почвенный покров. Разнообразие типов горных пород, почв и физико-географических условий в значительной мере формирует существующую природную изменчивость химического состава пресноводных экосистем.

Существенным фактором, влияющим на содержание и распределение металлов в гидросфере, является антропогенное загрязнение.

Антропогенное загрязнение - это вред, наносимый биосфере деятельностью человека.

Работа промышленных предприятий, добыча полезных ископаемых, неправильная утилизация отходов и другие спутники развития цивилизации нарушают хрупкий баланс экосистем.

Антропогенное загрязнение классифицируется по характеру проявления:

- биологическое (микробное, в том числе бактериальное);
- механическое загрязнение (замусоривание).
- физическое (электромагнитное, радиоактивное, световое, тепловое, шумовое);
- химическое (нефтяное, тяжёлыми металлами и т. п.);

Источниками антропогенного загрязнения являются:

- жилищно-коммунальное хозяйство.
- промышленные предприятия, в том числе предприятия электроэнергетики;
- разные виды транспорта;
- сельское хозяйство;

Уровень загрязнения контролируется различными нормативами, прежде всего, предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ.

Нормативы качества окружающей среды - это официально установленные допустимые, то есть разрешённые, значения химических, физических, биологических показателей, характеризующих объекты окружающей среды.

Нормативы устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду - это количественные ограничения химических, физических, биологических и иных воздействий на окружающую среду со стороны субъектов хозяйственной и иной деятельности, при соблюдении которых не нарушаются установленные для данной местности нормативы качества окружающей среды.

В водных средах тяжелые металлы присутствуют в трех формах:

- взвешенной,
- коллоидной
- растворенной,

Растворенная форма представлена свободными ионами и растворимыми комплексными соединениями с органическими, и неорганическими лигандами.

Лиганд - атом, ион или молекула, связанные с другим атомом (акцептором) с помощью донорно-акцепторного взаимодействия.

Неорганические лиганды - это атом, ион или молекула, связанные с другим атомом (акцептором) с помощью донорно-акцепторного взаимодействия.

Некоторые примеры неорганических лигандов:

- H_2O - аквакомплексы, ионы или молекулы, в которых лигандами являются молекулы воды;
- NH_3 - аммиакаты (амминкомплексы), комплексные соединения, в которых в качестве лигандов выступают нейтральные молекулы аммиака;
- OH^- - гидроксокомплексы, комплексные соединения, содержащие в качестве лигандов гидроксогруппы;
- CN^- - цианидные комплексы;

- СО - карбонильные комплексы, соединения, в которых лигандом является карбонил - монооксид углерода СО.

Также к неорганическим лигандам относят хлориды и бромиды, которые имеют слабую тенденцию к комплексообразованию.

Комплексообразование - это процесс образования комплексных соединений, которые представляют собой нейтральные молекулы или ионы, образующиеся в результате присоединения к комплексообразователю нейтральных молекул или других ионов (лигандов).

Комплексообразователь - это центральный ион (или атом), к которому присоединяются лиганды при комплексообразовании.

Обычно комплексообразователь - атом элемента, образующего металл, но это может быть и атом кислорода, азота, серы, иода и других элементов, образующих неметаллы.

Органические лиганды - это атомы или изолированные группы атомов, располагающиеся вокруг комплексообразователя в комплексных соединениях.

К наиболее распространённым органическим лигандам относятся молекулы органических соединений и их ионы.

К органическим лигандам относятся комплексоны - сложные органические молекулы, содержащие несколько функциональных групп с донорными атомами. Классический пример комплексона - ЭДТА (натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты).

Основными механизмами поступления металлов из атмосферы на поверхность почвы являются:

1. Осаждение с атмосферными осадками
2. Сухие выпадения.

В атмосферных осадках, как правило, преобладают водорастворимые формы тяжелых металлов, что, обусловлено наличием в атмосфере оксидов серы и азота, способствующих образованию растворимых солей данных металлов (главным образом сульфатов и нитратов).

Ртуть представлена в атмосферных осадках элементной формой, органическими соединениями и неорганическими производными. Наибольшее количество ртути в осадках содержится в виде металлоорганических соединений.

Валовое содержание металлов в естественных незагрязненных почвах обусловлено рядом факторов, основными из которых являются

направленность и интенсивность процессов почвообразования, а также их содержание в материнской породе.

Ведущую роль в формировании количественных уровней данных элементов играют генезис, петрохимия и фациальные различия материнского субстрата.

Содержание металлов в почве связано с:

- Биологическим круговоротом элементов,
- Механическим составом,
- Реакцией среды,
- С неоднородностью видового состава растительного покрова.
- С процессами миграции в почвенно-грунтовом слое
- Содержанием в почве органического вещества,

Направление и интенсивность миграционных процессов тяжелых металлов в почвах определяется целым рядом факторов, важнейшими из которых являются:

- окислительно-восстановительные свойства почв
- кислотно-основные свойства почв,
- содержание органического вещества,
- гранулометрический состав
- водно-тепловой режим
- геохимический фон региона.

Передвижение соединений металлов в почвах может происходить:

- при помощи корней растений
- при помощи почвенных микроорганизмов.
- с жидкостью и суспензией,

Адсорбция - это поглощение какого-либо газообразного или растворенного вещества поверхностью твёрдого или жидкого вещества (адсорбента).

Абсорбция - это поглощение сорбата всем объёмом сорбента. Является частным случаем сорбции.

Адсорбция металлов корнями растений приводит к обеднению нижней части гумусового горизонта почвы данными элементами и обогащению верхней его части вследствие разложения растительных остатков.

Перераспределению металлов по профилю почвы также способствует и активность почвенных организмов.

Наиболее одним из значимых миграционных процессов является миграция в жидкой фазе, так как большинство металлов попадает в почву в форме растворимых соединений или в виде суспензий, и фактически все взаимодействия между металлами и компонентами почвы происходят на границе жидкой и твердой фаз [38].

По степени подвижности в жидкой фазе почв выделяют три основные формы:

- предколлоидная нерастворимая (взвесь лизиметрических вод),
- коллоидная
- частично растворимая.

Тяжелые металлы во взвешенном веществе могут быть:

- в составе алюмосиликатного материала (акцессорные и адсорбированные),
- в форме минеральных соединений (гидроксидов),
- в составе органо-минеральных ГК и ФК-комплексов,
- в форме сложных комплексов переменного состава, образующихся в результате сорбции глинистыми минералами и гидроксидами гумусовых и металлоорганических соединений.

Возможными соединениями коллоидной группы тяжелых металлов могут быть:

- минеральные формы,
- органические формы
- органо- минеральные формы.

В составе органо-минеральных соединений металлы могут присутствовать в форме комплексных хелатных соединений или сложных металлоорганических комплексов переменного состава, образующихся в результате сорбции металлов коллоидным органическим веществом, а также образованных гидроксидами железа, марганца, алюминия и сорбированными на них молекулами ГК и ФК [35].

Возможными соединениями истинного раствора могут быть простые и комплексные ионы и молекулы, в том числе органо- минеральные хелатирующие.

Учитывая преимущественно фульватный состав почвенных вод и устойчивость ФК-соединений к биологическому и химическому разрушению, наиболее вероятно, что органо-минеральные комплексы тяжелых металлов большей частью представлены ФК-комплексами.

К механизмам закрепления тяжелых металлов почвой относятся:

- обменная адсорбция на поверхности глин и гумуса,
- формирование комплексных соединений с гумусом,
- адсорбция и окклюзия гидратированными окислами алюминия, железа, марганца и др.,
- формирование нерастворимых соединений, особенно при восстановлении.

Направленность и интенсивность данных процессов определяются:

- химическими характеристиками самих металлов,
- составом и свойствами почв
- факторами внешней среды.

При этом в почвах, где уровень загрязнения намного выше их способности к адсорбции металлов, процессы осаждения и растворения начинают играть ведущую роль.

К основным физико-химическим факторам, контролирующим подвижность металлов, относятся следующие характеристики почвы:

- гранулометрический состав;
- кислотнo-основные условия;
- количество органического вещества.
- окислительно-восстановительные условия;

Влияние кислотнo-основных условий на степень подвижности металлов в почве весьма значительно, что обусловлено их участием в определении формы нахождения соединений элементов, а также знака и величины заряда их частиц в растворе.

Некоторые аспекты кислотнo-основных условий:

- В кислотнo-основных реакциях происходит перенос иона H^+ от кислоты к основанию. Кислота и её кислотный остаток представляют собой сопряжённую пару «кислота-основание». Чем сильнее кислота, тем слабее сопряжённое ей основание.

• Вода может быть как кислотой, так и основанием. Чистая вода в незначительной степени подвергается автопротолизу.

- Кислотность раствора характеризуется водородным показателем рН. В нейтральных растворах $pH = 7$, в кислых $pH < 7$, щелочных $pH > 7$.

- Сила кислоты (основания) характеризуется константой кислотности (основности) или её логарифмом. Константа не зависит от концентрации раствора.

- Буферные растворы содержат смесь слабой кислоты (основания) и её соли. Их кислотность мало изменяется при добавлении кислот или оснований.

- Гидролиз солей - это кислотно-основное равновесие. Чем слабее кислота (основание), тем сильнее гидролиз её соли.

От того, в какой форме - в форме катиона, аниона или нейтральной частицы - находится элемент в растворе, зависит его количество, удерживаемое почвой, а также прочность данной связи.

рН почвенного раствора - один из наиболее важных параметров, определяющих величину сорбции ионов тяжелых металлов.

Наиболее прочно ионы большинства тяжелых металлов закрепляются в почве при нейтральных и слабощелочных значениях рН, так как ионы водорода при высокой концентрации в среде создают конкуренцию для металлов в процессе сорбции, в слабощелочных условиях возрастает устойчивость органоминеральных комплексов.

При уменьшении рН увеличивается растворимость соединений большинства элементов, в том числе Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe, Co, а, следовательно, и их подвижность в системе твердая фаза - раствор. Другие элементы, в том числе Mo, мобилизуются в щелочных почвах; в кислых условиях они переходят в слабо растворимые соединения.

Влияние рН на устойчивость соединений тяжелых металлов с органическим веществом можно проиллюстрировать на примере рядов стабильности комплексов металлов с фульвокислотами:

- при $pH = 3$ $Cu > Ni > Co > Pb > Ca > Zn > Mn > Mg$;
- при $pH = 4$ $Ni > Co > Pb > Cu > Zn > Mn > Ca > Mg$.

Влияние окислительно-восстановительных условий заключается в том что общая для большинства тяжелых металлов закономерность - доля их подвижных соединений максимальна при пониженном окислительно-восстановительном потенциале 2, 4.

Зависимость поведения металлов в почвах от гранулометрического состава, прежде всего от содержания глинистых минералов и полуторных окислов, способных удерживать их в результате ионного обмена, хемосорбции, осаждения и окклюзии.

***Реакция ионного обмена** - это химическая реакция между сложными веществами в растворах, в результате которой они обмениваются своими составными частями.*

***Ионный обмен** - это химическая реакция между двумя сложными веществами, которая приводит к обмену заряженными частицами (ионами), в результате чего образуются новые сложные соединения.*

***Хемосорбция** - это поглощение вещества из паровой фазы или раствора поверхностью твёрдого тела, при котором между адсорбированными молекулами и поверхностными слоями твёрдого тела возникает химическое взаимодействие.*

***Осаждение** - это процесс разделения смесей, при котором взвешенные в жидкости или газе твёрдые или жидкие частицы дисперсной фазы отделяются от сплошной фазы.*

***Окклюзия (в химии)** - это вид соосаждения, при котором происходит захват примесей из раствора внутрь кристалла.*

В целом обменная емкость различных типов глинистых минералов изменяется в следующей последовательности:

монтмориллонит, вермикулит > иллит, хлорит > каолинит > галлуазит.

Способность глин связывать ионы металлов коррелирует и их емкостью обмена - чем больше емкость, тем больше и количество адсорбированных катионов.

По величине максимального насыщения Cu, Zn, Mn, Pb и Hg минералы образуют убывающий ряд:

гидрооксид алюминия > бентонит > гидромусковит > каолинит.

Однако прочность фиксации при этом различна. Так, монтмориллонит поглощает большее количество металлов, чем каолинит, но прочность связи меньше.

Способностью к образованию комплексов с тяжелыми металлами обладают как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные фракции органического вещества.

Низкомолекулярные фракции - основной комплексообразующий компонент для цинка, кадмия и марганца, тогда как свинец и медь наиболее активно связываются высокомолекулярными фракциями органического вещества.

Начальным этапом формирования внутрипочвенного стока являются растворы гумусового горизонта, характеризующиеся преобладанием истинно растворимых форм для всех классов ландшафтов - природных и техногенных.

Инфильтрация через нижележащие горизонты сопровождается выведением органического вещества и связанных с ним металлов из раствора и усложнением форм миграции элементов [13].

***Инфильтрация** (от лат. *in* - «в» и ср.-век. лат. *filtratio*, «процеживание») - просачивание, пропитывание ткани каким-либо веществом. В переносном смысле - проникновение чего-либо в несвойственную ему среду.*

Наиболее интенсивен этот процесс для металлов, ассоциированных с высокомолекулярными фракциями растворимого органического вещества - для Pb и Cu, мигрирующих в основном в составе коллоидной и взвешенной форм. В то же время комплексообразование Zn, Cd и Mn, в основном низкомолекулярными фракциями, обуславливает низкую долю сложных форм этих элементов и преимущественную миграцию в составе истинных растворов.

Поскольку водная миграция тяжелых металлов и трансформация их миграционных форм тесно связаны с органическим веществом, то естественно было бы ожидать, что и закрепление металлов в почвенном профиле также в значительной степени должно контролироваться процессами трансформации органического вещества и процессами, определяющими подвижность органических и органо-минеральных соединений.

Переход тяжелых металлов из раствора, то есть их закрепление, происходит в процессе коагуляции частиц из суспензии, осаждения, адсорбции и диффузии в твердом состоянии (проникновение в кристаллическую решетку).

В почвах и горизонтах, богатых органическим веществом, фиксация свинца, кадмия и цинка определяется в основном соединениями гумуса, в почвах малогумусных и минеральных горизонтов - глини-

стыми минералами и полуторными окислами. Однако специфика условий формирования некоторых почв может приводить к изменениям данных закономерностей.

Уровень концентрации тяжелых металлов в водном экстракте, находящемся в равновесии с твердой фазой почвы, может дать ответ: находятся ли металлы в почве в виде самостоятельных твердофазных соединений (оксиды, гидроксиды, карбонаты, фосфаты и др.) либо они не образуют отдельных твердых фаз осадков, а адсорбированы основными почвенными компонентами (минералами, гумусом, оксидами и гидроксидами Fe, Mn и Al).

В большинстве почв растворы недосыщены по отношению к труднорастворимым соединениям, поэтому ведущими в закреплении металлов будут процессы адсорбции. При этом свинцу специфическая адсорбция свойственна в большей степени, чем кадмию и цинку, - селективность поглощения свинца выше примерно в 1000 раз. Только при содержании в почвах больших количеств тяжелых металлов они будут осаждаться в виде самостоятельных твердофазных соединений.

Одновременное присутствие в почве цинка, свинца и кадмия приводит к повышению мобильности цинка и кадмия, что, по-видимому, объясняется увеличением конкуренции тяжелых металлов за активные центры в процессе взаимодействия их с почвами. Подвижность свинца при этом не изменяется.

Подвижность среды — это скорость, с которой происходят изменения в окружении организации.

Подвижность носителей заряда — это коэффициент пропорциональности между дрейфовой скоростью носителей заряда и приложенным внешним электрическим полем.

Подвижность — это свойство ионов в растворе электролита, характеризующееся величиной, равной произведению абсолютной скорости ионов на постоянную Фарадея.

В единицах Международной системы единиц (СИ) постоянная Фарадея в точности равна. $F = 96\,485,332\,123\,310\,0184$ Кл/моль.

Точное численное значение постоянной Фарадея следует из точно установленных (не измеренных в физическом эксперименте с конечной погрешностью, а определённых соглашением) численных значений заряда электрона и постоянной Авогадро.

При оценке внешних факторов, воздействующих на миграцию химических элементов в почвах, необходимо отметить значительную роль форм рельефа и гидрологического режима, которые определяют интенсивность внутрипочвенного и поверхностного стока и сезонные изменения запасов влаги.

Однако помимо природных факторов следует учитывать и то огромное воздействие, которое оказывает на природные среды хозяйственная деятельность человека.

Результатом совокупного действия различных механизмов миграции тяжелых металлов являются различия в характере профильного распределения элементов.

Процессы изменения валового содержания тяжелых металлов по профилю естественных незагрязненных почв обусловлены содержанием элементов в материнской породе и определяются генезисом, петрохимией и фациальными различиями материнского субстрата и процессами почвообразования.

***Петрохимия** - раздел геохимии, изучающий распределение химических элементов в горных породах и породообразующих минералах.*

Контрольные вопросы

1. Каковы роль и особенности тяжелых металлов в биосфере?
2. Перечислите основные процессы миграции тяжелых металлов в окружающей среде. Какова роль в этих процессах живых организмов?
3. Какими причинами можно объяснить повышенную концентрацию металлов в аэрозолях по сравнению с развеиваемыми ветром горными породами?
4. Какое значение для массообмена металлов в биосфере имеют процессы биометилизации?
5. Рассмотрите биогеохимию свинца и цинка. Чем они отличаются?
6. Перечислите общие черты глобальных циклов и распределения масс тяжелых металлов в биосфере.

Глава 6. ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ

6.1. Механизмы в почве при поступлении тяжелых металлов

Форма нахождения элемента - это характер вхождения химического элемента в систему.

Формы нахождения химических элементов включают подвижную и инертную формы.

Подвижная форма - это состояние химического элемента в горных породах, почвах и рудах, при котором он легко может переходить в раствор и мигрировать.

Инертная форма - это состояние химического элемента, при котором он обладает низкой миграционной способностью и не способен или почти не способен переходить в раствор.

Поступая в почву с пылью автодорог, промышленных предприятий, осадками сточных вод, удобрениями, соединения тяжелых металлов подвергаются изменениям под действием физико-химических и биологических факторов.

Скорость и степень растворения будут зависеть как от свойств самих соединений, так и от процессов, протекающих в почве. В итоге содержание металлов в почвенном растворе приближается к термодинамическому равновесию с природными почвенными органическими и минеральными компонентами.

Трансформация соединений тяжёлых металлов — это переход из легкодоступных форм в недоступные, прочнофиксированные формы соединений.

Первая стадия процесса трансформации внесённых с удобрениями легкорастворимых соединений — адсорбция. Наряду с поглощением активно протекают процессы осаждения, коагуляции, образования прочных органо-минеральных комплексов.

Соединения тяжёлых металлов в почве подразделяют на группы:

- водорастворимые формы соединений;
- обменные и непрочносвязанные

Направление и интенсивность путей трансформации соединений тяжелых металлов можно наметить, используя сведения о химиче-

ской устойчивости индивидуальных соединений металлов, а также информацию по изучению взаимодействия элементов с разными компонентами почв.

***Почва** - сложная гетерогенная и полидисперсная природная система, в которой одновременно происходит множество взаимосвязанных процессов на различных компонентах почвенного комплекса.*

Выделение одного из них способно нарушить природное равновесие, однако полученные результаты позволяют приблизительно интерпретировать состояние металлов в реальных почвах.

В условиях загрязнения почва проявляет свои буферные способности, переводя водорастворимые соединения металлов в труднорастворимые формы, а труднорастворимые - в более мобильные, то есть прослеживается конвергенция поступивших соединений элементов, их превращение в соединения, свойственные самой почве конкретного состава и свойств [13].

***Буферная способность почвы** — это способность почвы противостоять резкому изменению её свойств и состава при внешних воздействиях, нарушающих природный режим почвообразования (мелиорация, загрязнение и др.).*

Буферная способность почвы не беспредельна, и с ростом экзогенных концентраций элементов постепенно увеличивается количество и тех форм, в которых они поступают в почву.

Поступающие в почву в составе осадков сточных вод металло-содержащие органические комплексы в начальный период высокорастворимы.

***Степень растворимости** — это концентрация растворенного вещества в насыщенном растворе, в котором оно больше не может быть растворено.*

Степень растворимости при этом обусловлена устойчивостью комплексов к замещению основными конкурирующими ионами Ca^{2+} и H^+ и устойчивостью лиганда к разложению микроорганизмами.

Разрушение комплекса может привести к заметному снижению растворимости металлов за счет процессов гидролиза, осаждения и обменных реакций с компонентами почвенного поглощающего комплекса. Часть ионов, выделившихся при разрушении первоначального комплекса, взаимодействуя с органическими лигандами, образует другие комплексы разной устойчивости.

Соединения металлов в виде окислов, образующихся при сжигании топлива и высокотемпературной обработке руд цветных металлов, попадая с газовыми выбросами в почву, в значительной степени труднорастворимы.

Однако высокие содержания металлов в частицах пыли, их малый размер могут быть причинами большой растворимости в почвенном растворе.

Большой интерес и значение при изучении форм соединений металлов в почвах представляет их равновесная концентрация в водной вытяжке.

Водорастворимые соединения тяжелых металлов являются наиболее токсичными для растений, так как именно эта группа соединений поглощается растениями в первую очередь [12].

Общая для большинства почв закономерность в содержании различных групп соединений тяжелых металлов: высокая кислотность почв, низкое содержание органического вещества и тонкодисперсной фракции способствует высокому содержанию подвижных соединений ТМ (в том числе обменных и водорастворимых).

Трансформация экзогенных соединений металлов в почве весьма активно происходит во времени.

В общем виде трансформация оксидов тяжелых металлов в почвах представляет собой суммарный процесс следующих изменений:

- растворения оксидов вследствие их неустойчивости в почвенных условиях
- адсорбции катионов металлов компонентами твердой фазы почв с преобладанием специфического типа адсорбции в области низких концентраций
- образования новых твердофазных осадков при поступлении очень высоких концентраций металлов.

Форма поступления элемента в почву влияет на трансформацию его соединений только на начальных этапах этого процесса, в дальнейшем она определяется типом почвы и свойствами самих элементов.

6.2. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях

По запасам, ежегодной продукции, разнообразию форм, средообразующей и климатообразующей роли, хозяйственной, научной и эстетической ценности объектам растительного мира нет равных среди природных ресурсов.

Современное состояние растительного покрова того или иного региона служит важным индикатором качества окружающей среды.

***Индикаторы качества окружающей среды** — это биологические показатели, в том числе виды и группы растений, животных и других организмов.*

С растительностью тесно связаны численность и видовое разнообразие животного мира.

***Численность** — это общее количество особей на данной территории или в данном объёме.*

***Видовое разнообразие** — это количество различных видов, представленных в биологическом сообществе или регионе.*

Видовое разнообразие является одной из важнейших качественных и количественных характеристик степени устойчивости природного сообщества.

Видовое разнообразие может быть разным в разных местах: например, высоким в тропических лесах, где обитает огромное количество видов растений, животных и микроорганизмов. В пустынях или тундре условия жизни менее благоприятны для многих видов [21].

Утрата одного вида может привести к нарушению баланса в экосистеме и вызвать негативные последствия для других видов. Поэтому сохранение видового разнообразия — важный аспект экологии и охраны окружающей среды.

Распределение наземной растительной биомассы суши имеет следующий вид, т/га:

- тропические и субтропические пустыни - 2,5;
- суббореальные и полярные пустыни, засоленные почвы - 2,5-5;
- тундра - 12,5-25;
- лесотундра - до 50;
- степи, саванны, пампы, мангровые заросли - 12,5-150;
- тайга - до 400;
- лиственные леса средней полосы - 400-500;
- тропические леса - 500-1700.

В России большая часть ее территории покрыта древесной и кустарниковой растительностью.

Растительный мир является одним из основных компонентов окружающей природной среды.

При этом лесная растительность остается наиболее представительным типом растительного покрова страны: леса России составляют 22% лесов мира. Общая площадь земель лесного фонда составляет 1172,3 млн га, или 69% территории России.

Изучение процессов накопления тяжелых металлов в растительном покрове является актуальной научной задачей, позволяющей оценить структуру элементного состава растительного покрова; чувствительность, аккумуляторные и индикаторные свойства разных видов растений, а также дать прогноз изменений состояния окружающей среды по данным элементного состава растений.

В условиях крайне напряженной экологической ситуации, сложившейся во многих регионах мира, повышение продуктивности растениеводства должно быть неразрывно связано с контролем качества получаемой сельскохозяйственной продукции.

Для ведения сельского хозяйства в условиях техногенного загрязнения необходимо обладать достоверной информацией о токсическом действии тяжелых металлов и закономерностях их поступления и накопления в растениях [26].

Решение поставленных в этой связи задач представляется довольно сложным, поскольку связано с изучением большого числа разнообразных факторов, обуславливающих особенности поведения тяжелых металлов в процессе их биологической миграции.

Большое значение при этом имеют исследования по изучению механизмов поступления тяжелых металлов в растения и их влияния на рост и развитие растений, на качество растениеводческой продукции в зависимости от содержания металлов в почвах разных типов и в пределах одного типа, но различающихся по механическому составу, физико-химическим свойствам и уровню плодородия.

Широкий диапазон колебаний тяжелых металлов в растениях обусловлен действием различных факторов, таких как:

- наличие геохимических аномалий,
- степень техногенного воздействия,
- сезонные колебания,

- свойства почв,
- способности генотипа накапливать тот или иной элемент.

Естественные уровни содержания металлов в растениях незагрязненных районов, по-видимому, довольно постоянны и лежат в пределах определенного интервала концентраций.

Фоновое содержание — это содержание химических веществ в почвах территорий, не подвергающихся техногенному воздействию или испытывающих его в минимальной степени.

Понятие «фоновое содержание» довольно условно, поскольку его геохимические параметры достаточно динамичны.

Фоновые концентрации для одних и тех же элементов в растениях могут сильно различаться, иногда в несколько. Тем не менее, при оценке антропогенного воздействия необходимо опираться на местные фоновые характеристики с учетом всех компонентов ландшафта.

Ландшафт — это часть земной поверхности, для которой характерно определённое сочетание рельефа, климата, почв, растительного и животного мира.

Ландшафт — генетически однородный территориальный комплекс, сложившийся в свойственных только ему условиях.

Ландшафт включает в себя:

- единую материнскую основу,
- геологический фундамент,
- рельеф,
- гидрографические особенности,
- почвенный покров,
- климатические условия
- единый биоценоз.

Несоблюдение принципа соответствия техногенного ландшафта и его ближайшего фонового ландшафта-аналога приводит к существенным ошибкам в оценке антропогенного геохимического воздействия на экосистему.

Загрязнение природной среды металлами, как правило, способствует обеднению флоры вследствие выпадения чувствительных видов. В результате формируются сообщества с резко ограниченным числом видов или даже моноценозы.

Моноценоз — это ботаническое сообщество, состоящее из одной ценоморфы или из одного вида.

Ценоморфа — это жизненная форма ценоза.

Для таких сообществ характерны обычные виды местной флоры, которые переносят большие концентрации металлов или благодаря исходно высокой металлоустойчивости вида в целом, или в результате формирования устойчивых к металлам популяций.

Металлоустойчивость — это способность растений адаптироваться к высоким концентрациям тяжёлых металлов в окружающей среде.

Металлоустойчивость обеспечивается благодаря физиолого-биохимическим механизмам, таким как способность растений поддерживать интенсивность фотосинтеза и дыхания на необходимом для жизнедеятельности уровне, а также сохранение оптимального водного режима и минерального питания.

В последнее десятилетие особое внимание исследователей уделяется молекулярно-генетическим механизмам металлоустойчивости растений.

Металлоустойчивые популяции ряда видов растений, приуроченные к почвам с естественным, природным обогащением металлами, известны для районов рудных месторождений. Кроме того, известны виды, образующие металлоустойчивые популяции в условиях атмосферного загрязнения окружающей среды.

Устойчивость вырабатывается именно к тому металлу, который присутствует в среде в избытке, то есть она специфична. Могут формироваться популяции, устойчивые одновременно к двум или нескольким металлам - множественная устойчивость.

Для металлоустойчивых популяций характерны карликовые формы, пониженная биологическая продуктивность, ослабление прорастания семян и роста проростков при нормальном содержании металлов в среде. Свойство металлоустойчивости наследуется, передаваясь в семенном потомстве.

Способность вида формировать металлоустойчивые популяции определяется его генетической изменчивостью, то есть наличием некоторого количества устойчивых к металлам индивидуумов в исходной популяции.

В условиях загрязнения среды металлами действует отбор по признаку металлоустойчивости: неустойчивые индивидуумы быстро выпадают, устойчивые отбираются.

Формирование видов металлоустойчивых популяций имеет большое экологическое значение, так как позволяет ему выжить при загрязнении. Исследования в этой области находят практическое применение - устойчивые популяции используют для рекультивации горнорудных отвалов и других грунтов, обогащенных металлами.

Следует отметить, что устойчивость растений к металлам не связана с ограничением их поступления. Более того, металлоустойчивые виды и популяции чаще поглощают даже больше металлов, чем чувствительные или обычные.

Механизмы устойчивости растений к металлам в условиях природного обогащения и при загрязнении среды имеют много общего. Они действуют как в корнях, так и в надземной части растений. Возможно также, что при атмосферном загрязнении приобретают значение механизмы, связанные с листьями, которые обеспечивают барьерные функции кутикулы и эпидермиса, иммобилизацию металлов в неактивных формах или выведение их из листа.

Металлоустойчивость растений обеспечивается различными механизмами в зависимости от природы металла, биологических особенностей вида и факторов окружающей среды.

Так, в условиях атмосферного загрязнения действуют следующие механизмы:

1. адаптация к металлу: перестройки в метаболизме; потребность в металле.
2. выведение металла во внешнюю среду: сбрасывание листьев; вымывание осадками; выделение в воздух;
3. обезвреживание металла внутри растения: связывание в нерастворимые комплексы;
4. перевод (складирование) в вакуоли и (или) клеточные стенки;

Токсическое действие металлов на растение в природе нередко с трудом поддается объяснению, будучи результатом сложных взаимоотношений металлов, находящихся в избытке в растении, с другими необходимыми минеральными элементами.

Токсическое действие — это действие веществ на молекулярном уровне, которое нарушает функции биологических систем.

Токсичность веществ зависит от их дозы: чем меньше доза, вызывающая эффект, тем вещество токсичнее.

Токсический эффект проявляется при действии вредных веществ в виде нарушений функций или деятельности всего организма, включая его гибель.

Данные процессы взаимодействия еще более усложняются факторами окружающей среды, такими как температура и влажность воздуха и почвы, интенсивность освещения и др., которые могут видоизменять, ослаблять или усиливать реакцию растения на токсическое действие металлов.

Гипераккумулятор — это растение, способное расти в почве или воде с высокими концентрациями металлов.

Оно поглощает эти металлы своими корнями и концентрирует чрезвычайно высокие уровни металлов в своих тканях.

По сравнению с видами, не обладающими гипераккумуляцией, корни-гипераккумуляторы извлекают металл из почвы с более высокой скоростью, быстрее переносят его к своим побегам и накапливают большие количества в листьях и корнях.

Фиторемедиация — комплекс методов очистки сточных вод, грунтов и атмосферного воздуха с использованием зелёных растений

Гипераккумулялирующие растения представляют интерес из-за их способности извлекать металлы из почв загрязненных участков (фиторемедиация), чтобы вернуть экосистему в менее токсичное состояние.

Большинство дикорастущих гипераккумуляторов тяжелых металлов относится к семейству крестоцветных - близких родственников капусты и горчицы.

Необходимо отметить, что имеющиеся в литературе данные по оценке фитоаккумуляционной способности тяжелых металлов весьма противоречивы.

Фитоаккумуляционная способность тяжёлых металлов — это способность растений накапливать в своей биомассе тяжёлые металлы в количествах, значительно превышающих их содержание в среде произрастания.

По способности накапливать тяжёлые металлы растения разделяют на три группы:

- **Аккумуляторы.** Накапливают металлы главным образом в надземных органах как при низком, так и высоком содержании их в почве.

- Индикаторы. Концентрация металла в них отражает его содержание в окружающей среде.
- Исключатели. Накапливают металлы в основном в корнях, поступление ионов в побеги ограничено даже при высокой их концентрации в окружающей среде.

Среди аккумуляторов выделяют растения-гипераккумуляторы (сверхнакопители), способные накапливать в надземной биомассе чрезвычайно высокие концентрации тяжёлых металлов без каких-либо отрицательных последствий для жизнедеятельности. 1

6.3. Экологические последствия загрязнения почв

К тяжелым металлам относят ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, медь, цинк, молибден, кадмий, ртуть, свинец, висмут, телур, сурьму и другие металлы, атомная масса которых выше атомной массы железа. Особо токсичными в этой группе являются ртуть, свинец, кадмий.

К источникам загрязнения почв тяжелыми металлами относятся:

- автомобильные выбросы отработанных газов;
- отходы металлообрабатывающей промышленности;
- продукты сгорания топлива;
- промышленные выбросы;
- средства химизации сельского хозяйства и др.

Неравномерность и контрастность поступления тяжелых металлов в почвы обусловлена:

- плотностью населения,
- особенностью источников загрязнения,
- метеорологическими особенностями региона,
- ландшафтно- геохимической обстановкой.

***Локальное (местное) загрязнение** – загрязнение, характеризующееся повышенным содержанием загрязняющих веществ на небольших территориях (город, промышленное предприятие).*

***Региональное загрязнение** – внесение загрязнителя в пределах значительного пространства, но не охватывающего всю планету (бассейн реки, государство).*

***Источник загрязнения** — это объект, с которого в окружающую среду поступают загрязняющие вещества, шум, ионизирующее излучение, микробиологическое или другие виды загрязнений, ухудшающие качество окружающей среды.*

От локального источника загрязнения зона максимального загрязнения распространяется на расстояние, равное высоте трубы. Воздушные массы разбавляют выбросы, и аэрозоли переносятся на расстояние, соответствующее «розе ветров», при этом на перенос может влиять сила ветра, влажность воздуха и др.

Характер распределения тяжелых металлов зависит от рельефа. Если интенсивность поступления загрязнителей сопоставима со скоростью их перераспределения по рельефу, то почвы водоразделов остаются относительно чистыми, а почвы пониженных ландшафтов накапливают тяжелые металлы [33].

Если же приток выбросов превосходит процессы ландшафтного перераспределения тяжелых металлов, то почвы повышенных элементов рельефа будут активнее загрязняться, чем в пониженных ландшафтах.

Одно из последствий техногенных воздействий на окружающую среду - образование высоких концентраций тяжелых металлов в почвах. Усиление токсичности тяжелых металлов возрастает при их совместном воздействии. В

близости источников загрязнения фитоценозы становятся более однообразными, количество видов может снизиться до двух-трех и даже до моноценозов. Первыми на загрязнение реагируют лишайники и мхи, более устойчивым является травянисто-кустарничковый ярус и особенно древесный. Но длительное воздействие и у деревьев вызывает сухостойные явления [35].

Защита почв от загрязнения тяжелыми металлами опирается на совершенствование производств, снижение количества отходов, замкнутость технологических систем, строгость при утилизации отходов и т.д.

Для ликвидации существующих загрязнений тяжелыми металлами, снижения их токсичности в почвах используют следующие мероприятия:

- выращивают фитомелиоранты - растения, аккумулирующие тяжелые металлы, затем их биомассу с загрязнителями утилизируют.

- известкование почв снижает подвижность и поглощение растениями свинца, кадмия, мышьяка, цинка; органические удобрения в высоких дозах снижают токсичность и поступление в растения тяжелых металлов;
- путем оптимизации минерального питания снижают поступление загрязнителей в растения; так, повышенные дозы фосфора снижают токсичность свинца, меди, цинка, кадмия;
- ряд веществ инактивирует тяжелые металлы или снижает их токсичность, например природные минеральные сорбенты (цеолит, глауконит, диатомит) или ионообменные смолы, которые образуют хелаты с металлами;
- удаление и погребение поверхностных загрязненных почвенных слоев;

Фитомелиоранты — это растительная масса, запаховываемая в почву для обогащения её органическим веществом.

Фитомелиорация — это система мероприятий по улучшению природных условий путём регламентированного использования сообществ.

Выделяют три группы фитомелиорантов:

- Специальные. В них фитомелиоративная функция имеет ведущее значение (парки, лесопарки, защитные полосы и т. п.).
- Продуктивные. В них первое место отводится получению продукции, а фитомелиорация имеет второстепенное значение (леса, поля, луга, сады, виноградники и т. п.).
- Рудеральные. Популяции сорняков, которые спонтанно выполняют фитомелиоративные функции.

При оценке техногенных загрязнений ведут сравнение с почвенным фоном - содержанием тяжелых металлов в почвах незагрязненных территорий.

Загрязнение тяжелыми металлами имеет полиэлементный состав и оказывает комплексное воздействие на живые организмы. Для его оценки используют суммарные показатели загрязнения Z_c , характеризующие степень загрязнения ассоциацией элементов относительно фона.

Фон - концентрация загрязняющего вещества в данной области, создаваемую источниками вне рассматриваемого объекта негативного воздействия

6.4. Закономерности распределения металлов в растительных организмах

Поглощение химических элементов растениями - процесс, в значительной мере регулируемый организмом в зависимости от характера строения и химического состава клеточных оболочек у разных видов.

Поглощение химических элементов — это процесс, при котором живые организмы селективно поглощают химические элементы в соответствии со своими физиологическими потребностями.

Среди таких элементов можно выделить углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, серу, кремний, кальций, магний и железо. Они необходимы организмам в наибольшей степени для построения структурных органов, роста и размножения.

Поглощение химических элементов живыми организмами приводит к биогенной трансформации земных оболочек и дифференциации элементов в окружающей среде.

Пассивная диффузия составляет всего 2-3% от всей массы усвоенных минеральных элементов.

Однако регулирование растением поглощения элементов имеет место только при питании из уравновешенных растворов с низкой концентрацией минеральных веществ.

При повышении концентрации процессы регуляции в значительной степени подавляются, в результате чего происходит значительное накопление элементов в растительном организме.

Небольшие количества тяжелых металлов практически не оказывают неблагоприятного воздействия на растения благодаря буферным свойствам почвы, приводящим к инаktivации токсикантов.

При повышении уровня загрязнения инаktivация становится неполной, и поток вредных ионов начинает атаковать корни. Часть ионов растение способно перевести в менее активное состояние еще до проникновения их в корни: хелатировать с помощью корневых выделений и адсорбировать на внешней поверхности корней [16].

Большое количество токсикантов попадает в корень, где частично адсорбируется на стенках. Для участия в метаболизме корней им необходимо преодолеть плазмалемму. Преодоление клеточных мембран требуется и для достижения ионами ксилемы: обойти пояски Каспари они могут только путем перехода из апопласта в симпласт.

Апопластический путь проходит по свободному пространству клеточных оболочек и межклетников по принципу диффузии и потока воды с растворенными в ней веществами. Этим путем в растения могут поступать ненужные для нормального метаболизма элементы.

Симпластический путь по непрерывному симпласту между клетками по плазмодесмам носит избирательный характер, локализованный на мембранах механизм избирательного поглощения ионов ограничивает проникновение в клетку балластных и избыточных ионов.

Если в клетках корня окажется ионов все же больше допустимого уровня, то начинает действовать еще один механизм защиты, переводящий излишек в вакуоли.

Таким образом, в корнях часть ионов задерживается в свободном пространстве или в вакуолях, другая часть используется в процессах метаболизма, третья - с ксилемным соком поднимается в надземные органы.

При передвижении по ксилеме металлы могут сорбционно поглощаться ее стенками, а также закомплексовываться присутствующими в клеточном соке органическими соединениями, но большее их количество проходит по ксилеме транзитом в листья, прежде всего в апопласт.

Для проникновения в клетки листа тяжелым металлам необходимо вновь преодолеть клеточную мембрану, то есть по аналогии с корнями здесь действует механизм избирательного поглощения.

Наличие двух путей перемещения элементов в растении - апопластического и симпластического - определяет разные уровни содержания тяжелых металлов в органах растительного организма: корнях, стеблях, листьях, репродуктивных органах [26].

В вегетативные части растений ионы металлов поступают преимущественно апопластическим путем, а в репродуктивные - симпластическим. Биологический фильтр симпласта защищает растения от неконтролируемого накопления металлов.

Помимо отмеченных выше механизмов защиты от избытка ТМ, у растений имеет место усиленное формирование корневой системы в условиях загрязнения за счет сокращения биомассы надземных органов.

Кроме свободных ионов корни растений могут мобилизовывать и потреблять обменные, прочно и даже химически связанные элементы с минеральными и органическими составляющими почвы в результате воздействия выделяемых ими органических кислот, ионов водорода. Освобожденные ионы переводятся, вероятно, в хелатное состояние (прежде всего ионы тяжелых металлов), а металлохелаты уже достаточно легко поглощаются растениями.

При этом фитосидерофоры способствуют также мобилизации в почвах и накоплению в растениях меди, цинка, марганца. Лучше всего изучены фитосидерофоры ячменя и кукурузы - мугеиновая и дезокси-мугеиновая кислоты, а также выделяемая овсом авениковая кислота. Роль фитосидерофоров, возможно, играют и некоторые белки, обладающие способностью связывать тяжелые металлы и делать их более доступными для растений.

Доступность для растений тяжелых металлов, связанных с частицами почвы, повышают и находящиеся на мембранах корневые ферменты редуктазы. В повышении биологической доступности металлов немалую роль может играть и корневая микрофлора.

Активный транспорт ионов в корень растения регулируется электрохимическим потенциалом, в создании которого решающая роль принадлежит протонному градиенту (разности концентраций ионов водорода по одну и другую стороны клеточной мембраны) и интенсивности использования энергии макроэргических связей.

Механизм поглощения при этом следующий (согласно теории «переносчиков»): ионы присоединяются к заряженным энергией участкам на наружной стороне клеточной мембраны, связываются со специфическими соединениями (пермеазами), способными к проникновению через мембраны, в комплекс, который, пройдя через мембрану, диссоциирует с образованием иона металла и свободного переносчика. Ион вступает во взаимодействие с компонентами мезоплазмы, а переносчик возвращается на мембрану [44].

Помимо поступления тяжелых металлов в растение через корни из загрязненных почв существует еще один путь - поглощение металлов через листовую поверхность из газопылевых выбросов и аэрозолей. Содержащие металлы частицы, попадая из воздуха на листья и другие органы растений, частично удерживаются на их поверхности,

частично удаляются с осадками и ветром. Определенная доля удерживаемых частиц принимает внутрь тканей.

Процессы отложения и удержания аэрозольных частиц на листьях определяются рядом факторов, которые можно разделить на три группы:

- особенности поверхностей растений, как структурно-морфологические, так и функциональные (опушенность, наличие воскового слоя, шероховатость, смачиваемость, клейкость и др.);
- факторы окружающей среды (количество атмосферных осадков и их кислотность, скорость ветра, относительная влажность воздуха и др.);
- свойства загрязняющих частиц и соединений металлов, как физические, так и химические (их размеры, форма, химическая природа, растворимость и др.).

Антропогенное воздействие, прямое или косвенное, как правило, приводит к изменению функций, состава, свойств и режимов почвы, к снижению ее природно- хозяйственной значимости, то есть к деградации , .

Для урбанизированных и промышленно развитых территорий нашей страны наиболее характерны такие негативные воздействия, как разрушение почвенного покрова (порча), загрязнение и захламление земель.

Химическое загрязнение земель, происходящее в результате хозяйственной деятельности человека, характеризуется увеличением (появлением) количеств химических веществ в почвах, превышающих ранее существовавшие значения (фоновые или на начало сравниваемого периода).

В соответствии с ГОСТ 17.4.3.06-86 (Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ) среди загрязняющих почву веществ различают:

- педохимически активные вещества, изменяющие кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия в почвах и воздействующие таким образом на общую почвенно-геохимическую обстановку (преимущественно на макроэлементы и их соединения), ухудшая качество почвы и её плодородие;
- биохимически активные вещества, воздействующие в

первую очередь на живые организмы: микрофлору, растения и животных;

- вещества, способные находится в почве в таких формах, которые ведут к их миграции в атмосферный воздух, растительность, поверхностные, грунтовые и подземные воды.

По степени возможного отрицательного воздействия на почву, растения, животных и человека все загрязняющие химические вещества антропогенного происхождения подразделяют на три класса опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения, табл. 6.1):

- 1 класс - вещества высокоопасные;
- 2 класс - вещества умеренно опасные;
- 3 класс - вещества малоопасные.

Таблица

Классы опасности некоторых химических веществ

Класс опасности	Химическое вещество
1	мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен; пестициды: атразин, гексахлорбутадиен, гранозан, ГХЦГ, гептахлор, ДНОК, ДДТ, карбатион, метафос, ПХК, ПХП, севин, тордон, тиодан, ТМТД
2	бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром; пестициды: агелон (атразин+прометрин), 2,4-Д, далапон, карбофос, купрозан, кельтан, нитрафен, пропанид, симазин, трефлан, хлорофос, ялан, рогор
3	барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон; пестициды: банвел Д, дактал, дилор, мильбекс, полидим, поликарбацин, прометрин, трихлорацетат натрия, те-дион, цинеб, эрадикан

Попадая в почву, загрязняющие вещества способны мигрировать горизонтально и (или) вертикально по почвенному профилю, переходя в другие объекты природной среды - в атмосферу, природные воды, живые организмы (транслокация).

Кроме того, под воздействием различных факторов они могут либо разлагаться, либо трансформироваться в еще более токсичные вещества, или, наоборот, образовывать нетоксичные продукты (детоксикация).

Продолжительность сохранения активности загрязняющего вещества, характеризующая степень его устойчивости к процессам разложения и трансформации, называется персистентностью.

Наиболее распространенными химическими загрязнителями почвенного покрова в настоящее время являются тяжелые металлы, углеводороды нефти, пестициды, полициклические ароматические углеводороды и др.

Контрольные вопросы

1. Принципы охраны природы: приоритета экологической безопасности, уникальности.
2. Принципы охраны природы: разумной достаточности и допустимого риска, неполноты информации.
3. Основные виды негативных воздействий на почвенно-биотический комплекс.
4. Антропогенные изменения почв и их экологические последствия. Особенности и принципы нормирования антропогенных нагрузок на почвенный покров.
5. Оценка токсичности тяжёлых металлов в блоке «почва-растение». Комплексные показатели загрязнения почв.

Глава 7. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

Экологическое нормирование - это установление показателей качества окружающей среды и предельно допустимых воздействий на нее, организационно-правовая деятельность, направленная на установление предельно допустимых норм воздействия (экологических регламентов, нормативов) на окружающую среду, при соблюдении которых не происходит деградация экосистем, гарантируется сохранение биологического разнообразия и экологическая безопасность населения.

Основные механизмы экологического нормирования включают:

- Исследование обоснования нормативов в контексте природоохранной деятельности;
- Контроль за применением нормативов;
- Проведение экспертизы на утверждение нормативов;
- Прогнозирование экологических, экономических и социальных последствий применения утвержденных нормативов.
- Установление условий разработки нормативов;
- Формирование информационной нормативной базы;

Субъектами, деятельность которых подлежит нормированию, являются природопользователи – физические и юридические лица.

Экологическое нормирование представляет собой ряд законодательных предписаний, призванных организовать рациональное и уважительное отношение человека к природе.

В основе каждого документа лежат:

- Закон «Об охране окружающей среды»;
- Новейшие научно-технические открытия в области охраны природы;
- Свод современных международных стандартов.
- Регламентирование экологических правил в процессе взаимодействия с окружающей средой включает в себя:
 - Научное обоснование заявленных законом нормативов;
 - Соответствие установленных норм условиям их разработки;
 - Экспертизу, подтверждающую правомерность закона о природоохране;
 - Систему контроля за выполнением статей ФЗ;

- Информационное обеспечение законодательных инициатив;
- Составление прогнозов на последствия применения положений закона в экологической, экономической и социальной сфере для юридических и физических лиц, чья деятельность связана со строительством или эксплуатацией природных объектов.

Направления экологического нормирования:

- Выработка санитарно-гигиенических правил безопасности жизни человека;
- Контроль над ресурсной и производственной базой в данном регионе;
- Охрана, рациональное использование и восстановление природных ресурсов;
- Создание благоприятных условий для развития и функционирования безвредных производств.
- Штрафные санкции к предприятиям, негативно влияющим на окружающую среду;

Экологическое и санитарно-гигиеническое нормирование включает в себя систему проверки качества окружающей среды, к которым относятся:

- Информационная база о физических и юридических субъектах, имеющих производства, загрязняющие среду обитания человека.
- Исследовательские работы по совершенствованию и уточнению задачи экологического нормирования в области природоохраны;
- Контролирующие действия административных органов над предприятиями;
- Прогнозы на оздоровление экологии регионов;
- Условия, необходимые для утверждения выработанных правил;
- Экспертиза норм, принятых в законном порядке;

С помощью экологического нормирования антропогенной нагрузки удаётся ограничить негативное влияние человеческого фактора на окружающее пространство и рационально размещать опасные для природы объекты на территории регионов [11].

При формировании основных механизмов экологического нормирования учитываются следующие факторы:

- Вероятность техногенных аварий на предприятии;

- Возможность снижения ядовитых выбросов до приемлемых уровней с помощью специальных фильтров;
- Способы контроля подотчётных производств.
- Существование у производства вредных отходов, представляющих опасность;

Этапы реализации экологического нормирования:

- Выявление загрязняющих атмосферу и водоёмы предприятий;
- Предупреждение владельцев о необходимости соблюдения экологических норм;
- Наложение штрафа на администрацию.

В случаях тяжёлых последствий для людей и окружающей среды -привлечение к уголовной ответственности.

Основой экологического нормирования в Российской Федерации является «Закон об охране окружающей среды», с помощью которого регулируются отношения между предпринимателями и органами экологического контроля [12].

Аналогичное значение имеют:

- Водный кодекс;
- Земельный кодекс;
- «Закон об охране атмосферного воздуха»;
- Лесной кодекс;
- Законы «О животном мире» и «О рыболовстве» и ещё несколько других, имеющих прямое отношение к охране природы в Российской Федерации.

Почвенные загрязнители также различаются по классам опасности (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Классы опасности химических веществ в почве

Показатель	Нормы для класса опасности		
	1-го	2-го	3-го
Токсичность, ЛД50	до 200	от 200 до 1000	свыше 1000
Персистентность в почве,мес.	свыше 12	от 6 до 12	менее 6
ПДК в почве, мг/кг	менее 0,2	от 0,2 до 0,5	свыше 0,5
Миграция	мигрирует	слабо мигрирует	не мигрирует

Класс опасности – условный показатель, наглядно демонстрирующий уровень токсичности того или иного соединения.

При этом учитывается множество разных критериев, например, средняя смертельная доза при введении в желудок, нанесении на кожу, хроническом воздействии и т.п. (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Классы опасности химических веществ в почве

Показатель	Нормы для класса опасности		
	1-го	2-го	3-го
Персистентность в растениях, мес.	3 и более	от 1 до 3	менее 1
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции	сильное	умеренное	нет

Персистентность - это способность чего-либо длительно сохранять свои свойства в окружающей среде.

Термин может применяться в разных областях:

В экологии персистентность - естественное замедление деградации природной среды под влиянием загрязнителей или других антропогенных факторов. Например, растворение CO₂ в водах Мирового океана.

В микробиологии персистентность - физиологическое состояние клеток, связанное с замедлением метаболической активности и роста при нахождении в составе биоплёнок, под воздействием бактериофагов или неблагоприятных факторов среды.

В сфере информационной безопасности персистентность - способность вредоносной программы сохранять активность после перезагрузки устройства или целевого приложения. Чаще всего это достигается добавлением процессов в списки автозагрузки или записи реестра.

Химическое вещество - это уникальная форма материи с постоянным химическим составом и характерными свойствами (табл. 7.3)

Таблица 7.3

Отнесение химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов, отходов, к классам опасности

Класс опасно-	Химическое вещество
1	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
2	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
3	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

Неорганическое загрязнение почвы - это избыток различных неорганических химических соединений, оказывающих токсическое влияние на растения и микроорганизмы.

К ним относятся тяжёлые металлы, щёлочи, неорганические кислоты, минеральные вещества и соли.

Основные источники неорганического загрязнения почвы:

- Промышленные предприятия. Среди отходов их деятельности - токсичные вещества, соли тяжёлых металлов, соединения мышьяка, нефть и нефтепродукты и другие опасные элементы, которые скапливаются в почвах [14].
- Транспорт. С выхлопными газами в воздух, а затем и в грунт попадают азот, углеводород, свинец.
- Сельское хозяйство. Аграрии используют минеральные удобрения, ядохимикаты, в составе которых, как правило, есть ртуть и другие тяжёлые металлы.

Последствия неорганического загрязнения почвы (табл. 7.4):

- Ухудшение качества продуктов питания и вред здоровью. Из загрязнённой почвы вредные вещества и токсины поступают в грунтовые воды, накапливаются в тканях растений, которыми питаются животные на пастбищах, а затем попадают в пищу людей.
- Спад урожайности. Загрязнённые почвы становятся менее плодородными.

Таблица 7.4

Критерии оценки степени загрязнения почв неорганическими веществами

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
$> K_{\max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От ПДК до $K_{\max}$	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 фоновых значений до ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

Пестициды – химические средства, применяемые в сельском хозяйстве для защиты растений от различных видов вредных организмов и сорняков, а также в гигиене людей и животных.

Потенциальная опасность для живой природы и людей, непредотвратимость циркуляции пестицидов в биосфере и в связи с этим контакт большого количества людей с ним отличают пестициды от

прочих химических веществ, используемых человеком. Доступны и широко используются тысячи пестицидов. Большие запасы устаревших пестицидов, которые перестали выпускаться в промышленном масштабе, хранятся на складах и их продолжают применять.

Для окружающей среды, человека и животных пестициды, несомненно, представляют опасность [17].

Существуют различные подходы к классификации пестицидов. Их классифицируют по назначению, способности проникать в организм вредителя, характеру (табл. 7.5) и механизму действия, токсичности и другим признакам (табл. 7.6).

Таблица 7.5

Классификация пестицидов по назначению, способу проникновения и характеру действия

Группы пестицидов	Назначение, способ проникновения и характер действия
<i>Инсектициды</i>	
Контактного действия	Вызывают гибель вредных насекомых при контакте
Кишечного действия	Вызывают гибель вредных насекомых при попадании в кишечник
Системного действия	Способны продвигаться по сосудистой системе растения и отравлять поедающих его насекомых
Фумиганты	Действуют в газообразном состоянии через органы дыхания насекомых
<i>Гербициды</i>	
Контактного действия	Вызывают гибель сорных растений при контакте
Системного действия	Способны продвигаться по сосудистой системе растения и вызывать его гибель
Почвенного действия	Действуют на корневую систему растений или на прорастающие семена
Избирательного действия	Поражают только определенные виды растений
Сплошного действия	Уничтожают всю растительность
<i>Фунгициды</i>	
Контактного действия	Используют для борьбы с патогенными грибами
Системного действия	Способны продвигаться по сосудистой системе растений и убивать патогенные грибы
Защитного действия	Способны защищать от воздействий патогенных грибов
Лечебного действия	Способны давать лечебный эффект при действии патогенных грибов
<i>Другие группы</i>	
Ларвициды	Уничтожают личинок и гусениц насекомых
Акарициды	Уничтожают растительноядных клещей

Таблица 7.6

Классификация пестицидов по назначению, способу проникновения и характеру действия

Овициды	Уничтожают яйца вредных насекомых и клещей
Нематоциды	Уничтожают круглых червей
Зооциды, или родентициды	Уничтожают грызунов
Моллюстициды	Уничтожают моллюсков
Бактерициды	Уничтожают болезнетворные бактерии

Классификация пестицидов по токсичности. Обладая выраженной биологической активностью, пестициды могут оказывать токсическое действие на организм человека и животных, что приводит к нарушению работоспособности человека, заболеванию и даже смерти.

Степень токсичности зависит от пути поступления в организм пестицидов (ингаляционный, пероральный, перкутанный и др.), от индивидуальных особенностей организма (возраст, пол, наследственность и т.д.) и других факторов.

Классификация по степени опасности отравления предложена специалистами ВОЗ и основана на величине LD₅₀ пестицидов для крыс в зависимости от пути введения токсикантов и их агрегатного состояния (табл. 7.7).

Таблица 7.7

Классификация по степени опасности отравления пестицидами

Класс опасности	LD ₅₀ для крыс, мг/кг массы тела перорально		LD ₅₀ для крыс, мг/кг массы тела трансдермально	
	твердые	жидкие	твердые	Жидкие
IA - крайне опасные	5 и менее	20 и менее	10 и менее	40 и менее
IB - высоко опасные	5 – 50	20 – 200	10 – 100	40 – 400
II - умеренно опасные	50 – 500	200 – 2000	100 – 1000	400 – 4000
III - мало опасные	Около 500 более 2000	Около 2000 более 3000	Около 1000	Около 4000

Опасность отравления пестицидами зависит от:

- агрегатного состояния,
- природы соединения,
- продолжительности контакта,

- способности к кумуляции (накопление в организме).
- степени летучести токсиканта,
- устойчивости в окружающей среде (персистентность),

Персистентность очень важна для оценки токсичности пестицидов.

Пестициды делятся по устойчивости в почве на:

- Очень стойкие, период разложения которых составляет более 1 года,
- Стойкие – от 6 мес. до 1 года,
- Умеренно стойкие – 1 – 6 мес.,
- Малостойкие - до 1 мес.

Кумуляция пестицидов в организме человека и животных характеризуется коэффициентом кумуляции, который определяется отношением суммарной дозы препарата, вызывающей гибель 50% подопытных животных при многократном введении, к дозе, вызывающей гибель 50% животных при однократном введении.

Кумуляция — это накопление в организме и суммирование действия некоторых лекарственных средств и ядов при их повторных введениях.

Различают:

- материальную кумуляцию
- функциональную кумуляцию.

Материальная кумуляция — накопление самих действующих веществ, которые метаболизируются медленно и недостаточно полно выводятся из организма.

Функциональная кумуляция — накопление вызываемых соответствующими веществами эффектов. Свойственна тем веществам, которые влияют на деятельность центральной нервной системы.

- Если коэффициент кумуляции менее 1 - вещество обладает сверхкумуляцией,
- при коэффициенте кумуляции 1 – 3 у вещества выраженная кумуляция,
- при коэффициенте 3 – 5 умеренная,
- при коэффициенте более 5 - слабовыраженная кумуляция.

Различные классы пестицидов обладают в большей или в меньшей степени эмбриотоксичностью, иммунотоксичностью, гепатотоксичностью и другими видами токсичности.

Для отнесения пестицида к тому или иному классу опасности в первую очередь учитывается свойство, определяющее его опасность. Это значит, что даже малотоксичное вещество, но обладающее канцерогенным или мутагенным свойством, может быть отнесено к 1 классу опасности [10].

Для выбора методов определения пестицидов важно знать их свойства. В этом случае удобна классификация по химическому строению.

В зависимости от химического строения пестициды подразделяются на две группы:

1. Неорганической природы (соединения мышьяка, таллия, меди и серы)
2. Органической природы синтетического или биологического происхождения.

Отдельно можно выделить металлоорганические соединения, например алкилртутные фунгициды.

Большинство пестицидов – это органические соединения, которые подразделяются на классы и подклассы (хлорорганические соединения (ХОС), фосфорорганические соединения (ФОС), синтетические пиретроиды – (СП), карбаматы).

Представители одного и того же класса, имея сходное химическое строение, могут иметь разнонаправленное действие (входить в различные группы по назначению), обладать иными токсическими свойствами.

Инсектициды подразделяются на 8 химических групп, 5 из которых имеют важное токсикологическое значение:

- Фосфорорганические соединения (ФОС) - органические соединения, в которых содержится химическая связь фосфор - углерод.
- ХОС (хлорорганические соединения) - продукты замещения в различных органических соединениях атомов водорода хлором (полихлорированные диоксины; дибензофураны; полихлорированные дифенилы; хлорорганические пестициды.)

- Карбаматы, или уретаны – органические соединения, производные карбаминовой кислоты (амида угольной кислоты),
- Пиретроиды - синтетические инсектициды, аналоги природных пиретринов.

Пиретроиды I типа: аллетрин, бифентрин, перметрин, фенотин, ресметрин, сумитрин, тефлутрин и тетраметрин.

Пиретроиды II типа: цифлутрин, цихалотрин, циперметрин, дельтаметрин, фенвалерат, флуметрин, флувалинат и тралометрин. Пиретроиды II типа отличаются от I типа наличием цианогруппы в альфа-положении, что увеличивает токсичность.,

- Производные мочевины - это различные химические вещества, образованные путём замещения в ней одного или более атомов водорода кислотными радикалами.

Гербициды по своей химической структуре подразделяются на 12 групп, но наиболее важны в токсикологическом отношении только 7: хлорированные феноксикислоты, производные мочевины, триазины, урацилы, соединения с четвертичным азотом, карбаматы и тиокарбаматы, карбоциклические кислоты и эфиры.

К фунгицидам принадлежат соединения многих химических групп: бензимидазолы, дитиокарбаматы, ацилаланины, ФОС и др. наиболее важные из них – комплексы дитиокарбаматов с марганцем, никелем и цинком, органические и неорганические соединения меди и ртути.

Родентициды представлены 3 группами соединений: фосфином, солями таллия, кумариновыми антикоагулянтами.

Акарициды, моллюстициды и нематоциды. Некоторые из этих соединений имеют более одной области применения и могут быть среди вышеупомянутых химических групп веществ [38].

Эффективность применения пестицидов зависит не только от действующего вещества, но и от выпускаемой формы препарата, условий, при которых оно контактирует с вредными организмами (табл. 7.8).

Форма выпуска пестицидов:

- смачивающиеся порошки,
- концентраты эмульсий,
- гранулированные препараты,

- микрокапсулированные препараты,
- растворы,
- аэрозоли

Таблица 7.8

Отнесение пестицидов к классам опасности

Наименование пестицида	Токсичность ЛД ₅₀ , мг/кг	Персистентность, мес.	ПДК или ОДК, мг/кг почвы
1-й класс			
Атразин	От 1400 до 3300	От 18 до 20 включ.	0,5
Гранозан	включ.	—	0,1
ГХЦГ	От 30 до 50 включ.	От 6 до 18 включ.	0,1
Гептахлор	От 25 до 200 включ.	до 36 включ.	0,05
ДДТ	От 82 до 500 включ.	до 114 включ.	0,1
Карбатион	От 200 до 500 включ.	—	—
Метафос	От 146 до 450 включ.	до 3 включ.	0,1
Севин	От 15 до 35 включ.	до 12 включ.	0,05
ТМТД	От 153 до 850 включ. До 100 включ.		—
2-й класс			
2,4-Д	От 490 до 1500 включ.	От 6 до 12 включ.	—
Карбофос	От 400 до 1400 включ.	От 6 до 12 включ.	0,5
Кельтан	От 430 до 900 включ.	От 1 до 6 включ.	—
Нитрафен	От 450 до 700 включ.	От 5 до 12 включ.	1,0
Симазин	От 1300 до 4000	От 6 до 12 включ.	1,5
Хлорофос	включ.	От 6 до 12 включ.	0,1
Рогор	От 225 до 1200 включ. От 139,5 до 220,5 включ.	От 2 до 6 включ.	0,9
3-й класс			
Прометрин	От 1800 до 3500	От 3 до 4 включ.	0,5
Трихлорацетат	включ.		
натрия	От 3500 до 6000	От 2 до 6 включ.	0,2
Тедион	включ.	До 2 включ.	—
Цинеб	От 500 до 1000	До 1 включ.	1,58
Эрадикан	включ. До 5200 включ. До 4450 включ.	От 1,5 до 3 включ.	—

Опасность загрязнения почв определяется уровнем ее возможного отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты и прямо или опосредовано на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы самоочищения

Результаты обследования почв учитывают при:

- определении и прогнозе степени их опасности для здоровья и условий проживания населения в населенных пунктах,
- разработке мероприятий по их рекультивации,
- профилактике инфекционной и неинфекционной заболеваемости,
- схем районной планировки,
- технических решений по реабилитации и охране водосборных территорий,
- при решении очередности санационных мероприятий в рамках комплексных природоохранных программ и оценке эффективности реабилитационных и санитарно-экологических мероприятий и текущего санитарного контроля за объектами прямо или косвенно воздействующими на окружающую среду населенного пункта.

Использование единых методических подходов будет способствовать получению сопоставимых данных при оценке уровней загрязнения почв.

Оценка опасности загрязнений почвы населенных пунктов определяется:

1. Эпидемической значимостью;
2. Ролью ее как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и при непосредственном контакте с человеком.

Санитарная характеристика почв населенных мест основывается на лабораторных санитарно-химических, санитарно-бактериологических, санитарно-гельминтологических, санитарно-энтомологических показателях (табл.7.9).

Таблица 7.9

Критерии оценки степени загрязнения почв органическими веществами

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
> 5 ПДК	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От 2 до 5 ПДК	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 1 до 2 ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

Санитарное состояние почвы - совокупность физико-химических и биологических свойств почвы, определяющих качество и степень ее безопасности в эпидемическом и гигиеническом отношениях.

Химическое загрязнение почвы - изменение химического состава почвы, возникшее под прямым или косвенным воздействием фактора землепользования (промышленного, сельскохозяйственного, коммунального), вызывающее снижение ее качества и возможную опасность для здоровья населения.

Биологическое загрязнение почв - составная часть органического загрязнения, обусловленного диссеминацией возбудителей инфекционных и инвазионных болезней, а также вредными насекомыми и клещами, переносчиками возбудителей болезни человека, животных и растений.

Показатели санитарного состояния почв - комплекс санитарно-химических, микробиологических, гельминтологических, энтомологических характеристик почвы.

Буферная способность почвы - способность почвы поддерживать химическое состояние на неизменном уровне при воздействии на почву потока химического вещества.

Приоритетный компонент загрязнения почвы - вещество или биологический агент, подлежащий контролю в первую очередь.

Фоновое содержание (загрязнение) - содержание химических веществ в почвах территорий, не подвергающихся техногенному воздействию или испытывающих его в минимальной степени.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) химического вещества в почве представляет собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве, т.к. используемые при ее обосновании критерии отражают возможные пути воздействия загрязнителя на контактирующие

среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения.

Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на 4 основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально:

- транслокационном, характеризующим переход вещества из почвы в растение,
- миграционный водный характеризует способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники, миграционный воздушный показатель вредности характеризует переход вещества из почвы в атмосферный воздух,
- общесанитарный показатель вредности характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность.

При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания по каждому показателю вредности.

Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК (табл 7.10).

Таблица 7.10

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	ПДК мг/кг почвы с уче- том фона (кларк)	Показатель вредности			
		трансло- кацион- ный	миграционный		Общесанитарный
			водный	воздуш- ный	
подвижные формы					
Медь	3,0	3,5	72,0	—	3,0
Никель	4,0	6,7	14,0	—	4,0
Цинк	23,0	23,0	200,0	—	37,0
Кобальт	5,0	25,0	более 1000	—	5,0
водорастворимые формы					
Фтор	10,0	10,0	10,0	—	6,0
валовые формы					
Сурьма	4,5	4,5	4,5	—	50,0
Марганец	1500,0	3500,0	1500,0	—	50,0
Ванадий	150,0	170,0	350,0	—	150,0
Марганец + ванадий	1000+100	1500+150	2000+200	— —	1000+ 100
Свинец	30,0	35,0	260,0		30,0

Мышьяк	2,0	20,0	15,0	–	10,0
Ртуть	2,1	2,1	33,3	2,5	5,0
Свинец + ртуть	20,0+1,0	20,0+1,0	30,0+2,0	–	30,0+2,
Медь	55	–	–	–	–
Никель	85	–	–	–	–
Цинк	100	–	–	–	–
Хлорид калия	560,0	1000,0	560,0	1000,0	5000,0
Нитраты	130,0	180,0	130,0	–	225,0
Бенз(а)пирен	0,02	0,2	0,5	–	0,02
Бензол	0,3	0,3	10,0	0,3	50,0
Толуол	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0
КГУ*	120,0	800,0	120,0	800,0	800,0
ЖКУ**	80,0	более 800,0	80,0	более 80,0	800,0

Подвижные формы меди, никеля и цинка извлекаются из почвы аммонийно-ацетатным буфером с рН 4,8 (медь и цинк), рН 4,6 (никель); подвижная форма кобальта извлекаются из почвы аммонийно-натриевым буферным раствором с рН 3,5 для сероземов и рН 4,7 для дерново-подзолистой почвы

КГУ* – Комплексные гранулированные удобрения;

ЖКУ** – Жидкие комплексные удобрения.

Ориентировочная допустимая концентрация (или ОДК) – гигиенический норматив, характеризующий ориентировочную допустимую концентрацию вещества в почве (табл. 7.11; 7.12; 7.13).

Таблица 7.11

Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание)

№ п/п	Элемент	Группа почв	Величина ОДК с учетом фона, мг/кг	Класс опасности	Особенности действия на организм
1.	Никель	песчаные и супесчаные кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	20 40 80	2	Для теплокровных и человека малотоксичен. Ингибитор оксидаз. Обладает мутагенным действием
2.	Медь	песчаные и супесчаные	33	2	

		кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	66 132		Повышает клеточную проницаемость, ингибирует глутатионредуктазу, нарушает метаболизм, взаимодействуя с $-SH$, $-NH_2$ и $COOH$ - группами
3.	Цинк	песчаные и супесчаные кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	55 110 220	1	Недостаток или избыток вызывают отклонения в развитии. Отравления при нарушении технологии внесения цинк содержащих пестицидов
N п/п	Эле- мент	Группа почв	Величина ОДК с учетом фона, мг/кг	Класс опас- ности	Особенности действия на организм
4.	Мы- шьяк	песчаные и супесчаные кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	2 5 10	1	Ядовитое вещество, ингибирующее различные ферменты, отрицательное действие на метаболизм. Возможно канцерогенное действие
5.	Кадмий	песчаные и супесчаные кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	0,5 1,0 2,0	1	Сильно ядовитое вещество, блокирует сульфгидрильные группы ферментов, нарушает обмен железа и кальция, нарушает синтез ДНК
6.	Свинец	песчаные и супесчаные кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5,5$ близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5,5$	32 65 130	1	Разностороннее негативное действие. Блокирует $-SH$ группы белков, ингибирует ферменты, вызывает отравления, поражения нервной системы

Таблица 7.12

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве
и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	ПДК мг/кг почвы с учетом фона (кларк)	Показатель вредности			
		транслокаци- онный	миграционный		Общесани- тарный
			водный	воздушный	
подвижные формы					
Медь	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Никель	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Цинк	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Кобальт	5,0	25,0	более 1000	-	5,0
водорастворимые формы					
Фтор	10,0	10,0	10,0	-	6,0

Таблица 7.13

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в почве
и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	ПДК мг/кг почвы с учетом фона (кларк)	Показатель вредности			
		транслокаци- онный	миграционный		Общесани- тарный
			водный	воздушный	
Валовые формы					
Сурьма	4,5	4,5	4,5	-	50,0
Марганец	1500,0	3500,0	1500,0	-	50,0
Ванадий	150,0	170,0	350,0	-	150,0
Марганец + вана- дий	1000+10	1500+150	2000+200	-	1000+1
	0	35,0	260,0	-	00
Свинец	30,0	20,0	15,0	-	30,0
Мышьяк	2,0	2,1	33,3	2,5	10,0
Ртуть	2,1	20,0+1,0	30,0+2,0	-	5,0
Свинец + ртуть	20,0+1,0	-	-	-	30,0+2,
Медь	55	-	-	-	0
Никель	85	-	-	-	-
Цинк	100	100,0	560,0	1000,0	-
Хлорид калия	560,0	180,0	130,0	-	-
Нитраты	130,0	0,2	0,5	-	5000,0
Бенз(а)пирен	0,02	3,0	10,0	0,3	225,0
Бензол	0,3	0,3	100,0	0,3	0,02
Толуол	0,3	800,0	120,0	800,0	50,0
:КГУ*	120,0	более 800,0	80,0	Более 80,0	800,0
ЖКУ**	80,0				80

КГУ* - Комплексные гранулированные удобрения;

ЖКУ** - Жидкие комплексные удобрения

Источник загрязнения - объект, с которого в окружающую среду поступают загрязняющие вещества, шум, ионизирующее излучение, микробиологическое или другие виды загрязнений.

Источники загрязнения могут быть:

1. Производственными
2. Природными

Это может быть:

1. Точка выброса вещества (труба и т. П.);
2. Хозяйственный или природный объект, производящий загрязняющее вещество;
3. Регион, откуда поступают загрязняющие вещества (при дальнем и трансграничном переносе); 2
4. Внерегиональный фон загрязнений, накопленных в среде (например, в воздушной - CO_2 , в водной - их кислотность и т. п.).

Загрязнение может происходить и за счёт естественных источников в результате природных процессов (табл. 7.14). Исключение составляют природные катастрофы или опасные природные явления.

Таблица 7.14

Перечень источников загрязнения и химических элементов, накопление которых возможно в почве в зонах влияния источников

Вид промышленности	Производственные объекты	Химические элементы	
		приоритетные	сопутствующие
Цветная металлургия	Производство цветных металлов непосредственно из руд и концентратов	Свинец, цинк, медь, серебро	Олово, висмут, мышьяк, кадмий, сурьма, ртуть, селен
	Вторичная переработка цветных металлов	Свинец, цинк, олово, медь	Ртуть
	Производство твердых и тугоплавких цветных металлов	Вольфрам	Молибден
	Производство титана	Серебро, цинк, свинец, бор, медь	Титан, марганец, молибден, олово, ванадий
Черная металлургия	Производство легированных сталей	Кобальт, молибден, висмут, вольфрам, цинк	Свинец, кадмий, хром, цинк

Промышленность строительных материалов	Производство цемента (при использовании отходов металлургических производств возможно накопление соответствующих элементов)	Барий	Ртуть, цинк, стронций
Машиностроение и металлообрабатывающая промышленность	Железорудное производство	Свинец, серебро, мышьяк, таллий	Цинк, вольфрам, кобальт, ванадий
	Предприятия с термической обработкой металлов (без литейных цехов)	Свинец, цинк	Никель, хром, ртуть, олово, медь
	Производство аккумуляторов, производство приборов для электротехнической и электронной промышленности	Свинец, никель, кадмий	Сурьма, свинец, цинк, висмут
Химическая промышленность	Производство суперфосфатных удобрений	Стронций, цинк, фтор, барий	Редкие земли, медь, хром, мышьяк, иттрий
	Производство пластмасс	Сернистые соединения	Медь, цинк, серебро
Полиграфическая промышленность	Шрифтолитейные заводы и типографии		Свинец, цинк, олово
Твердые бытовые отходы крупных городов, используемые в качестве удобрений		Свинец, кадмий, олово, медь, серебро, сурьма, цинк	Ртуть
Осадки канализационных сточных вод		Свинец, кадмий, ванадий, никель, олово, хром, медь, цинк	Ртуть, серебро
Загрязненные поливочные воды		Свинец, цинк	Медь

К приоритетным относятся элементы с кларками концентрирования больше 10, к сопутствующим от 2 до 10.

Гигиеническая оценка загрязнения почвы населенных пунктов определяется (табл. 7.15):

1. Значимостью загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха.
2. Ролью загрязненной почвы как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, подземных вод и при ее непосредственном контакте с человеком;
3. Эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы;

Таблица 7.15

Гигиеническая оценка почв сельскохозяйственного назначения и рекомендации по их использованию

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности почв	Возможное использование территории	Рекомендации по оздоровлению почв
1. Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения почвы. Осуществление мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений и т.п.)
2. Умеренно опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений	Мероприятия, аналогичные категории 1. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или миграционным воздушным показателями проводится контроль за содержанием этих веществ в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водных источников

3. Высокоопасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры. Использование под с/х культуры ограничено с учетом растений-концентраторов	1. Кроме мероприятий, указанных для категории 1, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях - продуктах питания и кормах. 2. При необходимости выращивания растений - продуктов питания - рекомендуется их перемещение с продуктами, выращенными на чистой почве. 3. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом растений-концентраторов
4. Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	Использование под технические культуры или исключение из с/х использования. Лесозащитные полосы	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водоисточников

К критериям экологической оценки состояния почв относятся:

1. Антропогенная нагрузка на почву и на все её компоненты.
2. Нарушения почвы, её взаимосвязи и взаимовлияние на другие компоненты природно-антропогенного комплекса, обусловленные антропогенной нагрузкой и природными явлениями.
3. Способность почвы к текущему и последующему воспроизводству питательных веществ, морфологических структур, биоразнообразия, биотических связей и др.
4. Экологические проблемы, связанные с ухудшением состояния почвы [41].

Для оценки экологического состояния почвы необходимо исследование её как в целом, так и по компонентам - почвенного воздуха и раствора, химического состава, чужеродных и естественных включений, почвенной биоты и других экологических свойств (табл 7.16).

Таблица 7.16

Критерии экологической оценки состояния почв

Показатели	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
Основные показатели			
Площадь выведенных из сельскохозяйственного оборота земель вследствие их деградации, %	> 50	30...50	до 5
Уничтожение гумусового горизонта	A + B	A _{пах} (A ₁)	до 0,1 A
Перекрытость поверхности почвы по отношению к равновесной, %	> 20	10...20	отсутствие

Таблица 7.16

Критерии экологической оценки состояния почв

Показатели	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, %	более чем на 40	на 30...40	до 10
Превышение уровня грунтовых вод, % от критического значения	> 50	25...50	допустимый уровень
Радиоактивное загрязнение, Ки/км ² цезий-137 стронций-90 плутоний (сумма изотопов)	> 40 > 3 > 0,1	15...40 1...3 > 0,1	до 1 до 0,3 –
Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности почвы, мкР/ч	> 400	200...400	до 20
Потери гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные), %	> 25	10...25	< 1
Увеличение содержания легкорастворимых солей, г/100 г почвы	> 0,8	0,4...0,8	до 0,1
Увеличение доли обменного натрия, % от емкости катионного обмена	> 25	15...25	до 5
Превышение ПДК химических веществ: I класса опасности (включая бенз(а)пирен, диоксины) II класса опасности III класса опасности (включая нефть и нефтепродукты)	более чем в 3 раза более чем в 10 раз более чем в 20 раз	в 2...3 раза в 5...10 раз в 10...20 раз	превышения нет то же «

Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c)	> 128	32...128	< 16
Снижение уровня активной микробной массы	более чем в 100 раз	в 50...100 раз	до 5 раз
Фитотоксичность почвы (снижение числа проростков), % к фону	> 200	140...200	до 110
Дополнительные показатели			
Доля загрязненной основной сельскохозяйственной продукции, % проверенной	> 50	25-50	до 5
Число яиц гельминтов в 1 кг почвы	> 100	10...100	отсутствие
Число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы	$> 10^{-6}$	$10^{-5} - 10^{-6}$	$< 10^{-4}$

Таблица 7.16

Критерии экологической оценки состояния почв

Показатели	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
Коли-титр (для почвы – наименьшая масса почвы в г, в которой содержится 1 кишечная палочка)	$< 0,001$	0,01-0,001	$> 1,0$
Генотоксичность почвы (рост числа мутаций по сравнению с контролем), число раз	> 1000	100-1000	< 2

Валовое содержание тяжелых металлов - один из основных санитарно-гигиенических показателей, характеризующий общую загрязненность почвы (табл. 7.17).

Таблица 7.17

Допустимое валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадках сточных вод

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества, не более, для осадков группы	
	I	II
Свинец (Pb)	250	500
Кадмий (Cd)	15	30
Никель (Ni)	200	400
Хром ($Cr_{общ}$)	500	1000

Цинк (Zn)	1750	3500
Медь (Cu)	750	1500
Ртуть (Hg)	7,5	15
Мышьяк (As)	10	20

Осадки группы I используют под все виды сельскохозяйственных культур. Кроме овощных, зеленных, земляники, грибов.

Осадки группы II используют под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры.

Осадки групп I и II используют в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов твердых бытовых отходов.

Суммарный показатель загрязнения почвы - характеристика загрязнения почвы несколькими загрязняющими веществами (разработана преимущественно в отношении тяжёлых металлов) [26].

При этом суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами Z_c является нормативно обоснованным и достаточно универсальным критерием гигиенической оценки почв (табл. 7.18).

Таблица 7.18

Категории загрязнения земель по суммарным показателям загрязнения Z_c

Категории загрязнения почв	Величина Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16 – 32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32 – 128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Группировка почв по методике Почвенного института им. В.В. Докучаева

Градация почв составляется для каждого элемента и основана на его кларке.

***Кларки** - это числа, выражающие среднее содержание химических элементов в крупной геохимической системе (в земной коре, литосфере, атмосфере, гидросфере, биосфере, на Земле в целом или в космосе).*

Например, группировка почв, загрязненных свинцом.

Кларк Pb = 10 мг/кг.

Пусть содержание свинца в почве исследуемой территории 120 мг/кг. Сначала составим арифметическую прогрессию:

Кларк, мг/кг	Группы почв по уровню загрязнения Pb						
	I	II	III	IV	V	...	XII
10	20	30	40	50	60	...	120

Однако если концентрация элемента-загрязнителя превышает кларк более чем в 10 раз, то составляют геометрическую прогрессию. При этом знаменатель прогрессии также зависит от величины кларка. Если кларк больше 200 – знаменатель прогрессии 2, если находится в пределах от 10 до 100, то знаменатель прогрессии 3, если меньше 1 – 4.

Кларк, мг/кг	Группы почв по уровню загрязнения Pb		
	I	II	III
10	30	90	270

Согласно группировке с использованием геометрической прогрессии, территория с концентрацией свинца в почве 120 мг/кг относится к III группе (табл. 7.19).

Таблица 7.19

Нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивации и иных восстановительных работ Подзона северо- и среднетаежных почв

Почвы				Нормативное значение, г/кг	Дополнительные требования (при необходимости)
Надтиповая группа	Гранулометрический состав	Код	Тип		
Органоминеральные*	Песок, супесь	21	Дерново-подзолистые, подзолы	15	Не допускается наличие визуальных признаков нефтяного загрязнения в профиле почвы. Густота произрастания сосудистых растений не ниже 50 экземпляров на 1 м ² . Не допускается наличие лишенных растительности пятен диаметром более 50 см. На участках с сохранившимся древостоем отпад не более 60% деревьев.
				3	
	Легкие суглинки	22	Аллювиальные болотные иловато-торфяные	10	
				2	
	Суглинки, глины	23	Дерново-подзолистые, подзолистые, болотно-подзолистые, глеевые, таежные слабодифференцированные	30	
				5	
Органогенные**		11	Торфяные болотные верховые	60 (100)	
				30	
		12	Торфяные болотные переходные, торфяные болотные низинные	20	

Органоминеральные, органо-генные, минеральные грунты	Любой	11	Все типы почв	1 (или до уровня регионально-фоновой концентрации)	
		12		1 (или до уровня регионально-фоновой концентрации)	
		21			
		22			
		23			
		41			
Органоминеральные	Легкие суглинки, супеси	21	Дерново-подзолистые, подзолы, дерново-луговые	5	
		22	Аллювиальные болотные иловато-торфяные	1	
Минеральные грунты	Песок и супесь	41	—	5	

Контрольные вопросы

1. Объекты глобального мониторинга и определяемые загрязнители.
2. Определение мониторинга и его виды.
3. Основы биомониторинга.
4. Особенности организации национального мониторинга.
5. Отбор проб среды и их подготовка к анализу.

Глава 8. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ

8.1. Содержание химических элементов в живом веществе

Точно установить среднее содержание химических элементов в живом веществе очень сложно. Кларки элементов в живом веществе постоянно уточняются.

При этом за основу берется фитомасса, значительно преобладающая над зоомассой. В свою очередь в фитомассе преобладающей является древесина.

Фитомасса – суммарная масса живых и отмерших частей растений на единицу площади (фитомасса = биомасса + мортмасса).

Четыре элемента, отнесенные по классификации А.И. Перельмана 4, к активным воздушным мигрантам (О, Н, N, С), составляют 98,8% массы всех живых организмов.

На долю всех микро- и ультрамикроэлементов приходится меньше 0,1%. Однако роль многих из них в функционировании организмов очень велика (табл. 8.1)

Таблица 8.1

Среднее содержание химических элементов в живом веществе

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
О	70	Ni	$8 \cdot 10^{-5}$
С	18	Cr	$7 \cdot 10^{-5}$
Н	10,5	V	$6 \cdot 10^{-5}$
N	$3 \cdot 10^{-1}$	Li	$6 \cdot 10^{-5}$
Ca	$5 \cdot 10^{-1}$	Co	$4 \cdot 10^{-5}$
K	$3 \cdot 10^{-1}$	La	$3 \cdot 10^{-5}$
Na	$2 \cdot 10^{-1}$	Y	$3 \cdot 10^{-5}$
Si	$2 \cdot 10^{-1}$	Mo	$2 \cdot 10^{-5}$
Mg	$4 \cdot 10^{-2}$	J	$1,2 \cdot 10^{-5}$
P	$7 \cdot 10^{-2}$	Sn	$1 \cdot 10^{-5}$
S	$5 \cdot 10^{-2}$	As	$6 \cdot 10^{-6}$
Cl	$2 \cdot 10^{-2}$	Cs	$6 \cdot 10^{-6}$
Fe	$1 \cdot 10^{-2}$	Be	$4 \cdot 10^{-6}$
Mn	$9,6 \cdot 10^{-3}$	Ga	$2 \cdot 10^{-6}$
Al	$5 \cdot 10^{-3}$	Se	$2 \cdot 10^{-6}$
Zn	$2 \cdot 10^{-3}$	W	$1 \cdot 10^{-6}$
Sr	$1,6 \cdot 10^{-3}$	Ag	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Ti	$1,3 \cdot 10^{-3}$	U	$8 \cdot 10^{-7}$
B	$1 \cdot 10^{-3}$	Hf	$5 \cdot 10^{-7}$

Таблица 8.1

Среднее содержание химических элементов в живом веществе

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Ba	$9 \cdot 10^{-4}$	Sb	$2 \cdot 10^{-7}$
Cu	$3,2 \cdot 10^{-4}$	Cd	$2 \cdot 10^{-7}$
Zr	$3 \cdot 10^{-4}$	Hg	$1 \cdot 10^{-7}$
Rb	$2 \cdot 10^{-4}$	Au	$1 \cdot 10^{-8}$
Br	$1,6 \cdot 10^{-4}$	Ra	$n \cdot 10^{-12}$
F	$1,4 \cdot 10^{-4}$		
Pb	$1 \cdot 10^{-4}$		
Обнаружены в организмах, но нет достоверных данных о среднем содержании He, Ne, Ar, Sc, Kr, Nb, Rh, Pd, In, Te, Xe, Ta, Bi, Th			
Пока не обнаружены с достоверностью в организмах Ru, Re, Os, Ir, Po, As, Tc, At, Fr (последние три элемента не обнаружены в земной коре)			

Биофильность — это степень потребности химического элемента для отдельных групп или видов живых организмов.

Степень биофильности определяется коэффициентом биологического поглощения, показывающим во сколько раз содержание в золе растений или животных больше по сравнению с его содержанием в почве.

Биофильность характеризует способность живых организмов накапливать определенные элементы. Высокой биофильностью обладает углерод, азот, водород, кислород, сера, фосфор и др.

В зависимости от величины содержания химических элементов в теле животных и человека выделяют:

Макроэлементы - химические элементы, составляющие основную массу органических и неорганических соединений живых организмов.

Макроэлементы требуются организмам для жизнедеятельности постоянно и в большом количестве. Концентрация их изменяется от 60 до 0,001% массы тела. Это O, H, C, N, P, Ca, K, S и т.д.

Микроэлементы - преимущественно ионы тяжелых металлов, которые являются компонентами ферментов, гормонов и других жизненно важных соединений.

Микроэлементы необходимы для жизнедеятельности, но требуются в значительно меньших концентрациях. Содержание их меняется

от 0,001 до 0,00001% массы тела. Это Mn, B, Co, Cu, Mo, Zn, I, Br, Al и др.

Ультрамикроэлементы - элементы, содержание которых в живых организмах обычно не превышает 0,00001% массы тела.

Ультрамикроэлементы: U, Ra, Au, Hg, Be, Cs, Se и другие рассеянные и редкие элементы. Их физиологическая роль в организме растений и животных полностью еще не выявлена.

Соотношение кларков химических элементов в золе растений и литосфере (почве) свидетельствует о глобальности геохимической деятельности растений.

- Если соотношение содержания элемента в золе растений к его концентрации в литосфере *менее 0,7*, то элемент не накапливается в растениях.
- Если отношение колеблется в пределах *0,7-1,3*, то растение практически не влияет на изменение статуса этого элемента в почве и литосфере.
- Если отношение *выше 1,3* то это свидетельствует об избирательности растений к этому элементу и его накоплению в растительных организмах.

В настоящее время из 90 встречающихся в природе химических элементов 81 обнаружен в организме животных и человека. При этом многие микроэлементы признаны эссенциальными, то есть жизненно необходимыми. Это железо, йод, медь, цинк, марганец, кобальт, молибден, селен, хром, никель, олово, кремний, фтор, ванадий и литий. В то же время большинство из них при высоких концентрациях проявляет сильную токсичность [3].

Практически каждый элемент в зависимости от концентрации может оказывать положительное или отрицательное влияние на живые организмы (табл. 8.2).

Признавая огромное значение микроэлементов в ферментативных процессах, следует отметить, что их роль в живых организмах значительно шире.

Таблица 8.2

Некоторые функции металлов в живых организмах

Элемент	Функции
Ванадий	Фиксация азота; окислительно-восстановительный катализ в превращениях эфиров; метаболизм железа
Хром	В животных организмах кофактор инсулина (глюкозный фактор толерантности)
Марганец	Окислительно-восстановительные реакции; фотосистема-2 в фотосинтезе; метаболизм жиров в диатомеях; мукополисахариды, их синтез в хрящах
Железо	Обратимые реакции Fe(II)/Fe(III), фундаментальные для многих процессов; метаболизм O ₂ в концевых оксидазах, пероксидазах; необходимо для синтеза порфирина, в гемоглобине, миоглобине
Кобальт	В составе витамина B ₁₂ ; необходим для метилирования, фиксации азота в сине-зеленых водорослях
Никель	Содержится в уреазе; стабилизирует структуру РНК и ДНК и структуру рибосом
Медь	Содержится в окислительно-восстановительных системах хлоропластов (пластоцианин); в аскорбат- и полифенолоксидазе, участвующих в метаболизме фенольных соединений; переносчик O ₂ в реакциях сшивания коллагена и в образовании пигментов
Цинк	Входит в состав 70 цинксодержащих ферментов, включая карбоангидразу, дегидрогеназы, щелочную фосфатазу; участвует в усвоении силикатов, метаболизме нуклеиновых кислот и клеточном делении
Молибден	В составе нитратредуктазы, альдегидоксидазы; антагонист меди

Сбалансированное («нормальное») содержание химических элементов в среде, их недостаток или избыток при изучении биогеохимических проблем необходимо понимать не столько в геохимическом смысле, сколько в биологическом - по отношению к организмам, их чувствительности, приспособленности к различным концентрациям химических элементов и их соотношениям, по отношению к ответным биологическим реакциям на повышение или понижение их содержания в среде.

В таком случае приходится учитывать недостаток или избыток тех химических элементов, которые прямо или косвенно связаны с наблюдаемыми биологическими реакциями.

Эти качественные изменения обмена веществ, вызываемые молибденом, могут менять свое направление в зависимости от уровня содержания меди. При повышении концентрации меди ослабляется синтез фермента ксантиноксидазы и образование мочевой кислоты, но усиливается активность окислительных ферментов [9].

Таким образом, при изучении влияния геохимической среды на организм должен учитываться комплекс химических элементов, а не отдельные элементы. Это особенно важно в связи с тем, что организмы концентрируют одни элементы, избегают накопления других, создавая при этом свою внутреннюю среду, приспособленную к сложному течению обмена веществ, отличающуюся от внешней геохимической среды (табл. 8.3; 8.4).

Геохимическая среда — это совокупность соединений (водных растворов) химических элементов поверхности Земли, обуславливающих единые ландшафты.

Таблица 8.3

Характеристика некоторых металлоферментов - бионеорганических комплексов

Металлофермент	Атом	Лигандное окружение	Объект концентрации	Действие фермента
Карбоангидраза	Zn (II)	Аминокислотные остатки	Эритроциты	Катализирует обратимую гидратацию углекислого газа: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
Карбоскипептидаза	Zn (II)	Аминокислотные остатки	Поджелудочная железа, печень, кишечник	Катализирует переваривание белков, участвует в гидролизе пептидной связи: $\text{R}_1\text{-CO-NH-R}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R}_1\text{-COOH} + \text{R}_2\text{NH}_2$
Каталаза	Fe (III)	Аминокислотные остатки, гистидин, тирозин	Кровь	Катализирует реакцию разложения водородпероксида: $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

Таблица 8.3

Характеристика некоторых металлоферментов - бионеорганических комплексов

Металлофермент	Атом	Лигандное окружение	Объект концентрации	Действие фермента
Пероксидаза	Fe (III)	Белки	Ткань, кровь	Окисление субстратов (RH ₂) водородпероксидом: $RH_2 + H_2O_2 = R + 2H_2O$
Оксиредуктаза	Cu (II)	Аминокислотные остатки	Сердце, печень, почки	Катализирует окисление с помощью молекулярного кислорода: $2H_2R + O_2 = 2R + 2H_2O$
Пируваткарбоксилаза	Mn (II)	Белки тканей	Печень, щитовидная железа	Усиливает действие гормонов. Катализирует процесс карбоксилирования пировиноградной кислотой
Альдегидоксидаза	Mo (VI)	Белки тканей	Печень	Участвует в окислении альдегидов
Рибонуклеотидредуктаза	Co (II)	Белки тканей	Печень	Участвует в биосинтезе рибонуклеиновых кислот

Таблица 8.4

Уровни содержания химических элементов в пресноводных организмах, условно принимаемые за фоновые

Элемент	Содержание, мг/кг сух. вещ.	Элемент	Содержание, мг/кг сух. вещ.
H (водород)	560 000-620 000	Ru (рутений)	0,003-0,005
Li (литий)	0,04-0,51	Rh (родий)	-
Be (бериллий)	0,0005-0,002	Pd (палладий)	-
B (бор)	0,20-30	Ag (серебро)	0,5-10
C (углерод)	310 000-600 000	Cd (кадмий)	0,1-0,5
N (азот)	5 000-40 000	In (индий)	-
O (кислород)	240 000-430 000	Sn (олово)	0,2-0,3
F (фтор)	1,0-30	Sb (сурьма)	0,5-0,7
Na (натрий)	600-1 000	I (йод)	0,18-3,0
Mg (магний)	350-570	Xe (ксенон)	-
Al (алюминий)	5,3-110	Cs (цезий)	0,05-1,0
Si (кремний)	90,2-310	Ba (барий)	0,40-10
P (фосфор)	5 000-12 000	La (лантан)	1,0-1,5

Таблица 8.4

Уровни содержания химических элементов в пресноводных организмах, условно принимаемые за фоновые

S (сера)	1 000-3 000	Ce (церий)	1,2-2,3
Cl (хлор)	570-1200	Pr (празеодим)	-
Ar (аргон)	-	Nd (неодим)	-
K (калий)	2 000-30 000	Pm (прометрий)	-
Ca (кальций)	1100-300 000	Sm (самарий)	0,4-0,7
Sc (скандий)	0,02-0,4	Eu (европий)	0,02-0,7
Ti (титан)	15-35	Er (эрбий)	-
V (ванадий)	0,5-4,0	Tm (тулий)	-
Cr (хром)	2,3-5,4	Yb (иттербий)	0,2-0,4
Mn (марганец)	10,4-120	Lu (лютеций)	0,013-0,035
Fe (железо)	600-3500	Hf (гафний)	0,02-0,03
Co (кобальт)	0,04-0,4	Ta (тантал)	-
Ni (никель)	1,5-24	W (вольфрам)	0,002-0,01
Cu (медь)	2,5-60	Re (рений)	0,001-0,02
Zn (цинк)	80-230	Os (осмий)	-
Ga (галлий)	0,05-0,3	Ir (иридий)	0,00005
Ge (германий)	-	Pt (платина)	-
As (мышьяк)	0,03-0,8	Au (золото)	0,0005-0,006
Se (селен)	0,1-2,0	Hg (ртуть)	0,04-0,3
Br (бром)	1,5-30	Tl (таллий)	0,4-10
Rb (рубидий)	0,7-15	Pb (свинец)	0,3-1,8
Sr (стронций)	5-10	Bi (висмут)	0,007-0,5
Y (иттрий)	-	Po (полоний)	-
Zr (цирконий)	0,8-1,0	Ra (радий)	0,0000005
Nb (ниобий)	0,004-0,008	Th (торий)	0,3-0,7
Mo (молибден)	0,18-2,1	U (уран)	0,02-0,3
Tc (технеций)	-		

При изучении специфических реакций организмов на недостаток или избыток определенных химических элементов прежде всего следует выявить органы - индикаторы, то есть, критические органы, реакции которых прямо связаны с данными элементами.

В процессе изучения химии металлов и их биохимических циклов в биосфере обнаруживается двойственная роль, которую они играют в физиологии: с одной стороны, большинство металлов являются необходимыми для нормального течения жизни; с другой, при повышенных концентрациях они проявляют высокую токсичность, то есть,

оказывают вредное влияние на состояние и активность живых организмов [9].

Граница между необходимыми и токсичными концентрациями элементов весь расплывчата, что осложняет проведение достоверной оценки их воздействия на окружающую среду.

Количество, при котором некоторые металлы становятся действительно опасными, зависит не только от степени загрязнения ими экосистем, но также от химических особенностей каждого металла и от деталей его биохимического цикла (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Представительная последовательность молярной токсичности металлов

Организмы	Ряды токсичности
Водоросли	Hg>Cu>Cd>Fe>Cr>Zn>Co>Mn
Грибки	Ag>Hg>Cu>Cd>Cr>Ni>Pb>Co>Zn>Fe
Цветущие растения	Hg>Pb>Cu>Cd>Cr>Ni>Zn
Кольчатые черви	Hg>Cu>Zn>Pb>Cd
Рыбы	Ag>Hg>Cu>Pb>Cd>Al>Zn>Ni>Cr>Co>Mn>>Sr
Млекопитающие	Ag,Hg,Cd>Cu,Pb,Co,Sn,Be>>Mn,Zn,Ni,Fe,Cr>>Sr > Cs,Li,Al

Для каждого вида организма порядок расположения металлов в рядах таблицы слева направо отражает увеличение молярного количества металла, необходимого для проявления эффекта токсичности. Минимальная молярная величина относится к металлу с наибольшей токсичностью.

В настоящее время имеются сведения о мутагенном действии ряда металлов.

Для комплексной оценки воздействия элемента необходимо различать четыре уровня концентрации:

- дефицит элемента, когда организм страдает от его недостатка;
- оптимальное содержание, способствующее хорошему состоянию организма;
- терпимые концентрации, когда депрессия организма лишь начинает проявляться;
- губительные для данного организма.

Исходя из значимости для жизнедеятельности, разделили химические элементы на три группы:

- жизненно необходимые (незаменимые) элементы, постоянно содержащиеся в организме (входят в состав ферментов, гормонов и витаминов): H, O, Ca, N, K, P, Na, S, Mg, Cl, C, I, Mn, Cu, Co, Fe, Mo, V. Их дефицит приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности человека и животных;

- примесные элементы, постоянно содержащиеся в организме: Ga, Sb, Sr, Br, F, B, Be, Li, Si, Sn, Cs, Al, Ba, Ge, As, Rb, Pb, Ra, Bi, Cd, Cr, Ni, Ti, Ag, Th, Hg, U, Se. Биологическая роль их мало выяснена или неизвестна;

- примесные элементы, обнаруженные в организме: Sc, Tl, In, La, Pr, Sm, W, Re, Tb и др. Данные о количестве и биологическая роль не выяснены.

В зависимости от поведения в живых системах металлы можно разделить на пять типов:

- необходимые элементы, при недостатке которых в организме возникают функциональные нарушения;

- стимуляторы (в качестве стимуляторов могут выступать как необходимые, так и не необходимые для организма металлы);

- инертные элементы, при определенных концентрациях являющиеся безвредными, не оказывающими какого-либо действия на организм (например, инертные металлы, используемые в качестве хирургических имплантантов);

- терапевтические агенты, используемые в медицине;

- токсичные элементы, при высоких концентрациях приводящие к необратимым функциональным нарушениям, гибели организма.

В зависимости от концентрации и времени контакта металл может действовать по одному из указанных типов.

В ответ на поступление в организм избыточных концентраций элементов живой организм способен ограничивать или даже устранять возникающий при этом токсический эффект благодаря наличию определенных механизмов детоксикации [17].

Специфические механизмы детоксикации в отношении ионов металлов в настоящее время изучены недостаточно. Многие металлы в организме могут переходить в менее вредные формы следующими путями:

- образование нерастворимых комплексов в кишечном тракте;
- транспорт металла с кровью в другие ткани, где он может быть иммобилизован (как, например, Pb^{2+} в костях);
- превращение печенью и почками в менее токсичную форму.

Так, в ответ на действие токсичных ионов свинца, ртути, кадмия и др. печень и почки человека увеличивают синтез металлотионинов - белков невысокой молекулярной массы, в составе которых примерно 1/3 (из 61) аминокислотных остатков является цистеином. Высокое содержание и определенное расположение сульфгидрильных SH-групп обеспечивают возможность прочного связывания ионов металлов.

Механизмы токсичности металлов в целом хорошо известны, однако весьма сложно найти их для какого-либо одного конкретного металла.

Один из таких механизмов - конкуренция между необходимыми и токсичными металлами за обладание местами связывания в белках, так как ионы металлов стабилизируют и активируют многие белки, входя в состав многих ферментных систем.

Кроме того, многие белковые макромолекулы имеют свободные сульфгидрильные группы, способные вступать во взаимодействие с ионами токсичных металлов, таких как кадмий, свинец и ртуть, что приводит к возникновению токсических эффектов. Тем не менее, точно не установлено, какие именно макромолекулы при этом наносят вред живому организму.

Проявление токсичности ионов металлов в разных органах и тканях не всегда связано с уровнем их накопления - нет гарантии в том, что наибольший урон имеет место в том месте организма, где концентрация данного металла выше. Так, ионы свинца (II), будучи более чем на 90% от общего количества в организме иммобилизованными в костях, проявляют токсичность за счет 10%, распределенных в иных тканях организма. Иммобилизацию ионов свинца в костях можно рассматривать как процесс детоксикации.

Токсичность иона металла обычно не связана с его необходимостью для организма. Однако для токсичности и необходимости имеется одна общая черта: как правило, существует взаимозависимость ионов металлов друг от друга, равно как и между ионами металлов и неметаллов, в общем вкладе в эффективность их действия. Так, например, токсичность кадмия проявляется ярче в системе с недостаточностью по

цинку, а токсичность свинца усугубляется недостаточностью по кальцию. Сходным образом, адсорбцию железа из овощной пищи подавляют присутствующие в ней комплексообразующие лиганды, а избыток ионов цинка может ингибировать адсорбцию меди и т.д.

Определение механизмов токсичности ионов металлов часто осложняется существованием различных путей их проникновения в живой организм. Металлы могут попадать с пищей, водой, впитываться через кожу, проникать путем ингаляции и др.

Поглощение с пылью — вот главный путь проникновения при промышленном загрязнении. В результате вдыхания большинство металлов оседает в легких и только потом распространяется в другие органы. Но наиболее распространенный путь поступления токсичных металлов в организм - прием с пищей и водой.

При оценке токсичности тяжелых металлов для широкого спектра почвенных организмов обнаружено высокое видовое разнообразие экотоксикологических реакций. При этом не выявлено видов с универсальной чувствительностью, так как каждый вид отличается определенной чувствительностью только к определенному металлу или его форме.

8.2. Химический состав биосферы и здоровье человека

Органы человека по-разному концентрируют в себе различные химические элементы, то есть макро- и микроэлементы неравномерно распределяются между разными органами и тканями.

Большинство микроэлементов (содержание в организме находится в пределах 10^{-3} - $10^{-5}\%$) накапливается в печени, костной и мышечной тканях. Эти ткани являются основным депо для многих металлов.

Элементы могут проявлять специфическое сродство по отношению к некоторым органам и содержаться в них в высоких концентрациях. Известно, что цинк концентрируется в поджелудочной железе, йод - в щитовидной железе, ванадий наряду с алюминием и мышьяком накапливается в волосах и ногтях, кадмий, ртуть, молибден - в почках, олово - в тканях кишечника, стронций - в предстательной железе, костной ткани, марганец - в гипофизе и т. д.

В организме микроэлементы могут находиться как в связанном состоянии, так и в виде свободных ионных форм. Установлено, что

алюминий, медь и титан в тканях головного мозга находятся в виде комплексов с белками, тогда как марганец - в ионном виде.

Следует отметить, что обеспеченность организма химическими элементами зависит, прежде всего, от их поступления с пищей. Алиментарное поступление элементов может сильно варьировать в разных регионах, а также внутри одного региона, так как содержание макро- и особенно микро- и ультраэлементов в продуктах питания может значительно различаться.

Остановимся более подробно на рассмотрении токсического действия на здоровье человека высоких концентраций ряда тяжелых металлов.

Вне зависимости от форм химических соединений кадмия, поступающего в организм человека, направленность их действия и известные механизмы развития интоксикации близки.

Достижение близкого токсического эффекта при введении различных соединений кадмия связывают в основном с количеством свободных ионов Cd^{2+} . Существует предположение о биологической конкуренции данного элемента с цинком, которая определяет характер многих изменений в организме под воздействием Cd, а также защитное действие цинка при кадмиевой интоксикации.

Употребление риса и питьевой воды с высоким содержанием Cd в течение длительного промежутка времени привело к тяжелым костным заболеваниям (болезнь «итай-итай»).

Наиболее предрасположенным к поражению кадмием органом являются почки. Человек в течение жизни накапливает кадмий в почках - с 0 при рождении до 20 мг/кг в пожилом возрасте (для некурящих) и до 40 мг/кг для взрослого курящего человека.

В настоящее время установлены мутагенные, тератогенные и канцерогенные свойства данного элемента. Средние оценки количества кадмия, поступающего в организм с пищей, колеблются от 6 до 94 мкг в день. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает предельно-допустимым поступление кадмия 1 мкг на 1 кг массы тела в день.

Ртуть обладает широким спектром и большим разнообразием клинических проявлений токсического действия в зависимости от количества и свойств соединений, в виде которых она попадает в организм, а также пути поступления. В основе механизма действия ртути

лежит блокада биологически активных групп белковой молекулы (сульфгидрильных, аминных, карбоксильных и др.) и низкомолекулярных соединений с образованием обратимых комплексов, характеризующихся нуклеофильными лигандами.

По степени токсичности различают следующие формы соединений Hg:

- металлическую (элементарную) ртуть;
- неорганические соединений ртути;
- органические соединения ртути.

Металлическая ртуть представляет опасность для человека из-за возникающих ртутных паров.

Острые отравления парами Hg выражаются общей слабостью, головной болью, болями при глотании, металлическим вкусом во рту, повышенной температурой, катаральными явлениями со стороны дыхательных путей (ринит, фарингит, реже бронхит).

Затем развивается геморрагический синдром, присоединяются болезненность десен, резко выраженные воспалительные изменения полости рта, желудочные расстройства, признаки поражения почек, реже воспаление легких.

Отмечают высокую нейротоксичность паров ртути, особенно страдают высшие отделы нервной системы.

Неорганические соединения ртути мало летучи, поэтому опасность большей частью представляет поступление внутрь организма с пищей и водой, а также через кожу.

При воздействии на человека даже незначительно превышающих санитарную норму концентраций паров ртути или ее солей в течение нескольких месяцев, а иногда и лет возникает хроническое отравление - меркуриоз.

При хронических отравлениях в первую очередь поражается центральная нервная система, следствием чего является быстрая утомляемость, повышенная возбудимость, раздражительность, головные боли, ослаблении памяти.

Постепенно развивается усиливающееся при волнении дрожание (ртутный тремор) пальцев рук, затем век, губ, в тяжелых случаях - ног и всего тела.

Большое значение для диагностики ртутных отравлений имеет снижение кожной чувствительности, вкусовых ощущений и остроты обоняния.

Наиболее опасны ртутьорганические соединения, поскольку их токсическое действие проявляется и становится заметным лишь спустя несколько недель. При этом характерны эмоциональные и психические расстройства. Появляются возбудимость, раздражение, неспособность сосредоточиться, боязливость, чувство усталости, повреждения рас-судка, носовые кровотечения, поражения глаз.

У взрослых при попадании около 350 мг ртути может наступить смерть. Метилртуть относится к соединениям с ярко выраженным те-ратогенным действием.

Заболевание, связанное с отравлением метилртутью, носит название Минамата, что связано с массовыми поражениями людей в результате употребления в пищу рыбы с высоким содержанием ртути в 1953 - 1969 гг. годах в бухте Минамата (Япония).

Значение ПДК, установленное ВОЗ для ртути при поступлении в организм с пищей равно 5 мкг на 1 кг массы тела за неделю. Из них максимум 3,3 мкг в форме метилртути.

Основным источником поступления свинца в организм человека служат продукты питания (от 40 до 87% в разных странах и по различ-ным возрастным категориям); при этом важную роль играет поступле-ние с почвой и пылью, питьевой водой и вдыхаемым воздухом.

В среднем за сутки организм человека поглощает 26-42 мкг свинца. При этом около 90% общего количества элемента в человече-ском теле находится в костях, у детей - 60-70%. Основным диагности-ческим показателем воздействия свинца на здоровье человека является уровень его содержания в крови.

По мнению специалистов по токсикологии окружающей среды концентрация Pb в крови не должна превышать 15 мкг/100 мл, у бере-менных и детей - 7 мкг/100 мл. Уже при содержании 50-60 мкг/100 мл в поведении человека проявляются признаки депрессии, агрессивно-сти, а также ухудшение общего самочувствия.

Свинец вызывает хронические отравления с весьма разнообра-зными клиническими проявлениями: обладает способностью поражать центральную и периферическую нервную систему, костный мозг и

кровь, сосуды, синтез белка, генетический аппарат клетки и оказывать эмбриотоксическое действие.

Согласно классификации, утвержденной Министерством здравоохранения, выделено несколько форм свинцового отравления (сатурнизма):

- носительство (наличие свинца в организме без клинических проявлений);
- легкое отравление (изменения со стороны крови - ретикулоцитоз, базофильная зернистость эритроцитов; порфиринурия, астеновегетативный синдром);
- отравление средней тяжести (малокровие, токсический гепатит, свинцовая колика, выраженный астеновегетативный синдром);
- тяжелое отравление (нарастающее малокровие, колика, энцефалопатия, параличи).

В целом действие различных соединений Pb на человека и животных имеет сходный характер; разница в токсичности связана в основном с неодинаковой растворимостью в жидкостях организма.

Негативное действие соединения свинца усиливается при наличии в нем токсического аниона (например, большой токсичностью обладают ортоарсенаты и хроматы свинца).

Патологии, возникающие при избытке цинка в жизнеобеспечивающих средах, связаны большей частью с вторичным дефицитом кальция и других жизненно необходимых элементов.

Избыточное поступление цинка в организм животных и человека сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, а также нарушением усвоения фосфора, что приводит к развитию остеопороза.

Высокие концентрации цинка могут представлять мутагенную и онкогенную опасность. Вдыхание паров оксида цинка вызывает повышение температуры, боли в суставах и мышцах, озноб, кашель и др. (цинковая лихорадка).

Среднее содержание Zn в организме человека 1,4-2,3 г. Дневная норма его поступления в организм - 10-15 мг.

Медь относится к группе жизненно необходимых для живых организмов элементов. Однако при высоких уровнях содержания она обладает широким спектром токсического действия с многообразными клиническими проявлениями.

Решающую роль в механизме токсического действия меди играет способность ее ионов блокировать SH-группы белков, в особенности ферментов. Острая интоксикация ионами Cu^{2+} сопровождается выраженным гемолизом эритроцитов.

Содержание хрома в живом веществе составляет 7·10⁻⁵%. Хром относят к числу необходимых для жизнедеятельности человека и животных элементов. В организме человека содержится около 6 мг хрома, распределенного между многими тканями.

В настоящее время имеются данные, указывающие на участие хрома в метаболизме глюкозы и холестерина. Как показывают опыты на животных, недостаток хрома приводит к диабету, атеросклерозу, нарушениям роста. Cr^{6+} обладает гораздо большей токсичностью для живых организмов, чем Cr^{3+} .

В организме человека содержится около 10 мг никеля, а уровень содержания в плазме крови заключен в довольно узких пределах, что свидетельствует о гомеостазе и, возможно, о необходимости никеля. Пока необходимость никеля для человека достоверно не доказана.

Хроническая интоксикация никелем приводит к разрушению сердечной и других тканей. Причины никелевой токсичности связаны, вероятно, с блокировкой ферментов и взаимодействием данного элемента с нуклеиновыми кислотами.

При избытке стронция в организме поражаются прежде всего костная ткань, печень и кровь. Стронций по своим химическим свойствам близок к кальцию и способен замещать его в костной ткани. Наиболее характерное проявление токсического действия стронция - урсовская болезнь, проявляющаяся в повышенной ломкости и уродстве костей.

Предполагают, что рахитогенное действие Sr связано с блокированием биосинтеза одного из важных метаболитов витамина D и избыточным отложением фосфора в костях. Имеются данные о действии стронция как нервного и мышечного яда.

Наибольшую опасность для здоровья человека представляют радиоактивные изотопы стронция - Sr-89 и особенно Sr-90 (искусственные радионуклиды), результатом воздействия которых является облучение кроветворных органов (костного мозга), в конечном итоге приводящее к лейкемии и раку костей.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют элементы по их относительному содержанию в живых организмах? Какие элементы входят в состав каждой из групп?
2. Какие элементы называются биогенными?
3. Какие важнейшие неорганические и органические вещества входят в состав живых организмов?
4. Какие биологические функции выполняет вода?
5. Какие биологические функции выполняют минеральные соли?

Глава 9. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Биологическое загрязнение почв - это накопление в грунте слишком большого количества патогенных организмов.

К ним относятся грибы, бактерии, вирусы, водоросли, гельминты, насекомые или пыльца.

Если концентрация биомассы превышена, она представляет серьёзную опасность для окружающей среды и здоровья людей.

Источники биологического загрязнения почв:

- отходы животноводства;
- отстойники и накопители для сточных вод;
- стихийные свалки, где могут обитать крысы, бродячие собаки и другие опасные животные, переносящие заболевания человека и животных.

Последствия биологического загрязнения:

- некоторые биологические загрязнения вызывают аллергические реакции;
- инфекционные болезни, такие как грипп, корь, ветряная оспа, могут передаваться через воздух;
- бактерии и плесень выделяют вызывающие болезнь токсины.

Санитарно-биологическая чистота почвенного покрова - основополагающее условие оптимальной экологической ситуации для человека и животных.

В тоже время именно человек и животные являются первопричиной биологического загрязнения своих местообитаний, включая почвы.

По степени опасности биологическое загрязнение почв можно разделить на:

- микробиологическое,
- гельминтологическое
- энтомологическое.

Почва - основное место обитания микроорганизмов.

Видовое разнообразие почвенной микробной биоты составляет несколько тысяч видов. Несмотря на мизерный вес ($7 - 9 \cdot 10^{-14}$ г) общая биомасса их может достигать в целинных почвах 300 - 500 кг/га, а в окультуренных - 2 - 5 т/га.

Несмотря на то, что каждое таксономическое подразделение микроорганизмов несет определенное важное биологическое значение, многие микробы почвы являются опасными, а часто - губительными для человека.

Патогенная микрофлора — возбудители инфекционных заболеваний, которые в норме не присутствуют в организме человека.

Патогенные бактерии принципиально отличаются от условно-патогенных. Их наличие в организме всегда приводит к развитию заболевания, поэтому даже при обнаруженных в анализе незначительных количествах этих микроорганизмов назначается лечение.

Условно-патогенные бактерии — часть обычной микрофлоры человека.

Их отличительная черта — потенциальная, а не однозначная, опасность для здоровья. Патогенные качества они проявляют только при определённых обстоятельствах, при которых их количество существенно увеличивается.

В процессе эволюционного развития и адаптации к живым организмам патогенные микроорганизмы приобрели паразитические свойства.

Они связаны с растительным и животным миром, могут переходить с почвенной влагой в водоемы, воздушными потоками переноситься в атмосферу.

Болезнетворные микроорганизмы могут сохраняться в почвенной среде длительное время. Например, споры палочки сибирской язвы остаются жизнеспособными в почве до 15 лет. Благодаря этому почва может играть определенную эпидемиологическую роль в распространении отдельных инфекционных заболеваний.

При загрязнении вместе с почвой проникают споры возбудителей газовой гангрены и столбняка. Немаловажное значение имеет почва для последовательной передачи инфекций во внешней среде, так как попавшие в нее патогенные микроорганизмы в дальнейшем распространяются через воду, растительную продукцию, вызывая холеру, дизентерию, тиф и т.д. или посредством насекомых, грызунов, скота, провоцируя туляремию, чуму, сибирскую язву и т. д.

Кроме того, болезнетворные микроорганизмы вместе с пылевыми частицами могут попадать в дыхательные пути человека, вызывая пневмонию, скарлатину, туберкулез, микозы и др.

Учитывая особое эпидемиологическое значение почвы, выявляется необходимость постоянного глубокого анализа ее санитарно-бактериологического состояния.

Почвы несут в себе высокий потенциал различных групп патогенных микроорганизмов. Особенно он велик вблизи крупных городских центров, населенных мест с развитой сельскохозяйственной промышленностью.

Кокки представляют собой обширную группу микроорганизмов, в которую входят стафилококки, стрептококки и различные диплококки. В этой группе объединены патогенные представители - возбудители разнообразных заболеваний человека и животных и их исторические предки - сапрофитные виды. Все они являются родственными организмами, о чем свидетельствует сходство их мифологии и ряда биологических свойств.

В почвах распространены болезнетворные разновидности стафилококков (рис. 9.1): *Staphylococcus albus*, *Staph. aureus*, *Staph. citreus*. Они являются возбудителями воспалительно-гнойных заболеваний кожных покровов в виде фурункулов, карбункулов, панарициев, абсцессов, флегмон и др. Нередко наблюдаемый некроз ткани - также следствие действия стафилококкового некротоксина.



Рис. 9.1 Различные формы бактерий

Энзиматические продукты стафилококка подавляют фагоцитоз и способствуют инвазии возбудителя в глубжележащие ткани, кости, внутренние органы (печень, почки и др.).

Патогенные стафилококки оказываются наиболее частой причиной нагноения ран и возбудителями вторичных инфекций верхних дыхательных путей.

При загрязнении пищевых продуктов могут вызывать пищевые токсикоинфекции. Стафилококки являются возбудителями различных воспалительно-гнойных заболеваний и у животных.

В значительных количествах в почвах обнаруживаются паразитарные стрептококки:

- гемолитический (*Streptococcus haemolyticus*),
- зеленающий (*Strept. viridans*),
- негемолитический (*Strept. anhaemolyticus*)
, а также энтерококки:
- *Streptococcus faecalis*,
- *Strept. faecium*
- *Strept. durans*.

Наибольшее значение в патологии человека имеют гемолитические стрептококки. Входными воротами для них могут быть любое повреждение кожи, слизистой оболочки, протоки сальных и потовых желез, волосяные мешочки.

Возникшая здесь локализованная гнойно-воспалительная реакция (абсцессы, флегмоны, рожистые воспаления и др.) благодаря сильным инвазионным свойствам гемолитического стрептококка может распространяться по лимфатическим путям до регионарных лимфатических узлов, вызывая их воспаление и нагноение (лимфангоиты и лимфадениты).

В ослабленном организме стрептококки являются причиной инфекций, поражая различные органы (среднее ухо, верхние дыхательные пути, легкие, почки и др.).

При проникновении в кровь гемолитический стрептококк оказывается самым частым возбудителем сепсиса.

Стрептококки, в частности зеленающий стрептококк, - наиболее частые возбудители ангин (тонзиллитов). Следствием этого заболевания могут быть тяжелые поражения клапанов сердца (эндокардиты) и ревматизм.

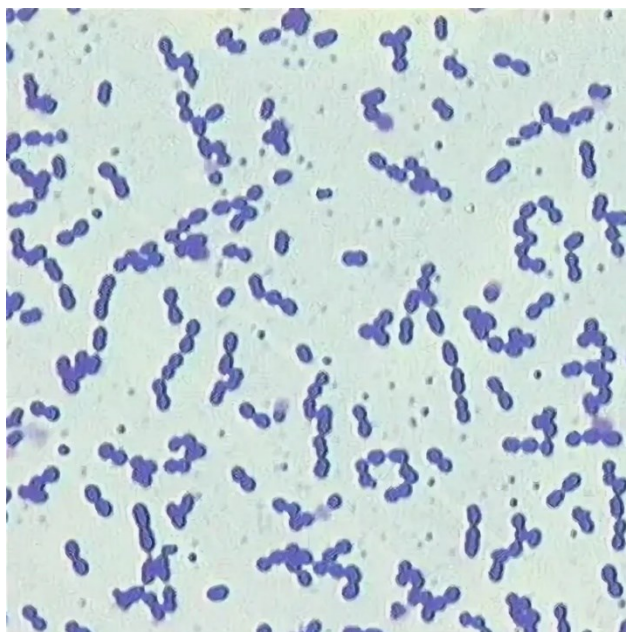


Рис. 9.2 Энтерококки

Энтерококки могут вызывать воспалительные процессы в желчном пузыре, двенадцатиперстной кишке, мочевыводящих путях, энтероколитах у детей, эндокардиты, обуславливать инфекцию из кишечника, например, холецистит, аппендицит, цистит (рис. 9.2).

Энтерококк является санитарно-показательным микроорганизмом при оценке наличия фекального загрязнения объектов внешней среды (почвы, воды, пищевых продуктов). Стрептококковыми инфекциями поражаются многие виды животных (мыт у лошадей, мастит у коров, энтероколитах у собак и др.).

При загрязнении органическими веществами в почве в значительных количествах обнаруживают микроорганизмы семейства кишечных бактерий (*Enterobacteriaceae*). Это семейство включает большую группу микробов, в состав которой входят патогенные, условно-патогенные и сапрофитные виды.

Историческим родоначальником семейства является патогенная кишечная палочка (*Escherichia coli*) - постоянный обитатель кишечника животных и человека, от которой в процессе эволюции паразитизма произошли все другие представители этой группы.

К патогенным бактериям семейства *Enterobacteriaceae* относятся возбудители брюшного тифа, паратифозных заболеваний и дизентерии.

Несмотря на то, что все указанные бактерии отличаются неодинаковой степенью патогенности и вызывают различные заболевания, всех их объединяют общие черты сходства.

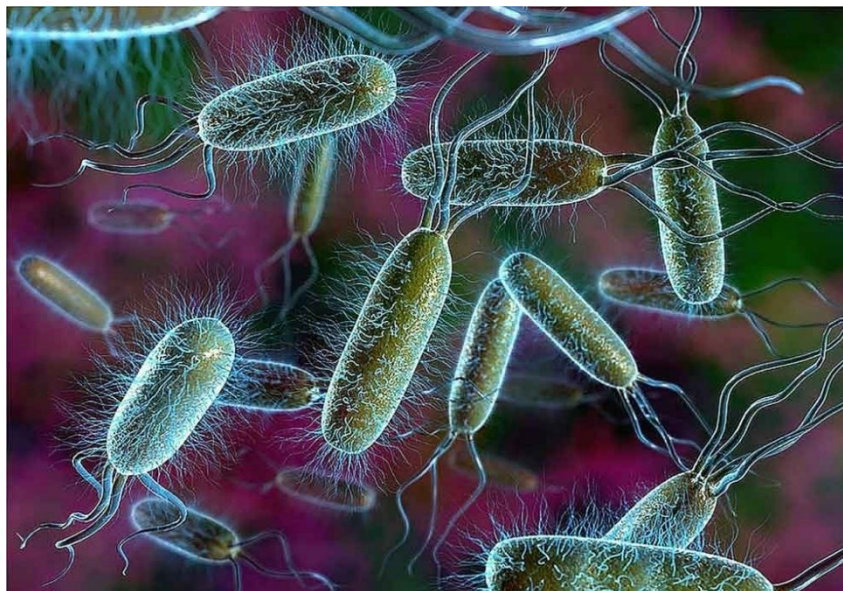


Рис. 9.3 Кишечная палочка

Группа кишечных палочек (рис. 9.3) включает семь видов, различающихся по своей ферментативной активности и различной степени патогенности: *Bact. coli commune* (*Escherichia coli*), *Bact. aerogenes*, *Bact. coli citrovorum*, *Bact. cloacal*, *Bact. coli anaerogenes*, *Bact. aquatilis*, *Bact. paracoli*.

Кишечная палочка относится к так называемым условно-патогенным микробам. В своей естественной среде обитания - кишечнике - она является комменсалом и, несомненно, играет положительную роль. Однако при понижении резистентности организма может проявиться патогенное действие кишечной палочки. У маленьких детей в этих случаях кишечная палочка, проникая в верхние отделы тонкого кишечника, вызывает тяжелые кишечные заболевания.

Особенно велика роль ее как патогенного фактора у новорожденных, у которых она нередко является причиной токсико-септических заболеваний. Проникая из кишечника в другие органы, кишечная палочка может вызывать в них различные воспалительные процессы, иногда и сепсис.

При массивном загрязнении пищевых продуктов кишечной палочкой возникают пищевые отравления. В патогенезе заболеваний, вызываемых кишечной палочкой, играют роль ее токсины: термостабильный эндотоксинэнтеротропный яд и термолабильный экзотоксин - нейротропный яд.

Помимо условно-патогенных кишечных палочек, вызывающих заболевания, не передающиеся от больного к здоровому, встречаются серологические типы ее, обладающие свойствами патогенных микроорганизмов. Они являются причиной кишечных заболеваний - колиэнтеритов маленьких детей, среди которых при наличии неблагоприятных санитарных условий могут возникать эпидемические вспышки.

С целью установления степени загрязненности почвы, воды, пищевых продуктов и т. д. в них определяют наличие кишечной палочки. Результаты анализа выражают в коли-титре или коли-индексе. Колититр - наименьшее количество субстрата (почвы, воды, пищевых продуктов), в котором содержится хотя бы одна кишечная палочка, колииндекс - количество кишечных палочек, содержащихся в 1 г твердых веществ и в 1 л жидкости.

В почвенном «микробном депо» обнаруживают свое присутствие возбудители тифопаратифозных (*Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi A* и *Salmonella paratyphi B*.) и дизентерийных (*Sigella dysenteriae*) заболеваний.

Брюшной тиф представляет собой тяжелое заболевание, сопровождающееся длительной лихорадкой, помрачением сознания и поражением солитарных фолликулов и пейеровых бляшек тонкого кишечника. Паратифозные заболевания протекают менее тяжело и менее продолжительно.

Заражение человека происходит в результате проникновения микробов в организм человека через рот. Микробы попадают в тонкий кишечник, из просвета тонкой кишки проникают в брыжеечные лимфатические узлы, из них - в кровь. Эта фаза совпадает с началом лихорадочного периода.

В организме накапливается большое количество эндотоксинов вследствие бактерицидного действия крови и разрушения бактерий в лимфатических узлах.

Эндотоксины обуславливают интоксикацию организма: тифозное состояние, повышение температуры, нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы и т. д. Током крови микробы разносятся по всему организму, переходят из печени в желчный пузырь, где разносятся и длительно сохраняются. Из желчного пузыря сальмонеллы вновь попадают в кишечник. Проникнув в уже сенсibilизированные пейеровы бляшки и солитарные фолликулы, микробы вызывают в них аллергическую реакцию и специфические для брюшного тифа патологоанатомические изменения.

Развитие инфекционного процесса с момента возникновения вызывает ответную защитную реакцию, интенсивность которой определяет собой дальнейшее течение заболевания и тяжесть его.

Заканчивается заболевание фазой реконвалесценции и восстановлением физиологического равновесия организма.

При массовом загрязнении почвы, воды и продуктов создаются возможности для возникновения эпидемических вспышек. При санитарных обследованиях в почвах обнаруживаются холерные вибрионы (*Vibrio cholerae* - *asiaticus*), вызывающие острое инфекционное заболевание - холеру, которое поражает только человека и характеризуется резко выраженным гастроэнтеритом, обезвоживанием организма и явлениями общей интоксикации.

Заболевание протекает обычно очень тяжело, с высокой летальностью, достигающей до 40 - 50%.

Несмотря на то, что почва не является естественной средой обитания большинства патогенных микроорганизмов, болезнетворные микробы широко распространены в почвенных субстратах, способны длительное время в них сохраняться (до нескольких лет), играя значительную роль в возникновении эпидемий.

В черноземах довольно часто распространены патогенные анаэробные и аэробные бактерии. Из группы анаэробов следует выделить возбудителей газовой гангрены - раневой инфекции, вызываемой обычно ассоциацией из нескольких видов патогенов и реже одним из них (рис. 9.4).

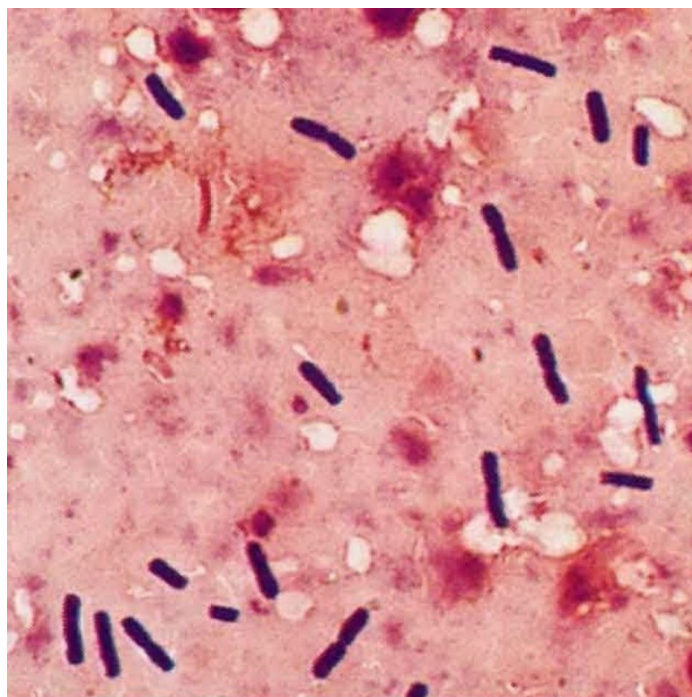


Рис. 9.4 Клостридии газовой гангрены

По частоте обнаружения в почве возбудителей газовой гангрены микроорганизмы располагаются в почве в следующем порядке:

- 1) *Clostridium perfringens* - 100%,
- 2) *Cl. oede- matiens* - 64%,
- 3) *Cl. septicum* - 8%,
- 4) *Cl. histolyticum* - 2%.

Заболевания возникают в результате проникновения в рану спор указанных микробов с почвой. Активно размножаясь, они образуют сильные экзотоксины.

Действием токсинов анаэробов обусловлены характерные признаки газовой гангрены - отек и газообразование в ткани, разрушение мышечной и соединительной ткани. Одновременно токсины действуют и на весь организм, вызывая общее тяжелое состояние. Проявляют свое действие и другие продукты анаэробов, а также токсические продукты тканевого разложения.

Cl. perfringens, кроме газовой гангрены, обнаруживается при гангрене, аппендиците, холецистите, заболеваниях мочеполовой системы, при воспалительных процессах ротовой полости, уха и т. д., при пищевых отравлениях.

Бациллы столбняка обнаружены А. Николайером в 1884 г. в содержимом ран и в 1889 г. получены С. Китагато в чистой культуре.

Столбняк - острая раневая инфекция, основным признаком которой является поражение нервной системы токсином возбудителя *Cl. teteni*. Заболевание возникает в результате загрязнения ран почвой, содержащей споры палочек столбняка (в военное время и при других травмах).

В естественных условиях столбняком поражаются человек и лошадь, однако восприимчивы и многие другие животные: козы, собаки, кошки, лабораторные животные - морские свинки, мыши, кролики.

Нечувствительны к столбнячному токсину птицы и холоднокровные животные. Однако при переохлаждении птиц и перегревании холоднокровных легко получить симптом столбняка и у них (рис. 9.5).

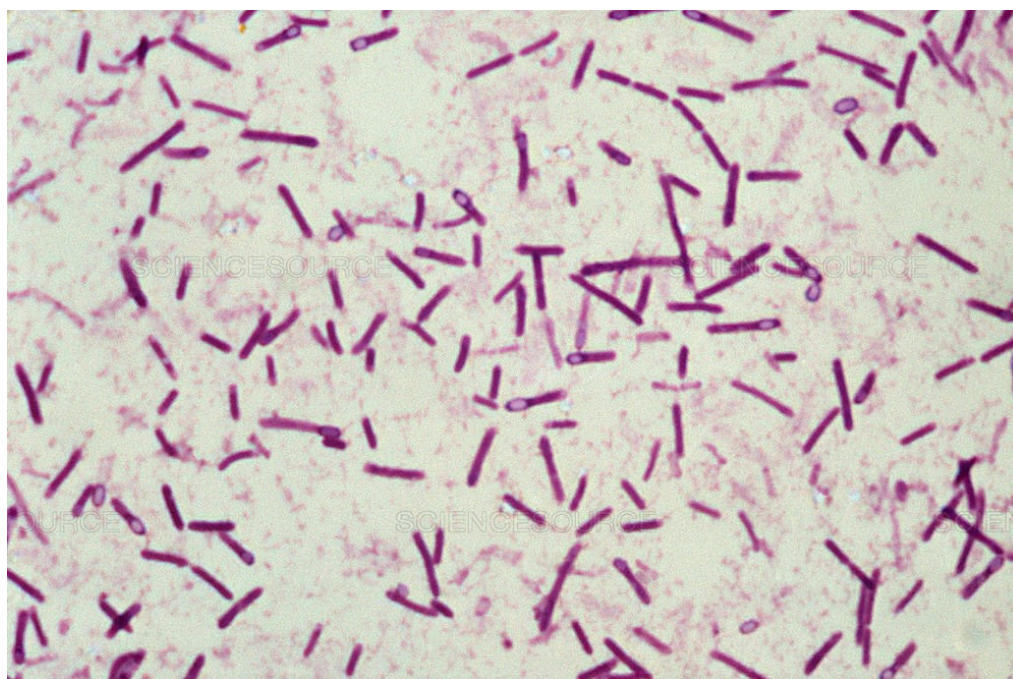


Рис. 9.5 Бациллы ботулизма (*Clostridium botulinus*)

Другими агентами патогенной анаэробной микрофлоры, присутствующими в почве, являются бациллы ботулизма (*Clostridium botulinus*).

Споры этих микробов, попав в загрязненные землей пищевые продукты, прорастают в них в условиях анаэробно-биоза в вегетативные формы, образующие экзотоксин, который вызывает отравление и поражение центральной нервной системы (черепно-мозговые нервы).

Из наиболее ранних симптомов наблюдаются расстройства зрительной сферы (вялая реакция на свет, неправильная форма зрачков,

двоение предметов, косоглазие, опущение века и др.), затем расстройство глотания, сиплость голоса, ослабление слуха. Одновременно наступают зрительные расстройства. В поздней стадии присоединяются нарушения, а затем паралич дыхания, являющийся причиной смерти. Летальность при ботулизме без специфического лечения достигает 85%.

Токсины *Cl. botulinum* отличаются исключительной силой, во много раз превосходящей ядовитостью все другие бактериальные токсины и химические яды. Так, в 1 г высушенного, очищенного кристаллического токсина содержится свыше 30 млн. минимальных смертельных доз для человека.

В мясных пищевых консервах сохраняется в течение 6 - 8 месяцев. Ботулизмом через загрязненный корм поражаются и животные - лошади, крупный рогатый скот, свиньи, куры, утки и др.

Почвенные очаги сибирской язвы существуют в течение многих десятков лет. Вероятность активизации очагов находится в зависимости от множества факторов, в том числе и от почвенно-климатических условий. Это острое инфекционное заболевание, вызываемое аэробными сибиреязвенными бациллами (*Bac. anthracis*), поражает преимущественно травоядных животных.

Человек мало восприимчив к сибирской язве. Заражение происходит при различных формах контакта с больными животными, при обработке животного сырья или употреблении в пищу зараженных продуктов животного происхождения. Сибирская язва у человека встречается в трех формах: кожной, легочной и кишечной.

Большинство микроскопических грибов, обитающих в почве, являются сапрофитами, и только немногие из них патогенны для человека и животных. Чаще всего они вызывают различные поражения кожных покровов, волос и ногтей, но встречаются виды, которые поражают внутренние органы, провоцируют аллергические заболевания. Заболевания, вызываемые грибами, носят названия микозов.

Гельминтологические показатели определяют степень фекального загрязнения почвы, т.е. позволяют оценить степень и давность загрязнения почвы. Обнаружение большого количества яиц гельминтов указывает на недавнее загрязнение.

Оценивая давность загрязнения, следует учитывать сроки развития и продолжительность выживания яиц гельминтов в почве. Так,

например, яйца аскарид могут сохранять жизнеспособность до 10 лет. Для других гельминтов этот срок исчисляется месяцами (3-4) или днями. Нахождение небольшого количества деформированных яиц аскарид может служить показателем, подтверждающим давнее загрязнение (рис. 9.6).



Рис. 9.6 Гельминты

Гельминтологические исследования внешней среды используют при проведении контроля за содержанием детских, лечебных, оздоровительных учреждений, пищевых предприятий и т.д., где возможен контакт людей с загрязненной почвой (детские площадки, огороды, сады, парки, оранжереи). Эти исследования проводят также при оценке эффективности работы сооружений по обезвреживанию жидких и твердых отходов (поля ассенизации и захоронения, усовершенствованные свалки, поля компостирования, мусороперерабатывающие заводы).

Санитарно-показательными гельминтами считаются: аскариды, власоглавы, анкилостомы. Для некоторых районов, где отсутствуют или редко встречаются геогельминтозы, показателем фекального загрязнения может быть наличие яиц биогельминтов: онкосфертиид, яиц широкого лентеца и др.

Загрязнение почвы населенных мест органическими отходами ведет к размножению синантропных мух, видовой состав которых в различных климатических зонах варьирует. Во всех климатических зонах наиболее широко распространена комнатная муха. Она является переносчиком кишечных инфекций человека, как и другие виды мух: домовые, малые комнатные, падальные, серые и зеленые мясные.

Учет численности окрыленных мух можно проводить для оценки эффективности мероприятий по санитарной очистке и по борьбе с мухами. Кроме того, он дает возможность установить место вылода и видовой состав мух. Такой учет проводится систематически на протяжении весенне-летнего периода.

Многие микроорганизмы, обитающие в почвах, являются патогенными: они опасны и даже губительны для человека и животных. Болезнетворность организмов в почвенной среде может сохраняться длительное время.

В связи с этим почва играет определенную эпидемиологическую роль в распространении отдельных инфекционных заболеваний.

Немаловажное значение имеют почвы для последовательной передачи инфекций во внешней среде, так как попавшие в них патогенные микробы в дальнейшем распространяются через воду и растительную продукцию, вызывая холеру, дизентерию, тиф и т. д. или посредством насекомых, грызунов, скота и других животных, провоцируя туляремию, чуму, сибирскую язву и т.п. Вместе с почвой в организмы проникают споры возбудителей газовой гангрены и столбняка. Болезнетворные микроорганизмы могут попадать в дыхательные пути человека вместе с пылеватыми частицами почвенного происхождения, вызывая пневмонию, скарлатину, туберкулез, микозы и др.

Почвенный фактор играет специфическую роль в передаче разного начала для некоторых видов геогельминтов (анкилостомиды, аскариды, власоглав). Существенна роль почвы в сохранении спорных форм возбудителей сибирской язвы, столбняка и газовой гангрены.

Заражение почвы бактериями сибирской язвы вызывает кожную форму заболевания на ногах у лиц, ходящих босиком. Большое эпидемиологическое значение имеет загрязнение почвы для развития раневых инфекций и, в меньшей степени кишечных инфекций.

Важно знать: почвы имеют особое эпидемиологическое значение и требуют постоянного глубокого анализа их санитарно-бактериологического состояния. Особенно велик потенциал патогенных микроорганизмов вблизи крупных городских центров, населенных мест с развитым сельскохозяйственным производством.

Контрольные вопросы

1. Причины и виды загрязнения почвы и их биоиндикация.
2. Физическое, химическое и биологическое загрязнение почвы.
3. Классификации загрязнения почвы.
4. Причины физических нагрузок на почву.
5. Химическое загрязнение почвы и группы загрязнителей.

Глава 10. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

10.1. Радиоактивное загрязнение почвы

В почвах присутствуют почти все известные в природе химические элементы, в том числе и радионуклиды.

Радиоактивное загрязнение почвы – это превышение в ней концентрации радионуклидов над показателями предельно допустимой нормы вследствие антропогенной деятельности.

Загрязненные территории характеризуются значительным превышением доз внешнего и внутреннего облучения.

Загрязнённые территории — это территории, которые подверглись загрязнению в результате комплексного действия ряда факторов, таких как загрязнения почвенного покрова, загрязнения естественной и культурной растительности, загрязнения воздушной среды и воды в пределах определённой анализируемой территории.

Загрязнённые земли — это земли, содержащие загрязняющие вещества выше фонового уровня.

Радионуклиды - химические элементы, способные к самопроизвольному распаду с образованием новых элементов, а также образованные изотопы любых химических элементов.

Радиация — это ионизирующее излучение, которое образуется при распаде радиоактивных частиц.

Радиация – это любое излучение, то есть поток энергии в виде частиц или волн.

Источники радиации разделяют на естественные и искусственные:

- Естественный радиационный фон окружает человека повсюду: фонит почва, вода, воздух и даже космос.
- Искусственные источники представлены рентгеновскими аппаратами, томографами, радиофармацевтическими препаратами и другими.

В зависимости от того, как, когда и в каком объёме радиация воздействует на человека, она может быть нейтральной, полезной или губительной. Малые дозы радиации, которым ежедневно подвергается человек, никак не отражаются на здоровье.

Воздействие радиации невозможно почувствовать или увидеть, определить её уровень можно только специальными приборами. 3

Следствием ядерного распада является ионизирующая радиация в виде потока альфа-частиц (поток ядер гелия, протонов) и бета-частиц (поток электронов), нейтронов, гамма-излучение и рентгеновское излучение. радиоактивность.

Радиоактивный элемент — химический элемент, все изотопы которого радиоактивны.

Радиоактивность — это самопроизвольное превращение нестабильного ядра в другие ядра, сопровождающееся испусканием частиц.

Радиоактивность почв — это способность почвенных тел к самопроизвольному испусканию частиц различной природы (заряженных и незаряженных, рентгеновских лучей, гамма-квантов, нейтронов и т. п.).

Радиоактивность почв обусловлена превращением ядер нестабильных радиоактивных элементов, содержащихся в почве, в ядра других атомов (до стабильных).

Различают природную (естественную) и искусственную (техногенную) радиоактивность почв.

Радиоактивными элементами являются все элементы, идущие в таблице Менделеева после свинца (включая висмут), а также элементы технеций и прометий.

Ионизирующее излучение — это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Таковыми свойствами обладают радиоактивные излучения, излучения высоких энергий, рентгеновские лучи и др..

К ионизирующему излучению не относятся видимый свет и ультрафиолетовое излучение. Инфракрасное излучение и излучение радиодиапазонов также не являются ионизирующими, поскольку их энергии недостаточно для ионизации атомов и молекул в основном состоянии.

Основные виды ионизирующего излучения:

- Альфа-излучение. Поток альфа-частиц (ядер атомов гелия).
- Бета-излучение. Поток электронов.
- Гамма-излучение. Коротковолновое электромагнитное излучение.

Источники ионизирующего излучения могут быть:

- природными

- искусственными.

Природные источники — это радиоактивные элементы, находящиеся в земной коре и образующие природный радиационный фон вместе с космическим излучением.

Искусственные источники образуются в ядерных реакторах или ускорителях на основе ядерных реакций.

В больших дозах ионизирующее излучение может повредить клетки или органы тела или даже привести к смерти.

Ионизирующее излучение - поток заряженных или нейтральных частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации и возбуждению ее атомов и молекул.

Ионизирующие излучения имеют электромагнитную (гамма- и рентгеновское излучения) и корпускулярную (альфа-излучение, бета-излучение, нейтронное излучение) природу.

Гамма-излучение - это электромагнитное излучение, обусловленное гамма-лучами (дискретными пучками), если после альфа- или бета-распада ядро остается в возбужденном состоянии (рис. 10.1).

Гамма-лучи в воздухе могут проходить значительные расстояния.



Рис. 10.1 Гамма излучение

Фотон гамма-лучей с высокой энергией может проходить сквозь тело человека. Интенсивное гамма-излучение может повредить не только кожу, но и внутренние органы. Защищают от этого излучения плотные и тяжелые материалы, железо, свинец.

Гамма-излучение можно создавать искусственно в ускорителях зараженных частиц (микротрон), например, тормозное гамма-излучение быстрых электронов ускорителя при их попадании на мишень.

Рентгеновское излучение - аналогично гамма-излучению. Космическое рентгеновское излучение поглощается атмосферой.

Рентгеновские лучи получают искусственно, они приходятся на нижнюю часть энергетического спектра электромагнитного излучения.

Радиоактивное излучение - естественный фактор в биосфере для всех живых организмов, да и сами живые организмы обладают определенной радиоактивностью.

Среди биосферных объектов почвы обладают наиболее высокой естественной степенью радиоактивности.

В этих условиях природа благоденствовала многие миллионы лет, разве что в исключительных случаях при геохимических аномалиях, связанных с месторождением радиоактивных пород.

Однако, в XX человечество столкнулось с радиоактивностью, запредельно превышающей естественную, а, следовательно, и биологически анормальную.

Наиболее значимыми объектами биосферы, определяющими биологические функции всего живого, являются почвы.

Радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радионуклидов.

Различают естественную и искусственную радиоактивность.

Естественная радиоактивность почв вызывается естественными радиоактивными изотопами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах и почвообразующих породах. Естественные радионуклиды подразделяют на 3 группы.

Первая группа включает радиоактивные элементы - элементы, все изотопы которых радиоактивны: уран (^{238}U , ^{235}U), торий (^{232}Th), радий (^{226}Ra) и радон (^{222}Rn , ^{220}Rn).

Во вторую группу входят изотопы «обычных» элементов, обладающие радиоактивными свойствами: калий (^{40}K), рубидий (^{87}Rb), кальций (^{48}Ca), цирконий (^{96}Zr) и др.

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

По способу и времени образования радионуклиды подразделяют на:

- первичные - образовавшиеся одновременно с образованием планеты (^{40}K , ^{48}Ca , ^{238}U);
- вторичные продукты распада первичных радионуклидов (всего 45 - ^{232}Th , ^{235}U , ^{220}Rn , ^{222}Rn , ^{226}Ra и др.);
- индуцированные - образовавшиеся под действием космических лучей и вторичных нейтронов (^{14}C , ^3H , ^{24}Na).

Всего насчитывают более 300 природных радионуклидов (Бударков и др., 2000).

Валовое содержание естественных радиоактивных изотопов в основном зависит от почвообразующих пород.

Почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания кислых пород, содержат радиоактивных изотопов больше, чем образовавшиеся на основных и ультраосновных породах; тяжелые почвы содержат их больше, чем легкие.

Естественные радиоактивные элементы распределяются по профилю почв обычно относительно равномерно, но в некоторых случаях они аккумулируются в иллювиальных и глеевых горизонтах. В почвах и породах присутствуют преимущественно в прочносвязанной форме.

Искусственная радиоактивность почв обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате атомных и термоядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности или в результате аварий на атомных предприятиях.

Образование изотопов в почвах может происходить вследствие наведенной радиации. Наиболее часто искусственное радиоактивное загрязнение почв вызывают изотопы ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{129}I , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{140}Ba , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{137}Cs и др.

Включаясь в биологический круговорот, радионуклиды через растительную и животную пищу попадают в организм человека и, накапливаясь в нем, вызывают радиоактивное облучение.

Радионуклиды, подобно многим другим загрязняющим веществам, постепенно концентрируются в пищевых цепях.

В экологическом отношении наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs . Это обусловлено длительным периодом полураспада (28 лет ^{90}Sr и 33 года ^{137}Cs), высокой энергией излучения и способностью легко включаться в биологический круговорот, в цепи питания.

Стронций по химическим свойствам близок к кальцию и входит в состав костных тканей, а цезий близок к калию и включается во многие реакции живых организмов.

Искусственные радионуклиды закрепляются в основном (до 80-90%) в верхнем слое почвы: на целине - слое 0-10 см, на пашне - в пахотном горизонте. Наибольшей сорбцией обладают почвы с высоким содержанием гумуса, тяжелым гранулометрическим составом, богатые монтмориillonитом и гидрослюдами, с непромывным типом водного режима. В таких почвах радионуклиды способны к миграции в незначительной степени.

По степени подвижности в почвах радионуклиды образуют ряд
 $^{90}\text{Sr} > ^{106}\text{Ru} > ^{137}\text{Ce} > ^{129}\text{J} > ^{239}\text{Pu}$.

Скорость естественного самоочищения почв от радиоизотопов зависит от скоростей их радиоактивного распада, вертикальной и горизонтальной миграции.

***Период полураспада радиоактивного изотопа* - время, необходимое для распада половины количества его атомов**

Действие радиации зависит от энергии излучения, то есть числа частиц, вылетающих в единицу времени. Сила излучения измеряется в беккерелях или кюри. Единицы измерения - беккерель (1 Бк = 1 распад в секунду) или кюри (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк).

Дозу излучения, поражающую организм, находят путем измерения количества поглощенной им энергии. В качестве единицы радиоактивности используют также: Кл/кг (1 Кл/кг = $3,9 \cdot 10^3$ рентген); грей (1 Гр = 100 рад); зиверт (1 Зв = 100 бэр).

Максимальные дозы, не причиняющие вреда организму человека, в случае их многократного действия равны 3 - 10^3 Гр (0,3 рад) в неделю и в случае единовременного действия - 0,25 Гр (25 рад).

В дозиметрии почв используют следующие понятия: удельная (Бк/кг), объемная (Бк/м³) и поверхностная (Бк/м²) радиационная активность. Чаще всего на практике об уровне радиоактивности судят по

гамма- излучению, в силу его наибольшей проникаемости и распространяемости в окружающей среде.

1 Рентген - это такая доза фотонного излучения, при которой в 1 см³ воздуха в процессе ионизации образуется $2,079 \cdot 10^9$ пар ионов каждого знака. Основные физические величины, используемые в радиобиологии и радиоэкологии приведены в табл. 9.

Обычный уровень радиации в Ростовской области и Краснодарском крае составляет 10-15 мкР/час. Сравним, в районах Чернобыльской катастрофы, самозаселяемых сейчас и посещаемых туристами, уровень радиации - 1-1,5 тысяч мкР.

Радиоактивность в живых организмах обладает накопительным эффектом.

Накопительный эффект— это способность химических веществ накапливаться в окружающей среде в течение долгого времени.

Для человека величина ЛД50 (летальная доза, облучение в которой вызывает 50%-ную гибель биообъектов) составляет 2,5-3,5 Гр.

Доза 0,25 Гр считается условно нормальной для внешнего облучения. 0,75 Гр облучение всего тела человека или 2,5 Гр облучение щитовидной железы от радиоактивного йода ¹³¹I требуют мер по радиационной защите населения.

Особенность радиоактивного загрязнения почвенного покрова заключается в том, что количество радиоактивных примесей чрезвычайно мало, и они не вызывают изменений основных свойств почвы - рН, соотношения элементов минерального питания, уровня плодородия. Поэтому, в первую очередь, следует лимитировать (нормировать) концентрации радиоактивных веществ, поступающих из почвы в продукцию растениеводства.

Поскольку в основном радионуклиды являются тяжелыми металлами, то основные проблемы и пути нормирования, санации и охраны почв от загрязнения радионуклидами и тяжелыми металлами в большей степени сходны и зачастую могут рассматриваться вместе.

Таким образом, радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радионуклидов.

Естественная радиоактивность почв вызвана естественными радиоактивными изотопами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах и почвообразующих породах.

Искусственная радиоактивность почв обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате атомных и термоядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности или в результате аварий на атомных предприятиях.

Наиболее часто искусственное радиоактивное загрязнение почв вызывают изотопы ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{129}I , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{140}Ba , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{137}Cs и т. д. Интенсивность радиоактивного загрязнения на конкретной территории определяется двумя факторами:

- концентрацией радиоактивных элементов и изотопов в почвах;
- природой самих элементов и изотопов, которая в первую очередь детерминируется периодом полураспада.

В экологическом отношении наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs . Они прочно закрепляются в почвах, характеризуются длительным периодом полураспада (^{90}Sr - 28 лет и ^{137}Cs - 33 года) и легко включают ся в биологический круговорот как элементы, близкие к Ca и K.

Накапливаясь в организме, они являются постоянными источниками внутреннего облучения.

Техногенные радионуклиды в качестве загрязнителей биосферы впервые появились в процессе создания ядерного оружия, его применения и последующих широкомасштабных испытаний.

Вследствие резкого сокращения с середины 1960-х гг. числа ядерных испытаний произошло снижение интенсивности глобальных выпадений, и в то же время возросло количество радионуклидов, поступающих в окружающую среду в результате работы предприятий атомной энергетики.

При возникновении аварийных ситуаций на объектах ядерного топливного цикла, сопровождающихся выбросом радиоактивных веществ, загрязнению подвергаются природные экосистемы на значительной территории, что приводит к серьезным экологическим и, как следствие, тяжелым социально-экономическим последствиям (рис. 10.2).

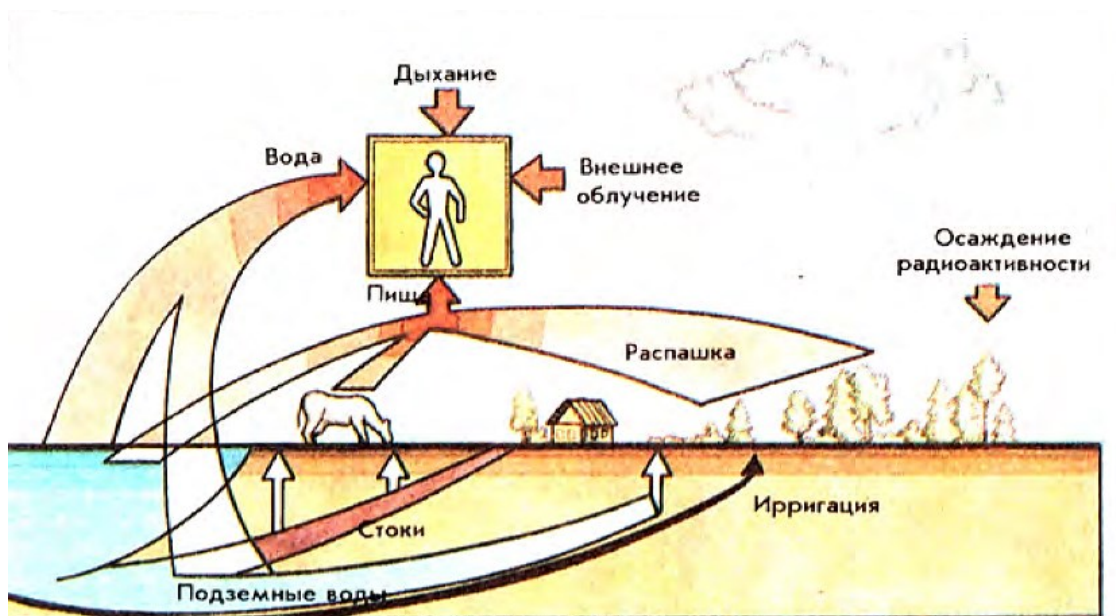


Рис. 10.2 Круговорот радиоактивных веществ в природе

Проблема исследования поведения радиоактивных изотопов в почве, растениях и в других звеньях биологического цикла круговорота веществ в природе возникла в результате загрязнения окружающей среды радиоактивными продуктами деления в связи с испытаниями ядерного оружия.

С прекращением экспериментальных термоядерных взрывов в атмосфере, космическом пространстве и под водой эта проблема останется актуальной, так как глобальные выпадения будут происходить еще длительное время.

Кроме того, с развитием атомной промышленности существует возможность попадания, хотя и в значительно меньших количествах, радиоактивных продуктов деления на земную поверхность и локального загрязнения.

Попадая в атмосферу и на земную поверхность, радиоактивные изотопы включаются в биологический цикл круговорота веществ. Радиоактивные продукты деления из внешней среды аккумулируются флорой и фауной, что способствует увеличению их количества в биологическом цикле круговорота веществ.

Почва является начальным звеном обмена экосистем. Ее функциональное состояние определяет эффективность преобразования радиационной энергии в биологические структуры.

Действующим началом пусковых преобразований в почве является ее сапрофитная микрофлора первичного синтеза (продуценты) и первичного потребления (консументы), разрушающая отмершие биологические субстраты до органических мономеров, легко вступающих в повторные циклы синтеза биологического вещества.

Радиоактивность - это способность атомных ядер химических элементов к самопроизвольному превращению в другие ядра с испусканием одной или нескольких заряженных частиц и фотонов.

Радиоактивные вещества распадаются с определенной скоростью, измеряемой периодом полураспада, т.е. временем, в течение которого распадается половина всех атомов.

Радиоактивный распад не может быть остановлен или ускорен каким-либо способом. Это природное свойство радиоактивных веществ неподвластно человеку.

Кроме скорости радиоактивного распада, к основным характеристикам радиоактивности также относятся:

- активность (количество радиоактивного вещества),
- доза излучения, уровень радиации (мощность дозы излучения),
 - степень загрязнения радиоактивными веществами.

В любом радиоактивном веществе происходит постепенный распад всех ядер его атомов. Чем больше период полураспада, т.е. чем меньше скорость распада, тем дольше живет данный радиоактивный изотоп, создавая радиоактивные излучения.

Для разных изотопов период полураспада колеблется в широких пределах.

Количество радиоактивного вещества принято оценивать его активностью, под которой понимают количество радиоактивных распадов ядер атомов за единицу времени (распад в секунду).

За единицу радиоактивности принято количество радиоактивных превращений (распадов) в единицу времени.

Единица, характеризующая 1 распад радионуклида в 1 с, называется 1 беккерель (Бк). Ранее за единицу измерения радиоактивности была принята радиоактивность 1 г радия, которая называлась 1 кюри (Ки). Между этими единицами установлено следующее соотношение: $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$, или $1 \text{ Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}$.

Активность радиоактивного вещества непосредственно не характеризует ионизирующего воздействия излучения: при одной и той

же активности ионизирующее действие зависит от вида и энергии излучения, физических свойств облучаемой среды и других факторов.

Ионизирующее действие излучений, а, следовательно, и их поражающее воздействие на организм характеризуется дозой излучения (облучения).

Источником ионизирующих излучений могут служить атомы определенных элементов, так называемые радионуклиды. Среди многообразия источников поступления радионуклидов в биосферу выделяют две группы: естественные и искусственные (техногенные).

Наиболее часто естественная радиоактивность встречается у элементов с атомным номером более 83. Скопление большого количества нуклонов в атомном ядре делает его настолько неустойчивым, что оно при переходе в более стабильное состояние испускает либо α -частицы, либо β -частицы.

При этом атомные ядра приходят в возбужденное состояние и при возвращении в устойчивое состояние испускают γ -лучи. Естественный радиационный фон складывается из излучений от рассеянных в почве, воде, воздухе (терригенных) радионуклидов, возраст которых совпадает с возрастом планеты. К таким относятся ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и продукты распада Th и U , ^{219}Rn - ^{282}Rn , ^{226}Ra .

Второе место в формировании радиационного фона занимают космические (космогенные) излучения, третье - короткоживущие радионуклиды, образующиеся в верхних слоях атмосферы при взаимодействии газов стратосферы с потоком ядерных частиц высоких энергий из разных областей вселенной.

Первичными геологическими источниками большинства радионуклидов фона являются верхние слои литосферы (граниты, сланцы, песчаники и др.), постоянное преобразование которых под действием сапрофитной микрофлоры почв, воды, воздуха, перепадов температур ведет к миграции излучателей в почву, растительность, животный мир.

Валовое содержание естественных радиоактивных изотопов в основном зависит от почвообразующих пород. Почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания кислых пород, содержат радиоактивных изотопов больше, чем образовавшиеся на основных и ультраосновных породах; тяжелые почвы содержат их больше, чем легкие.

Распределение по профилю почвы относительно равномерное, но в некоторых случаях они аккумулируются в иллювиальных и глеевых горизонтах. В почвах и породах естественные радиоактивные изотопы присутствуют преимущественно в прочносвязанной форме.

Антропогенные вмешательства в состав естественного радиационного фона представляют собой: искусственные концентрации и перераспределение естественных радионуклидов; загрязнение среды экологически новейшими радиоактивными метаболитами ядерно-энергетического происхождения; производство и использование искусственных радионуклидов и других источников ионизирующих излучений в науке, медицине, промышленности.

При антропогенном воздействии изменяется нормальный фон содержания химических веществ, и их концентрация может превысить предельно допустимую, т.е. происходит загрязнение почв. Такие почвы становятся источником загрязнения растениеводческой продукции тяжелыми металлами, радионуклидами, нефтепродуктами и др.

Наиболее развитой в настоящее время является горнодобывающая отрасль промышленности. При разработках полезных ископаемых, в частности при добыче угля, происходят нарушения в химическом и физическом составе и свойствах почв, активное химическое, а в ряде случаев и опасное радиоактивное загрязнение земель предприятий и прилегающих к ним территорий.

В настоящее время все промышленные типы месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности, следуя рекомендациям МУ 2.6.1.2005-05, подразделяются на четыре категории:

1. особо опасные;
2. опасные;
3. потенциально опасные (условно безопасные);
4. безопасные.

Искусственная концентрация фоновых радионуклидов при добыче и сжигании топлива, переработке руд, производстве и использовании строительных материалов резко меняет фоновое геопопуляционное распределение радиоактивности среды.

Геопопуляционное распределение радиоактивности среды — это пространственное распределение радионуклидов в окружающей

среде, учитывающее их влияние на различные объекты живой природы и человека.

Наиболее массивны загрязнения такого типа ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th от тепловых электростанций: сжигание многозольного угля сопровождается последующим выбросом сконцентрированных радионуклидов в атмосферу (рис. 10.3).



Рис. 10.3 Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды при добыче и использовании каменного угля

Загрязнение почвы радиоактивными веществами может происходить через фосфорные минеральные удобрения. Уран и торий как примеси содержатся в исходном сырье, которое используется при производстве удобрений и при переработке сырья частично переходит в удобрения, а из них - в почву.

Помимо глобальных видоизмененных радиационных воздействий определенный вклад в дополнительные экосистемные лучевые нагрузки вносят металлургические предприятия, расположенные почти во всех крупных промышленных городах.

К собственно антропогенным экологически новейшим излучателям от начальных почвенных каналов экосистемной миграции, клеточных мембран, до популяционного распределения доз, меняющим

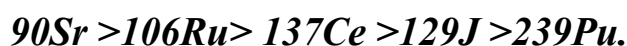
энергетические спектры и распределение радиационного фактора, относятся радионуклиды ядерно-энергетического происхождения.

Основным источником равномерного включения искусственной радиоактивности в состав среды, завершившим переход фактора лабораторной случайности в разряд современных экосистемных воздействий, явились испытания ядерного оружия, послужившие причиной относительно равномерного рассеивания радионуклидов в Северном полушарии планеты.

Второе место занимают ядерные реакторы энергетического (АЭС) назначения, вырабатывающие до 30% электроэнергии мира, и исследовательские реакторы, относительно равномерно рассредоточенные в странах Северной Америки, Азии, Европы. В настоящее время функционируют более 500 ядерно-энергетических блоков АЭС, из которых 163 - в странах Западной Европы, 121 - в США и 45 - в России.

Искусственные радионуклиды закрепляются в основном (до 80 - 90%) в верхнем слое почвы: на целине - в слое 0 - 10 см, на пашне - в пахотном горизонте. Наибольшей сорбцией обладают почвы с высоким содержанием гумуса, тяжелым гранулометрическим составом, богатые монтмориллонитом и гидрослюдами, с непромывным типом водного режима.

В таких почвах радионуклиды способны к миграции в незначительной степени. По степени подвижности в почвах радионуклиды образуют ряд:



Самоочищение почвы — это природный процесс, который заключается в разложении вредных органических веществ и преобразовании их в полезные неорганические составляющие.

Скорость естественного самоочищения почв от радиоизотопов зависит от скоростей их радиоактивного распада, вертикальной и горизонтальной миграции. Период полураспада радиоактивного изотопа - время, необходимое для распада половины количества его атомов.

У радионуклидов очень длительный период полураспада. Наиболее важные из них ^{40}K , тяжёлые радионуклиды: ^{238}U , ^{232}Th и продукты их распада, а также поступающие из воздушной среды на землю ^3H , ^{14}C и др.

К техногенным радионуклидам относятся продукты деления урана и плутония: ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , а также металлы с наведённой активностью: ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , трансурановые радионуклиды: ^{239}Pu , ^{241}Am и др.

К радиоактивным загрязнителям биосферы вследствие антропогенных воздействий относятся и такие нуклиды, как:

- водород (^3H),
- углерод (^{14}C),
- стронций (^{90}Sr),
- цезий (^{137}Cs),
- уран (^{238}U),
- радий (^{226}Ra),
- радон (^{222}Rn),
- полоний (^{210}Po),
- плутоний (^{239}Pu).

10.2. Миграция и механизмы взаимодействия радионуклидов с почвой

Вопросы миграции и механизмы взаимодействия радионуклидов с почвами в свое время были изучены крупными учеными в области радиоэкологии и радиологии почв.

Поступление радионуклидов в экосистемы происходит двумя основными путями:

- с атмосферными выпадениями
- в результате сброса отходов.

Схема переноса радионуклидов в агроэкосистеме по наиболее важным пищевым цепям от радиоактивных выпадений до организма человека представлена на рисунках 10.4; 10.5; 10.6; 10.7



Рис. 10.4 Транспорт радионуклидов по пищевым цепям от радиоактивных выпадений до организма человека

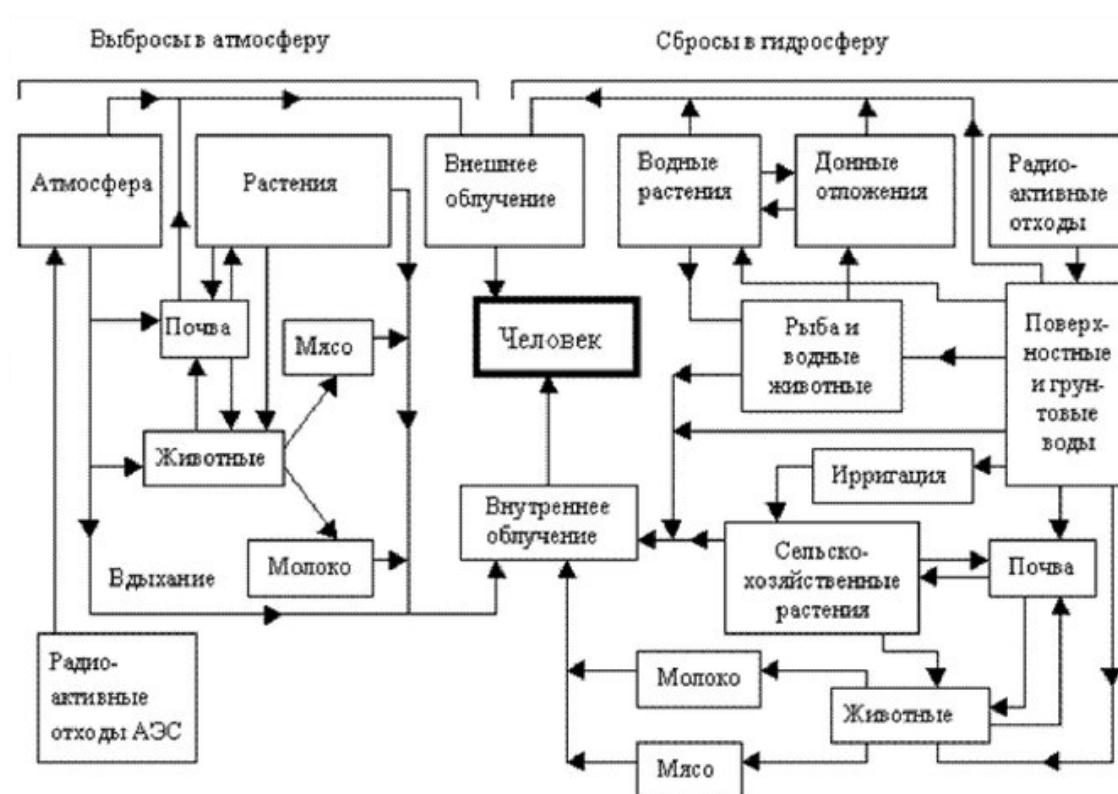


Рис.10.5 Схема миграции радионуклидов во внешней среде



Рис. 10.6 Схема миграции радионуклидов во внешней среде

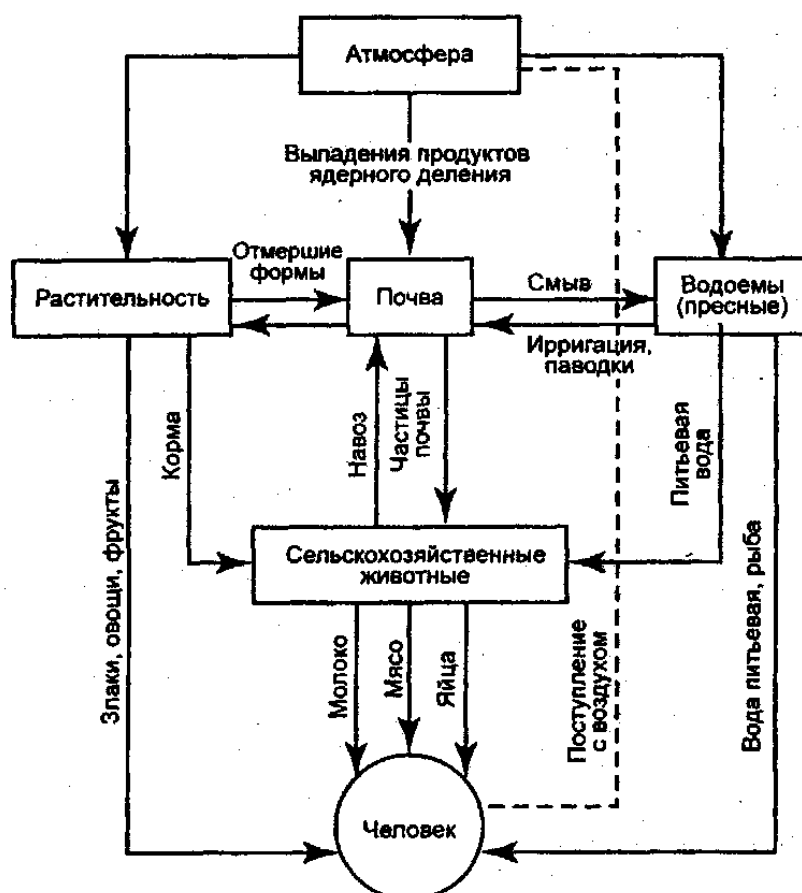


Рис. 10.7 Схема миграции радионуклидов во внешней среде

Радиоактивные вещества, попадающие в атмосферу, в конечном счете концентрируются в почве. Они могут частично вымываться из почвы и попадать в грунтовые воды. Однако почва довольно прочно удерживает попадающие в нее радиоактивные вещества.

От поведения радионуклидов в почве зависит их дальнейшая судьба: размеры вымывания их с осадками, миграция по почвенному профилю, степень перехода в прочносорбированное (фиксированное) состояние и интенсивность поступления в растения.

Чем полнее радионуклиды поглотятся почвенным поглощающим комплексом, чем прочнее они закрепятся в поглощенном состоянии, тем меньше будут вымываться с осадками, мигрировать по профилю почвы и в относительно меньших количествах будут поступать в растения. Как и в случаях с другими загрязняющими веществами, почва служит основным депо для радионуклидов.

Главные процессы трансформации радионуклидов в почве представлены на рисунке 10.8



Рис. 10.8 Схема процессов трансформации радионуклидов в почве

Перемещаясь с почвенной влагой, радионуклиды вступают в химические реакции с твердой фазой почвы.

Следствием этого процесса становится перераспределение радиоактивных веществ между твердой и жидкой фазами почвы.

Миграция радионуклидов в почве – это совокупность процессов, приводящих к пространственно-временному перераспределению количества того или иного радиоактивного вещества в почве.

Нахождение радионуклидов в почвенной влаге и перемещение вместе с ней приводит к химическим реакциям с минеральными и органическими веществами, входящими в состав твердой фазы почвы и почвенной влаги.

При этом возникают химические соединения радионуклидов, имеющие различную энергию связи и различную степень подвижности в почве:

- наибольшая - для растворимых в воде соединений,
- наименьшая - для необменно сорбированных твердой фазой почвы радионуклидов.

Миграцию радионуклидов в почве можно рассматривать как непрерывно повторяющийся ряд процессов сорбции и десорбции под влиянием различных факторов, приводящих к их векторному переносу, рассеиванию и концентрированию.

Факторы, влияющие на миграцию радионуклидов, разнообразны по природе и степени влияния:

- физико-химические свойства радионуклидов;
- формы их нахождения в почве;
- физико-химические свойства почв (присутствие в почвенном растворе посторонних или конкурирующих катионов, величина рН, наличие в растворе мигрирующих коллоидов, комплексообразующая способность растворенных органических веществ и др.);
- климатические и геоморфологические свойства;
- тип растительности;
- антропогенный фактор.

Выделяют следующие основные механизмы миграции радионуклидов в почве:

- Конвективный влагоперенос (перемещение радионуклидов с почвенной влагой в направлении внутрипочвенного стока).
- Диффузионный перенос свободных и адсорбированных ионов.
- Миграция на коллоидных частицах - лессиваж.
- Миграция по корневым системам.

- Роющая деятельность животных.
- Хозяйственная деятельность человека.

При конвективном влагопереносе происходит смещение максимума концентрации радионуклидов с постепенным его уменьшением и своего рода размыванием по почвенному профилю.

При интенсивном поступлении влаги в результате осадков, особенно в теплое время года, имеет место ярко выраженное перемещение водорастворимых форм в более глубокие почвенные слои вместе с влагой.

По мере уменьшения количества радионуклидов в почвенной влаге происходит изменение соотношения химических форм нахождения радионуклида.

При интенсивном испарении влаги в сухую и жаркую погоду к поверхности почвы происходит подток влаги с глубинных слоев, вместе с ним мигрируют и радионуклиды, перераспределяются по формам, в том числе закрепляются в почве в результате необменной сорбции кристаллическими решетками глинистых минералов.

Часть радионуклидов в виде свободных ионов почвенного раствора и сорбированных по ионообменному принципу мигрируют в почве в направлении градиента концентрации в результате диффузного механизма миграции. Данный вид миграции приводит к выравниванию концентрации радионуклидов по всему почвенному профилю с течением времени.

Если поверхностные почвенные слои сильно насыщены корнями растений, то происходит миграция радионуклидов по корневым системам.

В основе этого механизма лежит круговорот элементов питания в растении: поглощение корнями, перемещение по ксилеме, обратное перемещение с продуктами фотосинтеза к корням и выведение радиоактивных элементов вместе с корневыми выделениями.

Если корневые системы хорошо развиты, то миграция радионуклидов по ним сопоставима с миграцией в результате конвективного влагопереноса.

При корневом поглощении накопление растениями радиоактивных элементов в основном определяется прочностью связи радионуклида с твердой фазой почвы и видовыми особенностями растений.

Накопление радионуклидов растениями хорошо согласуется с аккумуляцией их стабильных изотопных аналогов.

Интенсивность поступления радионуклидов в растения из почвы принято оценивать с помощью коэффициента накопления (Кн).

Коэффициент накопления - отношение содержания радионуклида в единице растительной массы к содержанию его в единице массы почвы или в единице объема раствора.

Темпы переноса радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, в частности в системе «почва - растение», зависят от количества сопровождающих этот процесс изотопных или неизотопных носителей радионуклидов.

Это относится к транспорту ^{90}Sr и ^{137}Cs , основными неизотопными носителями которых являются биологически важные макроэлементы - соответственно Са и К.

Коэффициент дискриминации микроколичеств радионуклида относительно макроколичеств носителя (КД) — это термин, который используется для учёта сопряжённого переноса радионуклидов в системе «почва — растение».

В системе «почва - растение» акцептором является растение, а донором почва. Аналогичное соотношение введено для пары ^{137}Cs - К. Переход ^{90}Sr из почвы в растения зависит от количества обменного Са в почве. Аккумуляция растениями основных долгоживущих радионуклидов - ^{137}Cs и ^{90}Sr - при корневом поступлении в растения может различаться для разных видов в 10 - 30 раз.

Задержание выпадающих из воздуха на растительный покров радиоактивных частиц принято характеризовать отношением количества радионуклидов, сорбированного на надземных частях растений, к количеству радиоактивных веществ, выпавшему на данную площадь.

Задержка оседающих на растения частиц и последующее их удаление зависят от площади растительной поверхности, способной аккумулялировать частицы; запасов фитомассы на единице площади, формы, размера и ориентации листьев и других надземных органов растений, а также от свойств их поверхности; скорости ветра вовемя и после выпадения частиц; размера аэрозольных частиц, количества выпавшего материала; относительной влажности.

Далее по пищевым цепям радиоактивные вещества, накопленные в растительных организмах, естественным путем мигрируют в организм животных и человека.

Радионуклиды могут поступать в организм тремя путями: через желудочно-кишечный тракт, через органы дыхания и через кожу, основным путем их проникновения является пероральный (от 96 до 100%).

Для количественного описания перемещения радиоактивных веществ по пищевым цепям в организм животного используются различные коэффициенты:

- коэффициент накопления / дискриминации (КН/КД) - отношение содержания нуклида в единице массы организма к содержанию этого же нуклида в единице массы организмов предыдущего трофического уровня / в травяной растительности;
- при длительном (хроническом) поступлении радиоактивных веществ применяют специальный коэффициент, который носит название «кратность накопления» (F). Он представляет собой отношение содержания радионуклида в органе или ткани (C) к ежесуточному поступлению этого нуклида в организм (Q).

Почва является многофазной, полидисперсной, полифункциональной системой. Для большинства радионуклидов поглощение их почвой определяется процессами распределения между двумя основными фазами - твердой и жидкой (почвенным раствором) и осуществляется в основном за счет процессов:

- сорбции-десорбции радионуклидов;
- осаждения-растворения труднорастворимых соединений;
- коагуляции-пептизации коллоидов.

Соосаждение радионуклидов может протекать с изотопными и неизотопными носителями, а также вследствие «захвата» осадками с сильно развитой поверхностью.

Образование и растворение осадков зависят от ионного состава, рН и окислительно-восстановительного потенциала почвенного раствора, а также от присутствия органических и неорганических лигандов.

Адсорбция радионуклидов из почвенного раствора твердой фазой, несмотря на различные механизмы протекания (ионообменная адсорбция, хемосорбция, адсорбция молекулярных веществ и др.), тесно

связана со свойствами минеральных и органо-минеральных почвенных коллоидов.

Ионообменная адсорбция химических элементов, в том числе радионуклидов, в катионной форме зависит от свойств катионов (заряда ионов и радиуса гидратированных ионов), свойств адсорбента (химической природы и структуры органических, минеральных и органо-минеральных почвенных коллоидов), объема и концентрации раствора.

Адсорбция анионов зависит от заряда ионов, состава коллоидов (в первую очередь от количества полуторных оксидов) и реакции среды. Необменное поглощение радионуклидов связано в основном с минеральными почвенными коллоидами. Свойство необменно фиксировать катионы проявляется у трехслойных глинистых минералов с разбухающей решеткой (группы гидрослюд, монтмориллонита) (рис. 10.9).

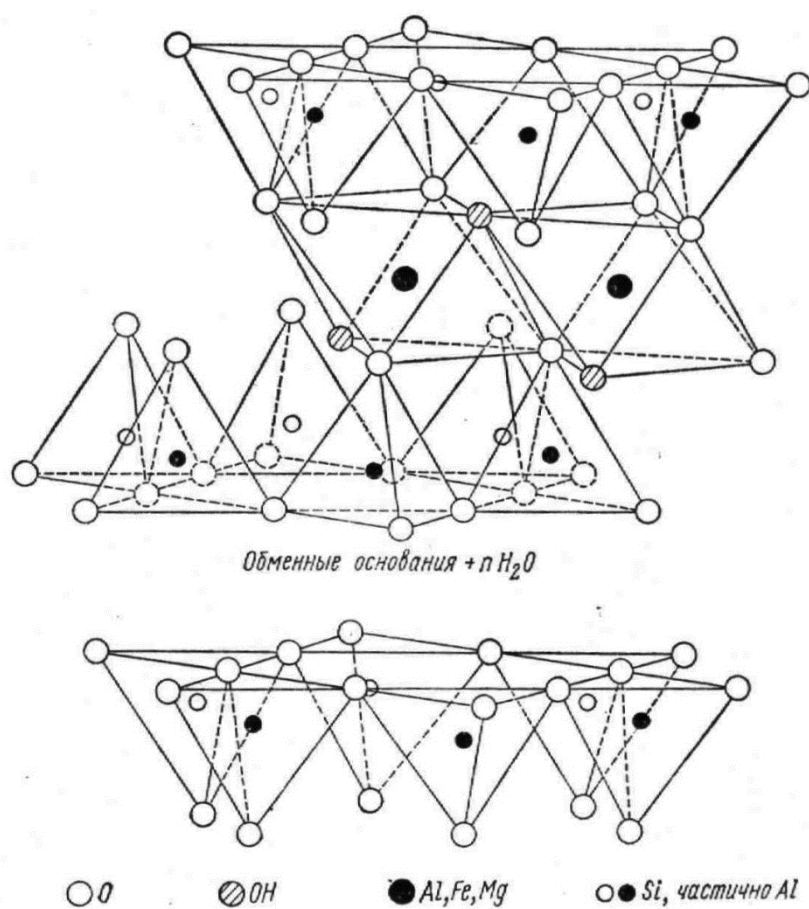


Рис. 10.9 Строение монтмориллонита

Каолинит и другие минералы с двухслойной решеткой не обладают способностью необменно фиксировать катионы.

Свойство к необменной фиксации присуще катионам, радиусы которых близки или немного больше радиуса гексагональных пустот решеток минералов.

Распределение радионуклидов между жидкой и твердой фазами почв зависит от физико-химического состояния и свойств радионуклидов, а также от характеристики сопутствующих микро- и макропримесей.

К таким свойствам отнесены:

- величина и знак заряда иона,
- форма соединений,
- способность к адсорбции,
- комплексообразование,
- гидролиз

Ионы элементов, имеющие ионные потенциалы (отношение заряда иона к ионному радиусу) $Z/r < 1,4$, характеризуются свойствами сильных оснований и мигрируют в катионной форме в виде истинных растворов (Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ra^{2+} и др.).

Ионы элементов с параметрами $1,4 < Z/r < 3,0$ (Li^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , La^{3+} , Ce^{3+} , Ac^{3+} , Np^{3+} , Am^{3+} и др.) передвигаются в основном в катионной форме в виде истинных растворов, но при увеличении pH могут образовывать труднорастворимые гидроксиды и основные соли, а в присутствии карбонат-ионов - труднорастворимые карбонаты.

В этом случае возможна миграция в виде коллоидов и взвесей. Ионы элементов с параметрами $3 < Z/r < 7$ обладают высокой чувствительностью к реакции среды, образуют труднорастворимые гидроксиды, более подвижные в щелочной среде, а их миграция происходит в виде комплексных соединений, коллоидов и взвесей (Y^+ , Ti^{4+} , Zr^{4+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Ru^{4+} , Rh^{3+} , Ce^{4+} , Th^{4+} , U^{4+} , Pu^{4+} и др.). При значении $Z/r > 7$ перенос элементов происходит главным образом в форме анионов в виде истинных растворов (BO^- , NO^- , PO_3^- , SO_2^- и др.).

Для оценки миграционной способности радионуклидов в системе «твердая - жидкая часть почвы» используют коэффициент распределения (K_d).

Коэффициент распределения — это равновесное отношение концентрации элемента в одной фазе к его концентрации в другой фазе.

Коэффициент распределения радионуклидов (K_d) — это показатель, который характеризует распределение радионуклида между твёрдой и жидкой фазами.

Коэффициент распределения характеризует результирующее распределение радионуклидов между твердой и жидкой частями почв независимо от типа связи радионуклидов с твердой частью.

Коэффициент распределения радионуклида между твердой фазой почвы и почвенной влагой есть величина, которая стремится к равновесию. Так, при резком увеличении количества почвенной влаги (например, при интенсивном выпадении осадков) происходит «разбавление» радионуклидов и высвобождение их из твердой фазы почвы.

При уменьшении количества почвенной влаги (например, летом при сильной засухе) идет обратный процесс.

Концентрация радионуклидов в почвенной влаге по мере ее испарения увеличивается в приповерхностном слое и, чтобы не нарушался K_d , происходит закрепление радионуклидов твердой фазой почвы.

Радионуклиды по типу поведения в системе «почва - растение» в зависимости от концентрации стабильных изотопных носителей, pH, присутствия в растворе катионов других элементов, наличия несорбирующихся коллоидов и органических лигандов классифицируют следующим образом:

- группа: Zn, Cd, Co. Тип поведения - необменный. Наиболее вероятны механизмы закрепления в почве - адсорбция почвенными минералами и образование комплексов с органическими и органо-минеральными лигандами. Наиболее важный фактор миграции - наличие органических лигандов.
- группа: Na, Rb, Sr. Тип поведения - обменный. Основной механизм закрепления в почве - ионный обмен. Наиболее важный фактор миграции - присутствие в растворе других катионов.
- группа: Cs. Тип поведения - обменный в макроконцентрациях и необменный в микроконцентрациях. Механизм закрепления в почве - необменное поглощение (в микроконцентрациях).

- группа: I, Ce, Pm, Zr, Nb, Fe, Ru. Тип поведения - много- формный. Наиболее вероятный механизм закрепления в почве - образование комплексов и осаждение (коагуляция) коллоидов. Группа характеризуется наличием поглощаемых твердой фазой химических форм и непоглощаемых миграционно способных форм. Равновесие между формами сдвигается при изменении кон центрации стабильных изотопных носителей, рН и в присутствии мигрирующих коллоидов.
- группа: Ag. Тип поведения - многоформный с переменной валентностью, обладает свойствами I, II, IV групп. Важным фактором миграции является наличие восстановительных барьеров.

Наряду с приведенной классификацией все изученные элементы тем же автором были разделены на четыре группы:

- Очень малоподвижные - Zn, Cd, Co.
- Малоподвижные - Y, Ce, Fe, Zr, Nb.
- Подвижные - Na, Rb, Sr, Ru.
- Сильноподвижные - S, I (анионы).

Среди многообразия форм нахождения радионуклидов в почвах выделяют:

- водорастворимую,
- обменную,
- необменную
- прочносвязанную необменную.

Под **водорастворимой** понимают ту часть радионуклидов, которая экстрагируется из почвы дистиллированной водой.

Радионуклиды в обменной форме экстрагируются 1 н. раствором ацетата аммония, в необменной форме - 6 н. раствором соляной кислоты. Радионуклиды в необменной прочносвязанной форме способны экстрагироваться только смесью плавиковой и азотной кислот.

Среди этих форм наибольшую роль играют водорастворимая и обменная, поскольку они способны усваиваться растениями и, следовательно, мигрировать по биологической цепочке.

Каждый из радионуклидов присутствует в почве в водорастворимой, обменной и необменной формах одновременно, однако соотношение между этими формами для разных радионуклидов существенно различается.

Являясь изотопами химических элементов, радионуклиды характеризуются теми же химическими свойствами, что и стабильные изотопы этих элементов.

Для радионуклидов глобальных выпадений отмечено, что их степень сорбции в почве зависит от дисперсности почвенных частиц: чем больше физической глины, тем быстрее и необратимее сорбционные процессы.

Большое количество физической глины характерно для черноземных, глинистых и суглинистых почв, в которых происходит наиболее прочное закрепление радиоактивных элементов в верхних почвенных слоях.

Фракция физической глины связана своим происхождением с минералами монтмориллонитовой группы и гидрослюд, способных включать некоторые радионуклиды в межпакетные пространства кристаллических решеток, из которых высвобождение происходит очень медленно.

К свойствам почв, влияющим на поведение радионуклидов в почве, относятся:

- величина емкости поглощения почв,
- гранулометрический состав почв
- кислотность почвенного раствора,
- минералогический состав почв и др.
- содержание органического вещества,
- состав обменных катионов,

Реакция среды и состав обменных катионов - факторы, определяющие степень поглощения и прочность закрепления радионуклидов при их попадании в почву.

Кислотность почвенного раствора существенно влияет на процессы поглощения и закрепления радионуклидов почвой, следовательно, и на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения.

Из кислых почв радионуклиды поступают в растения в больших количествах, чем из почв слабокислых, нейтральных или слабощелочных. При увеличении кислотности почвы снижается прочность закрепления ППК ^{90}Sr ^{137}Cs и соответственно возрастает интенсивность поступления их в растения.

Почвенно-поглощающий комплекс (ППК) — это совокупность органических, минеральных и органоминеральных компонентов твёрдой фазы почвы, способных к обмену ионами.

Поскольку большая часть почвенных коллоидов имеет отрицательный заряд, то из раствора поглощаются в основном катионы. Обмен катионов почвенного раствора на катионы, находящиеся в твёрдой фазе почвы, происходит эквивалентно.

В состав поглощённых катионов входят катионы кальция, магния, водорода, калия, натрия, аммония, железа и алюминия.

При повышении рН ряд радионуклидов переходит из ионной формы в различные гидролизные комплексные соединения, что снижает их доступность для растений. Кислотность оказывает и косвенное влияние на сорбцию почвами радионуклидов, изменяя ёмкость катионного обмена [6].

Дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями. Добавленная известь резко повышает долю прочно закрепленных радионуклидов в почве и способствует их переводу в необменное состояние.

Известкование кислых почв не только создает условия для лучшего роста растений, но и является одновременно средством существенного уменьшения поглощения радионуклидов растениями из почвы.

В среднем для большинства сельскохозяйственных растений минимум накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs отмечался при рНКCl - 6,7, что на 0,7 выше агрохимического оптимума.

Обменные ионы составляют небольшую часть от общего содержания химических элементов в почвах. Их количество измеряется единицами и десятками мг-экв на 100 г почвы. На сорбционно-десорбционные процессы оказывают влияние присутствующие в почвенном растворе обменные катионы.

Каждая почва в естественном состоянии содержит определенное количество обменно-поглощенных катионов. Преобладающими в ППК и играющими большую роль в почвенных процессах и формировании физико-химических свойств почв являются катионы: Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^{+} , Al^{3+} , Na^{+} , K^{+} , NH^{+} , в незначительных количествах Mn^{2+} , Fe^{2+} , а также Li^{+} , Sr^{+} и др.

В большинстве почв среди них преобладает Ca^{2+} , второе место занимает Mg^{2+} , в некоторых почвах в поглощенном состоянии в значительном количестве содержится H^+ и обычно относительно немного Na^+ , K^+ , NH^+ и Al^{3+} .

В поглощенном состоянии могут находиться и анионы на положительно заряженных участках коллоидной мицеллы.

На основании данных по сорбции можно выделить специфический вытеснитель, или катион, который вытесняет данный изотоп в большей степени, чем другие. Такие вытеснители для ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{60}Co - ^{64}Cu , для ^{85}Rb , ^{137}Cs - ^{42}K , для ^{90}Sr - ^{45}Ca . Чем больше в почве обменных катионов - элементов-носителей, тем меньше биологическая подвижность радионуклидов, и наоборот.

Степень сорбции радионуклидов зависит не только от количества обменных катионов, но и от содержания их в растворе. С увеличением концентрации сопутствующих катионов в растворе уменьшается количество радионуклидов, сорбированных твердой фазой почвы (т.е. снижается сорбция радионуклидов). Однако данная зависимость для разных радионуклидов различна.

На сорбционные процессы радионуклидов в почвах влияет гранулометрический состав почв. Это связано с тем, что отдельные фракции гранулометрических элементов различаются по химическому и минералогическому составу, а также по физико-химическим и физическим свойствам. Наиболее резкие различия наблюдаются между фракцией ила ($< 0,001$ мм) и остальными фракциями.

Гранулометрический состав почвы больше влияет на прочность закрепления микроколичеств радионуклидов, чем на величину их поглощения. Тяжелыми почвами (тяжелосуглинистые и глинистые) поглощенные радионуклиды, особенно ^{137}Cs , сильнее закрепляются, чем легкими (песчаные и супесчаные). С уменьшением размера фракций почвы прочность закрепления ими ^{90}Sr и ^{137}Cs повышается. Наиболее прочно закрепляются радионуклиды илистой фракцией.

С уменьшением размера частиц снижается содержание оксида кремния, возрастает количество полуторных оксидов железа и алюминия и, что особенно важно для процессов сорбции радионуклидов, повышается содержание гумуса и обменных катионов кальция, магния и калия [5].

Известно, что отдельные фракции почв различаются не только размером частиц, но и физическими, химическими свойствами и минералогическим составом. Содержание в илистой фракции почв минералов монтмориллонитовой группы, а также слюд и гидрослюд - одна из основных причин более прочного закрепления микроколичеств ^{90}Sr и ^{137}Cs этой фракцией.

Наибольшей поглотительной способностью по отношению к микроколичествам радионуклидов, как и к макроэлементам, обладают минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд.

Минералы каолинитовой группы и группы слюд характеризуются меньшей сорбционной способностью по отношению к макро- и микроколичествам катионов, находящихся в почве.

Различия в полноте сорбции радионуклидов и в степени их закрепления разными минералами обусловлены прежде всего неодинаковой структурой кристаллической решетки минералов.

Минералы монтмориллонитовой группы благодаря строению кристаллической решетки отличаются интрамицеллярным поглощением (вхождение катионов внутрь кристаллической решетки минералов) и поэтому не только более полно сорбируют микроколичества радионуклидов, но и более прочно закрепляют их в поглощенном состоянии, чем минералы других групп.

Органическое вещество также может оказывать существенное влияние на миграцию радионуклидов.

Влияние почвенного органического вещества на миграцию радионуклидов зависит от их взаимодействия с отдельными компонентами органического вещества, может проявляться различным образом, в зависимости от физико-химических свойств радионуклидов и свойств органического вещества.

Чаще всего органические вещества с радионуклидами образуют относительно легкорастворимые соединения. Наличие органического вещества в почве способствует увеличению поглощения ^{90}Sr и снижает сорбцию ^{137}Cs .

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что в миграции радионуклидов по почвенному профилю важную роль играют кислотность почвенного раствора, величина емкости поглощения почв, состав обменных катионов, содержание органического вещества, гранулометрический и минералогический состав почв и др.

10.3. Распределение радионуклидов в почвах различных экосистем

Экосистема — это совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом.

В экосистеме происходит общий обмен веществ и энергии. Живые организмы, популяции, сообщества в природе не существуют изолированно, их нельзя рассматривать отдельно от окружающих условий.

Главным источником радиоактивных элементов в почвах следует считать почвообразующие породы. Поэтому почвы, развитые на кислых магматических породах, относительно обогащены радиоактивными элементами (ураном, радием, торием, калием), а почвы, образованные на основных и ультраосновных породах, бедны ими.

Глинистые почвы почти везде богаче радиоизотопами, чем песчаные.

Почвы, как рыхлые образования, по вещественному составу близки к осадочным породам, поэтому они во многом подчиняются закономерностям распределения естественных радионуклидов в отложениях этого генезиса [22].

Тонкая коллоидная фракция почв, с которой связаны обменно-сорбционные процессы, обогащена радиоактивными элементами по сравнению с более крупными частицами. То же самое касается и органической составляющей почв.

Содержание радия в верхнем горизонте почв колеблется от 2,8 до $9,5 \times 10^{-10}$ %. Причем в большинстве почв наблюдается резкое смещение радиоактивного равновесия между ураном и радием в сторону последнего, что связано с выщелачиванием урана грунтовыми водами.

В агробиогеоценозах основная масса радионуклидов почти равномерно распределяется в пахотном слое почвы (25 - 30 см).

Агробиогеоценоз — неустойчивая экологическая система с искусственно созданным и обедненным видами естественным биотическим сообществом, дающим сельскохозяйственную продукцию. А. не способен длительно существовать без постоянной поддержки человеком.

На этой глубине (25 - 30 см), где проходит граница между пахотным и ненарушаемым слоем почвы, отмечается ярко выраженная зона аккумуляции радиоактивных веществ.

При интенсивной обработке почвы (проведение различных работ, внесение удобрений) имеется устойчивая тенденция увеличения количества обменных форм радионуклидов по сравнению с целинными землями.

Для пахотных земель характерно и почти равномерное распределение радионуклидов по химическим формам нахождения в почве.

Для целинных земель радионуклиды распределяются в вертикальном профиле почвы по экспоненциальному закону с преобладанием в поверхностных слоях.

Экспоненциальное (или показательное) распределение — это абсолютно непрерывное распределение, которое моделирует время между двумя последовательными свершениями одного и того же события.

По мере углубления удельная активность их в почвенных слоях уменьшается многократно. При этом доля подвижных форм нахождения радионуклидов в почве (водорастворимой и ионообменной) по мере углубления возрастает. Это определяется уменьшением вглубь почвы концентрации веществ, способствующих усиленной сорбции радионуклидов, прежде всего физической глины и органики.

На лугах радионуклиды прочно удерживаются дерниной в верхнем слое (5 см), чему способствует большое количество гумуса. Из него они довольно медленно мигрируют.

Несколько большая степень миграции характерна для лугов, сформированных на почвах легкого гранулометрического состава.

Наименее изучено поведение радионуклидов в болотных почвах. Данные здесь самые противоречивые. Во многом это определяется сложностью изучения процесса болотообразования [34].

Важным фактором в поведении радионуклидов в болотных почвах является обилие разнообразных органических соединений, которые высвобождаются при анаэробном разложении фитомассы растений в условиях избыточного увлажнения. Нет единого мнения по степени подвижности радионуклидов в болотных почвах по сравнению с другими типами почв.

Распределение радионуклидов в вертикальном профиле торфяников происходит почти равномерно до той глубины, где торфяной

слой переходит в минеральный. Здесь четко просматривается зона аккумуляции радионуклидов и естественного, и искусственного происхождения.

В лесных экосистемах аккумулятором радионуклидов является подстилка (рис. 10.10). Как правило, она является биогеохимическим барьером на пути вертикальной миграции радионуклидов, степень выраженности которой зависит от ее типа, строения и мощности, наличия или отсутствия мохового покрова.



Рис. 10.10 Лесная подстилка

Лесная подстилка — почвенный горизонт, слой органических остатков на поверхности почвы в лесу.

Она состоит из опавших листьев, веток, цветов, плодов, коры и других остатков растений, фекалий и трупов животных, оболочек куколок и личинок.

В лиственных лесах, где подстилка неполнопрофильная и маломощная, ее удерживающая способность невелика. Здесь наблюдается наибольшая интенсивность миграции основных дозообразующих радионуклидов, в частности ^{137}Cs , в минеральную толщу.

Внутри подстилки удерживающая способность ее подгоризонтов неодинакова. Вследствие этого со временем внутри подстилки происходит перераспределение радионуклидов.

При радиоактивных выпадениях практически все радиоактивные элементы очень быстро перемещаются на поверхность лесной подстилки. Из подстилки лиственных лесов радионуклиды мигрируют в минеральную часть почвы быстрее, из подстилки хвойных - несколько медленнее.

При повышенном увлажнении этот процесс еще более активизируется. Более толстый слой подстилки соответствует большему количеству радионуклидов в нем. Так, в подстилке сосновых и еловых лесов на песчаных почвах содержится до 70% радионуклидов и только 30% в минеральной части. В 4 - 10 раз меньше радионуклидов содержит подстилка черноольшаников и дубрав.

Распределение радионуклидов в вертикальном профиле почвы - экспоненциальное. Верхний слой почвы (5 см) и подстилка содержат от 92 - 95% радионуклидов в сосновых лесах на почвах с автоморфным режимом увлажнения до 70% в черноольховых лесах с гидроморфным режимом увлажнения и оторфованным слоем почвы.

На начальных этапах после поступления радиоактивных веществ на поверхность почвы вся активность в лесных и луговых экосистемах сосредоточивается в верхнем листовом слое подстилки О1 и ветоши (более 90% от суммарной плотности). В последующем наблюдаются существенные различия в поведении радионуклидов в подстилках рассматриваемых биогеоценозов, которые с течением времени нарастают.

Количество радионуклидов, поступающих в минеральную толщу лесных почв, инверсно отражает удерживающую способность подстилки. В минеральные горизонты радионуклиды, как правило, поступают в миграционно-подвижных формах (за исключением их части, перемещающейся в составе частиц радиоактивных выпадений без их разрушения, в результате биогенных процессов и лессиважа, а также на участках с невыраженным слоем подстилки) [32].

Поэтому специфика их распределения в этой части профиля в большей степени определяется физическими и физико-химическими свойствами почв, а не физико-химической формой радиоактивных выпадений.

Таким образом, интенсивность вертикального перераспределения радионуклидов в целом определяется всей совокупностью процес-

сов почвообразования, но в качестве ведущего фактора могут выступать разные показатели в зависимости от конкретных биоклиматических условий территории загрязнения и времени.

Неоднородность сложения лесных почв (т.е. наличие в профиле органогенного слоя - подстилки - и минеральной толщи) является дополнительным фактором, усложняющим параметризацию процессов миграции радионуклидов в этих условиях.

В целом зонами аккумуляции радионуклидов являются низинные и верховые болотные, пойменные торфяно-болотные дерновые и дерново-карбонатные суглинистые почвы.

Более интенсивный вынос характерен для песчаных и супесчаных почв. Для большинства радионуклидов при повышении кислотности почвы увеличивается степень их подвижности.

Мероприятия по предотвращению и снижению токсикологического действия радионуклидов направлены на снижение их подвижности в почвах и поступления в растения.

К ним относятся:

- известкование кислых почв,
- внесение органических и минеральных удобрений,
- внесение мелиорантов - высокоемкостных минералов (искусственных и природных цеолитов),
- захоронение загрязненного слоя на глубину 40 - 50 см

В агробиогеоценозах основная масса радионуклидов почти равномерно распределяется в пахотном слое почвы (25 - 30 см). Для целинных земель радионуклиды распределяются в вертикальном профиле почвы по экспоненциальному закону с преобладанием в поверхностных слоях.

По мере углубления удельная активность их в почвенных слоях уменьшается многократно. На лугах радионуклиды прочно удерживаются дерниной в верхнем слое (5 см), чему способствует большое количество гумуса. Важным фактором в поведении радионуклидов в болотных почвах является обилие разнообразных органических соединений, которые высвобождаются при анаэробном разложении фитомассы растений в условиях избыточного увлажнения.

Распределение радионуклидов в вертикальном профиле торфяников происходит почти равномерно до той глубины, где торфяной слой переходит в минеральный.

В лесных экосистемах аккумулятором радионуклидов является подстилка. Как правило, она является биогеохимическим барьером на пути вертикальной миграции радионуклидов, степень выраженности которого зависит от ее типа, строения и мощности, наличия или отсутствия мохового покрова.

В лиственных лесах, где подстилка неполнопрофильная и мало-мощная, ее удерживающая способность невелика.

10.4. Воздействие радиоактивного излучения на живые компоненты окружающей среды

Накопление растениями радионуклидов зависит от комплекса факторов, среди которых можно выделить четыре основные группы: физико-химические свойства радионуклидов, физико-химические свойства почвы, биологические особенности растений и агротехника культур.

Поступление радионуклидов из почвы зависит от ее физико-химических свойств: чем выше в ней содержание гумуса, обменных катионов, илистой и глинистой фракции, а, следовательно, и уровень плодородия, тем слабее поглощение растениями большинства радионуклидов.

Попавшие по пищевой цепи в организм животных радионуклиды вовлекаются в метаболические процессы, от интенсивности которых в конечном счете зависит накопление радиоактивных элементов в продукции животноводства.

Всех животных, подвергшихся радиационному облучению, делят на четыре группы:

1. предназначенные к использованию по прямому назначению;
2. нуждающиеся в лечении;
3. предназначенные к убою;
4. подлежащие убою и утилизации.

Животные первой группы с легкой степенью тяжести лучевой болезни нуждаются только в хорошем кормлении и содержании.

Ко второй группе относят молодняк животных со средней степенью тяжести лучевой болезни и полноценной продуктивностью, а также высокоценных животных с тяжелой степенью лучевой болезни.

Третья группа включает в свой состав животных с тяжелой и крайне тяжелой степенью тяжести лучевой болезни, а также со средней степенью (ослабленные, старые и низкопродуктивные). Этим животных лечат для продления жизни до убоя.

Все остальные животные входят в состав четвертой группы.

При ее многочисленности определяют очередность убоя.

В принципе, животных, подвергшихся только внешнему облучению, следует убивать как можно раньше из-за потери упитанности.

При внутреннем облучении убой задерживают для снижения удельной радиоактивности за счет выведения нуклидов из организма.

Механизмы воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты, в том числе и на человека, подразделяют на три этапа.

Первый этап. Первичное действие излучения на биохимические процессы, функции и структуры органов и тканей.

Второй этап. Он связан с воздействием ионизирующего излучения на клетки организма и продолжается от нескольких секунд до нескольких часов. Поражаются различные структурные элементы ядер клеток, в первую очередь ДНК. Происходит повреждение хромосом, которые ответственны за передачу наследственной информации. При этом возникают хромосомные абберации - поломки, перестройка и фрагментация хромосом, обуславливающие отдаленные онкогенные и генетические последствия [43].

Третий этап. Этот этап характеризуется воздействием излучения на организм в целом. Его первые проявления могут возникать через несколько минут (в зависимости от полученной дозы), усиливаться в течение нескольких месяцев и реализовываться через многие годы.

В зависимости от дозы и длительности облучения у животных и людей развивается лучевая болезнь разной формы и степени тяжести. При длительном облучении малыми дозами развивается хроническая форма лучевой болезни (рис. 10.11).



Рис. 10.11 Лучевая болезнь

Она может возникнуть у животных в результате многократно повторяющегося в течение длительного времени внешнего облучения малыми дозами, а также при попадании внутрь организма радиоактивных изотопов, надолго депонирующихся его тканями и органами.

У животных и человека установлены различные синдромы радиационного поражения.

В процессе миграции от источника ионизирующего излучения радионуклиды по естественным пищевым цепям в конечном итоге попадают в организм человека.

Современный человек постоянно находится в полях радиационного излучения разного происхождения. В среднем дозовая нагрузка от радиоактивных ионизирующих лучей на земном шаре составляет около 350 мБэр/год. Чувствительность различных органов и тканей человека к ионизирующему излучению неодинакова.

Для одних тканей и клеток характерна большая радиочувствительность, для других - наоборот, большая радиостойчивость.

Радиостойчивость — это степень устойчивости животных организмов и составляющих их тканей к воздействию ионизирующего излучения.

Радиостойчивость растений — это устойчивость к действию радиоактивных излучений.

Радиоустойчивость почв — это способность почв накапливать и удерживать радионуклиды

Радиоустойчивость (радиорезистентность) — это мера чувствительности биологического вида к действию ионизирующих излучений.

Наиболее чувствительны к облучению кроветворная ткань, незрелые форменные элементы крови, лимфоциты, железистый аппарат кишок, половые железы, эпителий кожи и хрусталик глаза; менее чувствительны - хрящевая и фиброзная ткани, паренхима внутренних органов, мышцы и нервные клетки.

Исследованиями, проведенными в различных странах после аварии на Чернобыльской АЭС, было показано, что эффект облучения щитовидной железы радиоактивными изотопами йода в несколько раз превосходит эффекты облучения от внешнего источника излучения (рис. 10.12).

На территории России в 1986 г. подверглось облучению радиоизотопами йода более 5 млн человек.



Рис. 10.12 Авария на Чернобыльской АЭС

Все эти люди имеют повышенную вероятность заболевания радиационно- индуцированным раком щитовидной железы и риск врожденных патологий у последующих поколений.

Контрольные вопросы

1. Химическое загрязнение почвы и группы загрязнителей.
2. Загрязнение сернистым газом.
3. Загрязнение пылью и золой.
4. Загрязнение солями щелочных и щелочноземельных металлов.
5. Загрязнение агрохимикатами.
6. Загрязнение органическими газами и жидкостями, а также радиоактивными веществами.
7. Биологическое загрязнение почвы.
8. Методы биологического исследования почв и основные принципы их применения.

Глава 11. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ БИОЦИДАМИ, МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ УДОБРЕНИЯМИ

11.1. Загрязнение почв биоцидами

Обеспечение постоянно растущего населения планеты высококачественными продуктами питания - важнейшая задача современного будущего земледелия.

Продукты питания — это продукты животного, растительного, микробиологического, минерального, искусственного или биотехнологического происхождения в натуральном, обработанном или переработанном виде, которые предназначены для употребления человеком в пищу.

Решение ее возможно при постоянной заботе о плодородии почвы.

Плодородие почвы — это способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности.

Плодородие почвы — это эмерджентное свойство почвы: оно появляется только при взаимодействии её компонентов.

Почва состоит из перегноя, воды, воздуха, глины и песка. На её плодородие существенно влияет содержание азота, фосфора, калийных солей и других веществ.

Одним из путей восстановления утраченного плодородия почв является разумное землевладение, широкое грамотное использование агрохимикатов, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на почву и растения [1].

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (ФАО) — организация ООН, основной задачей которой является борьба с голодом.

ФАО выступает в качестве форума, где развитые и развивающиеся страны на равных обсуждают и согласовывают политические решения в сфере продовольственной безопасности (рис. 11.1).

Кроме того, ФАО служит источником информации и оказывает помощь развивающимся странам в улучшении практик сельского хозяйства, лесоводства и рыбоводства.

Организация стремится обеспечить здоровое питание и продовольственную безопасность для всех.

Девиз организации на латинском языке - «*Fiat panis*» - переводится как «*Да будет хлеб*».



Рис. 11.1 Эмблема ФАО

По классификации ФАО к современным агрохимикатам относятся средства химизации сельского хозяйства, оказывающие огромное влияние на агроценозы и их продуктивность.

В их число входят химические средства защиты растений, минеральные удобрения, регуляторы роста растений, искусственные структурообразователи почвы и т.п.

Агрохимикаты — это группа удобрений, а также химические мелиоранты, предназначенные для питания растений и регулирования плодородия почв.

В категорию агрохимикатов входят следующие виды удобрений:

- минеральные (азотные, фосфорные, калийные, известковые и другие);
- органические (созданные на основе пептидов и аминокислот);
- органоминеральные (состоящие из гуминовых кислот, обработанных минеральными соединениями);
- микробиологические (минеральные вещества с добавлением штаммов бактерий);
- химические мелиоранты (косвенные удобрения).

Основная цель применения агрохимикатов — прямое воздействие на плодородные свойства почв и увеличение урожайности.

Необходимость применения химических средств защиты растений от вредителей и болезней определяется тем, что потери урожая без применения ядохимикатов могут составлять около 50%.

В целом в сельском хозяйстве России применяется около 250 наименований химических средств.

Пестициды (биоциды) - это химические вещества, предназначенные для уничтожения вредных живых организмов, главным образом вредителей сельского хозяйства.

Пестициды — это вещества химического либо биологического происхождения, предназначенные для уничтожения вредных насекомых, грызунов, сорняков, возбудителей болезней растений и животных.

Также пестициды могут использоваться в качестве дефолианта, десиканта и регулятора роста.

Понятие пестицидов включает различные группы веществ, например:

- гербициды (для уничтожения сорняков);
- инсектициды (для уничтожения насекомых-вредителей);
- фунгициды (для уничтожения патогенных грибов);
- зооциды (для уничтожения вредных теплокровных животных).

Применение пестицидов связано с высоким риском загрязнения окружающей среды и нарушением экологии. При попадании в организм они могут представлять опасность для здоровья.

К пестицидам относятся также дефолианты. Мировой ассортимент пестицидов насчитывает более 100 тысяч наименований на основе более чем 700 химических веществ органической и неорганической природы.

Годовое производство пестицидов превышает 2 млн т. Уничтожая вредителей сельского хозяйства, пестициды снижают засоренность полей на 70 - 95%, потери урожая и затраты в сельском хозяйстве в 2 - 3 раза [13].

Пестициды поступают в биосферу путем непосредственного внесения или с протравленными семенами, отмирающими частями растений, трупами насекомых; мигрируют в почве, в водах (рис. 11.2).



Рис. 11.2 Внесение пестицидов

Они оказывают неодинаковое воздействие на почвенную биоту и биохимическую активность почв. Особую опасность представляют стойкие кумулятивные пестициды: триазин, симтриазин, хлордан, гептахлор - они обнаруживаются в почве спустя десять и более лет после применения.

Поступая в почвы, пестициды мигрируют в них по профилю с нисходящими токами дождевых или растительных вод, причем скорость и глубина миграции зависят от дозы токсиканта, его летучести и адсорбируемости, а также от водного и теплового режимов почвы. Остаточные количества пестицидов обнаруживают на глубине 200 см и более.

При поверхностном стоке, вызываемом осадками или орошением, пестициды перемещаются по поверхности почвы, скапливаясь в ее депрессиях.

Попадая в почвенно-грунтовые воды в малых концентрациях, пестициды изменяют к худшему органолептические свойства воды (рис. 11.3; 11.4)

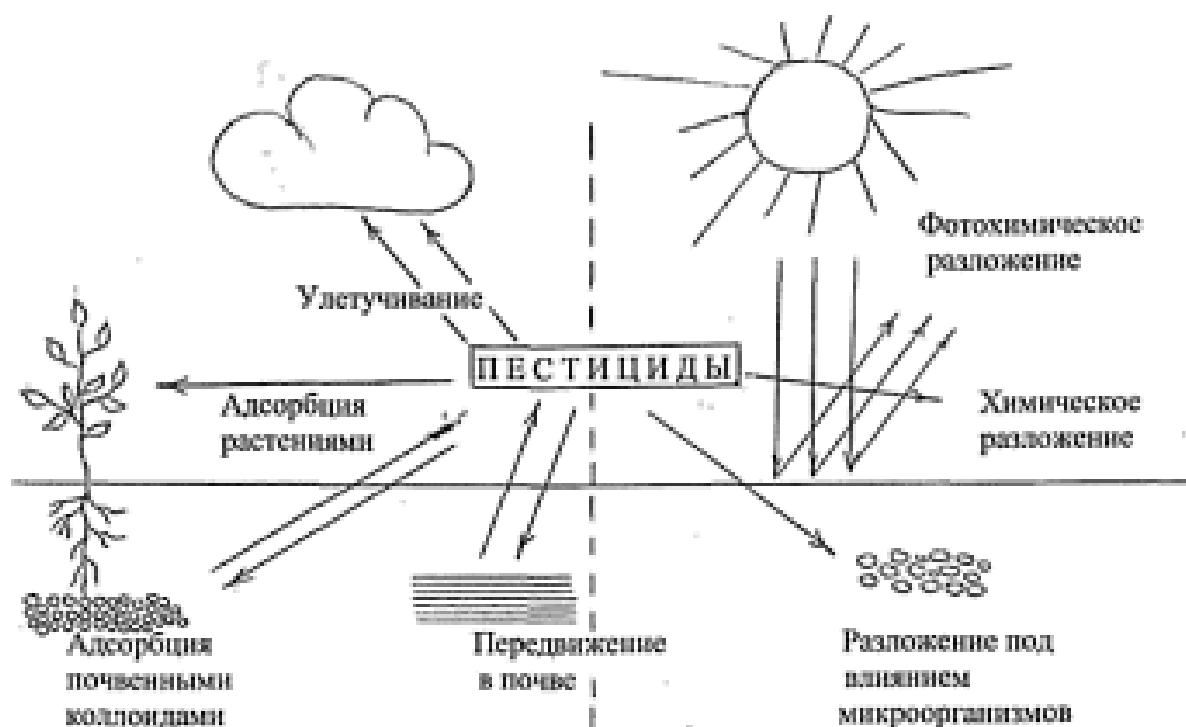


Рис. 11.3 Поведение пестицидов в почве

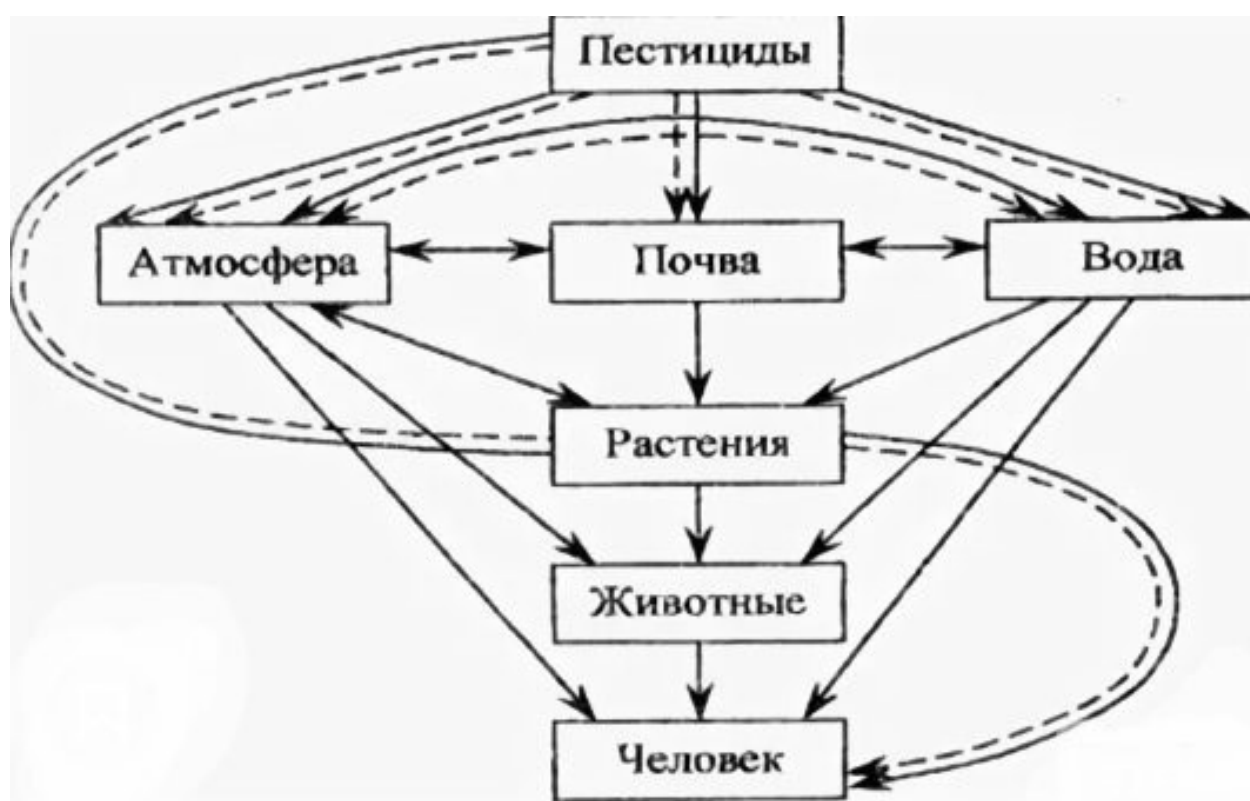


Рис. 11.4 Поведение пестицидов в почве

В годы массового применения пестицидов на хлопковых полях их обнаруживали в артезианских скважинах на глубине 80 м, а их концентрация в арыках превышала допустимую в 3 - 4, а иногда и в десятки раз [6].

Все яды, применяемые в сельском хозяйстве как средство борьбы с вредителями и болезнями растений, в большей или меньшей степени ядовиты для животных и человека.

Широкое их применение оказывает всевозрастающее влияние не только на растения, но и на все живое население Земли. Примечательно, что лишь небольшая доза пестицидов достигает организмов, действительно подлежащих уничтожению. Значительная же их часть отрицательно действует на полезные организмы, в том числе обитающие в почвах.

Ядохимикаты влияют на микрофлору и микрофауну почвы, вызывают заметные сдвиги в биохимических и микробиологических процессах, сопровождающихся повышенным образованием и выделением углекислого газа, аммиака, аминокислот и других продуктов метаболизма.

При этом изменяется ход и интенсивность процессов распада органических веществ почвы - клетчатки, белка, сахаров.

Пестициды снижают качество сельскохозяйственной продукции: ухудшаются хлебопекарные и пищевые свойства муки, повышается «водянистость» мяса.

Опасность биоцидного загрязнения биосферы вообще и почв в частности усугубляется тем, что ядохимикаты обнаруживаются только трудновыполнимыми специфическими методами анализа, проявляются через заболевания и гибель организмов.

Любые химические вещества, смертельные для одних организмов, не могут не оказывать вредного влияния на другие организмы. Массовая гибель разных животных организмов общеизвестна.

Остаточные количества пестицидов распространяются в окружающей среде, оказывают токсическое действие на ее компоненты.

Наиболее широкое распространение получили гербициды, препараты для борьбы с сорными растениями.

Гербициды влияют на интенсивность и направленность обменных процессов в растениях, на их биологическую ценность и содержание различных питательных веществ.

На долю пестицидов приходится около 0,2% от общего количества загрязняющих веществ. Хотя эта доля мала, но опасна высокая биологическая активность пестицидов. Пестициды влияют на все звенья системы «почва - корма - животное - животноводческая продукция - человек».

Помимо прямого действия, они могут создавать метаболиты, значение которых для всего живого еще не полностью известно. Сохраняясь в почве, они могут оказываться в составе продуктов. Критерием гигиенической оценки пищевых продуктов должны служить уровни остаточных пестицидов.

***Инсектициды** - препараты для уничтожения насекомых и клещей.*

***Инсектициды** — это вещества химического или биологического происхождения, применяемые для борьбы с насекомыми-вредителями.*

Одна из основных групп пестицидов.

Инсектициды используют:

- для защиты от насекомых — вредителей сельскохозяйственных и лесных растений;
- для защиты от насекомых — вредителей сырья и пищевой продукции;
- для борьбы с насекомыми — переносчиками болезней человека и животных;
- для борьбы с насекомыми, вредящими в жилищах;
- для защиты от насекомых — вредителей различных материалов (шерсти, кожи, меха, древесины и т. п.), книг, произведений искусства, биологических коллекций и т. д..

При работе с инсектицидами необходимо соблюдать меры безопасности и инструкцию по применению, так как некоторые из них могут представлять опасность для здоровья человека или животных.

Самые сильные из них: ДДТ (дихлордифенил трихлорметил-метан, гексахлоран, ГХЦГ (гексахлорциклогексан) (рис. 11.5).

Широкое использование ДДТ привело к тому, что он стал одним из наиболее распространенных веществ, загрязняющих все природные среды. В 70-е гг. развитые страны ввели строгие ограничения на использование ДДТ [6].

Однако мировое потребление ДДТ изменилось незначительно, центр использования его переместился в развивающиеся страны.

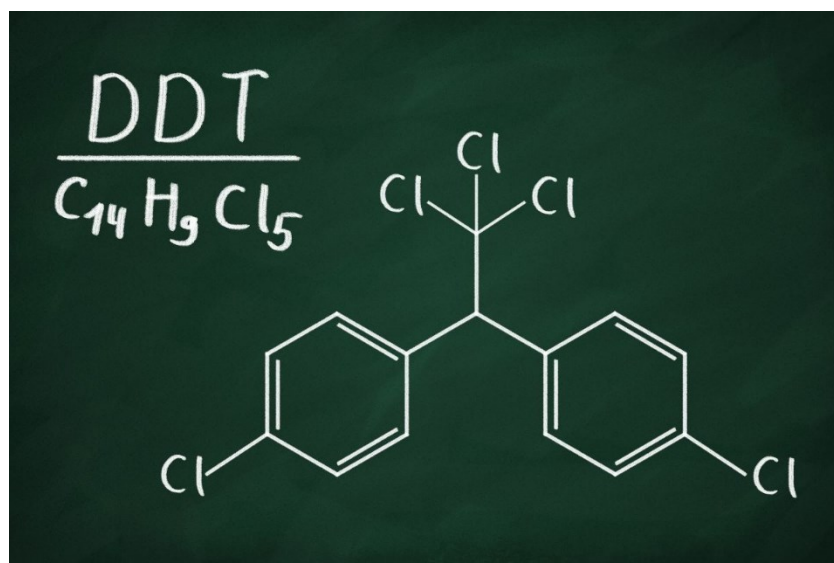


Рис. 11.5 Формула ДДТ

Устойчивость биоцидов зависит от структуры веществ, входящих в их состав. По масштабам производства и применения, по ассортименту и химическим свойствам различают несколько групп гербицидов.

Производные карбоновых кислот (уксусной, бензойной, валериановой кислот). Коммерческие препараты имеют другие названия. Препараты хорошо растворимы в воде.

Действие их основано на том, что они нарушают нормальную дифференциацию тканей, белковый, углеводный, нуклеиновый обмен в растениях. Сила их действия зависит от замещений в структуре производных, особенно от фенильного и хлорфенильного радикалов. На сорбционные взаимодействия этих препаратов с почвой влияют металлы-заместители.

Производные карбаминовой кислоты. Токсичное действие возрастает при введении атома хлора в структуру гербицида.

Производные мочевины. Мочевина - полный амид угольной кислоты. Гербицидное действие обусловлено ингибированием фотоллиза воды при фотосинтезе.

Амины - производные аммиака, в молекуле которых один или несколько атомов водорода замещены углеводородными радикалами.

Производные фенола - ароматические соединения с бензольным кольцом, имеющие гидроксильную группу, непосредственно связанную с углеродом ароматического ядра. Другим примером является карбоновая кислота, гидроксильное производное бензола. Широко используются в качестве гербицидов нитрофенолы, хлорфенолы.

Гетероциклические соединения с одним гетероатомом в цикле. По биологической активности стоят на первом месте. Среди них есть инсектициды, фунгициды, гербициды, стимуляторы роста.

Шестичленные гетероциклы с двумя атомами азота, или ди-азины. Могут быть образованы разные структуры в зависимости от расположения атомов азота в кольце.

Шестичленные гетероциклы с тремя атомами азота, или триазины. Имеют разное расположение атомов азота в 6-членном кольце. К ним относятся симазин, атразин. Действие препарата зависит от заместителей при аминогруппах [41].

Поступая в почву, пестициды неизбежно оказываются в составе вод. Превращения пестицидов в окружающей среде зависят от их собственных свойств, от сочетания влияния природных условий: почвы, воды, воздуха. Пестициды в почве подвергаются различным превращениям, которые демонстрирует таблица 11.1

Таблица 11.1

Превращения пестицидов в почве

Факторы, определяющие начальную концентрацию пестицида в почве	Пути исчезновения пестицида, определяющие концентрацию пестицида в почве
Структура пестицидов Физические свойства Условия применения Тип почвы Климатические параметры Покровная культура	Сорбция Испарение Вымывание Транслокация Деструкция Микробиологические превращения

Соотношение между скоростями названных процессов разное. Сорбция почвой существенно влияет на сохранность в почве гербицида, его фитотоксичность.

В то же время сорбированные формы менее доступны для химического, фотохимического, микробиологического разложения.

Перераспределение биоцидов по профилю и в горизонтальном направлении происходит под воздействием почвенной влаги, в результате диффузии с почвенным воздухом, в процессах сорбции и десорбции, миграции растворов, эмульсий, суспензий.

Применение ядохимикатов и длительность их сохранения в почве зависят как от химического состава почв, так и от природы самих препаратов.

Некоторые ядохимикаты претерпевают различные химические превращения, переходят в другие соединения, иногда более токсичные, чем исходные.

Скорость разложения пестицидов в почве зависит от типа действующего вещества, гранулометрического состава и биологической активности почвы, а также от погодных условий и агротехники возделывания культур.

На скорость разложения пестицидов в почве оказывают влияние:

- гранулометрический состав почвы,
- реакция ее среды,
- гидротермические условия.

На суглинистых почвах пестициды разлагаются быстрее, чем в почвах легкого состава; хлорорганические пестициды в кислой почве сохраняются дольше, нежели в щелочной.

Органическое вещество почвы связывает многие пестициды в водно-нерастворимые и малодоступные для почвенных организмов формы, вследствие чего токсиканты не подвергаются гидролизу и, несмотря на высокую биологическую активность гумусированных почв, сохраняются в них длительное время.

Повышенная температура почвы способствует десорбции пестицидов, связанных коллоидами. На эти процессы также влияют окислительно-восстановительные условия почвы: одни пестициды быстрее метаболируются в анаэробных условиях, другие - в аэробных.

Управлять процессами разложения пестицидов в почве можно лишь при детальном знании ее свойств и факторов, определяющих эти процессы. Поэтому меры защиты почв от накопления ядохимикатов основываются на детальном изучении свойств почв и поведения токсикантов, их биологической активности, погодно-климатических, агротехнических, геоморфологических условий.

Для каждой почвенно-климатической зоны страны должны разрабатываться свои рекомендации по применению и обезвреживанию пестицидов в сельскохозяйственных угодьях с учетом остаточного токсического действия и длительности сохранения их в почве.

Самоочищение биосферы от пестицидов возможно абиотическим и биотическим путем.

К *абиотическим процессам* относятся:

- разложение пестицидов вследствие гидролиза,
- окисление кислородом воздуха,
- растворение,
- термическая и фотохимическая деструкция до простейших нетоксичных веществ.

Гидролиз пестицидов ведет к образованию их гидроксианалогов, не обладающих фитотоксичными свойствами.

Гумусовые кислоты в этих процессах выполняют каталитическую роль, они повышают скорость разложения пестицида.

Фотохимическое превращение и разложение пестицидов происходит под действием энергии солнечного света. Фотолиз эффективен в регионах с высокой солнечной активностью (табл. 11.2).

Окисление пестицидов в водах возможно под влиянием перекиси водорода. H_2O_2 - неотъемлемая часть природных вод. Она образуется преимущественно биохимическим путем диатомовых и зеленых водорослей [25].

Возможно образование ее как промежуточного продукта при фотохимических и каталитических реакциях окисления органических веществ. Содержание H_2O_2 в природных водах может достигать 105 моль/л.

Таблица 11.2

Классификация почв по способности сорбировать пестициды

Класс	Баллы	Свойства почв			
		Гумус, %	pH	Сумма поглощенных оснований, мг - экв/100 г	Фракция < 0,01 мм, %
	5	>8	5,0 - 6,0	>60	45 - 40
4	4	6 - 8	6,0 - 6,5	40 - 60	40 - 30
3	3	4 - 6	6,5 - 7,0	20 - 40	30 - 20
2	2	2 - 4	7,0 - 7,5	10 - 20	20 - 15
1	1	1 - 2	>7,5	<10	15 - 10

Перекись водорода может играть ведущую роль в окислительной деструкции хлор- и фосфорорганических соединений, ГХЦГ, ДДТ, ПХБ, нефтепродуктов, соединений азота, фенола, тиосодинамий.

Эффект состоит в том, что на свету происходит фотолиз H_2O_2 , в результате образуются гидроксильные радикалы, которые взаимодействуют с органическими компонентами природных вод, образуя мало-реакционные соединения.

Разложение пестицидов микроорганизмами зависит от:

- температуры,
- влажности,
- pH,
- гранулометрического состава,
- биологической активности почв,
- обеспеченности почв питательным субстратом,
- плотности
- разнообразия микробного населения почв.

Большинство пестицидов может быть разложено микроорганизмами, но время для этого требуется разное.

Проявляются как общие, так и специфические особенности влияния разных факторов на деструкцию пестицидов.

Активность как химического, так и биологического разложения растет с увеличением температуры до определенного предела. Влажность влияет и на ход процессов гидролиза, и на разложение микроорганизмами.

Уровень pH влияет как на активность микроорганизмов, так и на изменение сорбционных свойств почв. Сорбция влияет не только на сохранность гербицида, но и на его фитотоксичность.

Сорбированные формы более устойчивы, менее доступны для химического, фотохимического, микробиологического разложения. В тяжелых почвах разложение пестицидов, как правило, идет труднее.

Под влиянием микроорганизмов происходит или полное разложение пестицида или частичное разрушение связей в молекуле, отщепление отдельных фрагментов, распад кольца и алифатических структур с образованием промежуточных продуктов.

Устойчивость пестицидов в почве - в значительной мере функция свойств самого пестицида.

По способности разлагаться пестициды делят на группы с разным характерным временем сохранения в почве:

- продолжительного периода сохранения (18 месяцев и более). К ним относится большинство хлорорганических пестицидов;
- стойкие в течение 18 месяцев (производные мочевины, пик-ло-рам, симазин);
- сохраняющиеся до 12 месяцев: производные бензойных кислот;
- сохраняющиеся в почве до 6 месяцев: нитроанилины;
- сохраняются более 3 месяцев: производные карбаминовой кислоты, алифатические карбоновые кислоты, фосфорорганические соединения.

Подобное деление носит относительный характер, так как скорость разложения пестицидов зависит от физико-химических свойств почв, от температуры, влажности.

При температуре, близкой к 5°C, разложение не происходит, при температуре 15 - 35°C и влажности 20 - 75% устойчивость линейно зависит от влажности и температуры.

Высокая сорбционная способность почв снижает скорость деградации пестицидов.

Последствия применения пестицидов в почве частично удается регулировать:

- агротехническими приемами - обработкой,
- выбором сорта и культуры, способом внесения токсикантов,
- глубиной внесения
- применением орошения и удобрений,
- сроком внесения.

В посевах пропашных культур и на паровых участках вследствие лучшей аэрации детоксикация пестицидов, по-видимому, происходит более интенсивно, чем в посевах зерновых.

Корне- и клубнеплоды поглощают и выносят ядохимикаты в больших количествах, нежели другие культуры.

Рекомендовано в ряде случаев заменять сплошную обработку посевов ленточной, которая не уступает первой по эффективности. Приняты меры ответственности за строгое соблюдение правил хранения и расходования ядохимикатов в сельском и лесном хозяйствах страны.

11.2. Загрязнение почв минеральными и органическими удобрениями

***Удобрения** - это материальная основа количества и качества получаемой растениеводческой продукции, источник биогенных элементов для растений.*

***Удобрения** – вещества, предназначенные для улучшения питания растений и повышения плодородия почв.*

Целью внесения удобрений является увеличение урожая сельскохозяйственных культур и улучшение качества получаемой продукции.

В то же время применение удобрений и других средств химизации - это весьма активное влияние на природную среду.

***Химизация** - это широкое внедрение достижений химии и химических методов обработки вещества во все отрасли народного хозяйства.*

***Химизация** - одно из основных направлений технического прогресса, характеризуемое развитием химического производства и внедрением химических процессов и новейших химических материалов во все отрасли народного хозяйства.*

Наличие различных токсических примесей в минеральных удобрениях, неудовлетворительное их качество, а также возможное нарушение технологии их использования могут привести к серьезным негативным последствиям. В настоящее время в индустриально развитых странах, а также в ряде регионов нашей страны применяются высокие дозы минеральных удобрений, и их негативное влияние на природную среду приобретает опасный характер.

Основные причины загрязнения природной среды удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования, следующие:

- Водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы.
- Интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.
- Нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры.
- Несовершенство технологии транспортировки, хранения, туковомешения и внесения удобрений.
- Несоответствие качества и свойств минеральных удобрений.

Недостаток общепринятой транспортировки удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефиците специализированных автотранспортных средств (рис. 11.6).



Рис. 11.6 Транспортировка удобрений

Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям.

Увеличение объема складских емкостей, а также совершенствование механизированной технологии работы на складах, т.е. погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения с заданным соотношением питательных элементов в тукосмеси, существенно снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения.

Одной из важных причин непроизводительного расходования минеральных удобрений, снижения их положительного действия являются неравномерное распределение по поверхности поля и их сегрегация (расслоение) при транспортировке и внесении [39].

Недобор урожая от неравномерности внесения удобрений возрастает при использовании высококонцентрированных удобрений, при повышении доз, при высокой отзывчивости культуры на удобрения.

Нарушение научно обоснованной агротехнологии применения удобрений является одной из основных причин потерь удобрений и загрязнения окружающей среды.

При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Азотные удобрения решают проблему белка, а, следовательно, повышают уровень продуктивности земледелия и животноводства.

При нарушении же технологии их применения они могут оказать существенное негативное воздействие на биосферу - почву, воду, атмосферу, растения, а через них - на животных и человека. Потери азота из удобрений бывают довольно значительными. Он усваивается в полевых условиях примерно на 40%.

Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 15 - 25% от внесенного, а потери от вымывания зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т.д.

В нечерноземной зоне в среднем вымывается 10 - 15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах - 20 - 25 кг/га, а на суглинистых - до 10 кг/га. Избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания.

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. Потери фосфатов чаще всего происходят в результате эрозии почвы.

В результате поверхностного смыва почвы с каждого гектара уносится до 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая способность глинистых и суглинистых почв связывать фосфаты в воднорастворимые комплексы удерживает его от миграции по профилю почвы, тем более до грунтовых вод.

Потери калия более значительны, чем фосфора. В нечерноземной зоне вымывание калия составляет 5 - 10 кг/га пашни и более в зависимости от вида культуры, гранулометрического состава почвы, количества атмосферных осадков и т.д.

Повышение коэффициента использования калия и уменьшение потерь достигается за счет комплекса современных мер (оптимальное

сочетание со всеми питательными элементами, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение и др.).

Интенсивное применение минеральных удобрений усиливает миграцию и потери кальция, магния, серы и других биогенных элементов.

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства.

Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв, созданию неблагоприятных условий для роста растений. В этом случае возрастает потребность в известковании почв и нейтрализации кислотности самих удобрений.

Существенным недостатком многих минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсичных тяжелых металлов (кадмия, свинца, мышьяка).

Содержание небольших доз микроэлементов (Cu, Mo, Mn, B, Zn) полезно, если не превышает токсической нормы.

Систематическое внесение с минеральными удобрениями незначительных примесей тяжелых металлов и других токсичных веществ, ведущее к накоплению их в почве, представляет очень серьезную экологическую опасность.

Токсические элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняют их в технологическом процессе. Например, 50 - 80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с 1 т необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора - это приводит к ухудшению свойств и плодородия почвы, к ингибированию в ней биологических процессов, нарушению биохимических процессов в растениях [11].

Фтор отрицательно влияет на фотосинтез и биосинтез белка, нарушает деятельность таких ферментов как энолаза, фосфоглюкомутаза, фосфатаза.

Фтор может накапливаться в продуктах питания, в пшенице, картофеле, рисе, отрицательно влияя на здоровье животных и человека.

Большую опасность представляет кадмий фосфатов. Он близок по свойствам кальцию и трудно (и дорого) выделяется из фосфатных руд.

Потенциальным источником загрязнения почв культурных угодий являются представляющие особую опасность применяемые в качестве удобрения отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс и др.

Обычно их применяют в больших дозах, так как полезного компонента в них мало. Систематическое их использование чревато насыщением почвы тяжелыми металлами и другими вредными веществами до токсического уровня.

В свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы.

Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Ca - 28,3; SO₃ - 55,5; P₂O₅ - 1,5; F - 0,30; Sr - 1,8 - 2,0. Фосфогипс вносится для улучшения солонцовых почв в дозах 5 - 20 т/га, с этим в почву попадает от 100 до 400 кг/га стронция. Критическое содержание стронция в почве может достигаться при внесении 40 т/га фосфогипса, что за два цикла вполне реально.

Многочисленные пути возможного загрязнения природной среды агрохимическими средствами ведут к многостороннему негативному влиянию практически на все звенья биосферы.

Неблагоприятное воздействие удобрений, различных отходов, применяемых в качестве удобрений и химических мелиорантов, можно свести в основном к следующему.

Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы.

Нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай и его качество.

Попадание питательных элементов удобрений и почвы в поверхностные и грунтовые воды приводит к усиленному росту водорослей, образованию планктонов, т.е. к эвтрофированию природных вод с вытекающими отсюда негативными последствиями.

Попадание удобрений и их соединений в атмосферу отрицательно сказывается на деятельности аграрных и других предприятий, здоровье животных и человека. Высказываются также опасения о возможном разрушении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее закиси азота (N_2O), образующейся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

Нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Влияние агрохимических средств на свойства и плодородие почвы. Почва - важное звено биосферы, и она в первую очередь подвергается сложному комплексному воздействию удобрений и других агрохимических средств, которые могут оказывать на нее следующее влияние:

- вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.
- из атмосферы;
- мобилизовывать или иммобилизовывать макро- и микроэлементы почвы;
- ослаблять или активизировать биологическую фиксацию N_2
- подкислять или подщелачивать среду;
- способствовать вытеснению ионов в почвенный раствор вследствие физико-химического их поглощения;
- способствовать или препятствовать химическому поглощению биогенных и токсичных элементов;
- улучшать или ухудшать свойства почвы, ее биологическую и ферментативную активность;
- усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений;
- усиливать минерализацию гумуса или способствовать его синтезу;

Многостороннее воздействие на почву агрохимических средств можно показать на следующих примерах.

Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность, ускоряет вымывание из технологического горизонта кальция и магния, увеличивает ненасыщенность почв основаниями, в целом снижает плодородие почвы.

В этом случае применение минеральных удобрений необходимо сочетать с известкованием как приемом химической мелиорации почвы, тогда в комплексе создаются оптимальные условия питания растений и улучшения свойств почвы.

Известкование снижает кислотность почвы и улучшает ее свойства, усиливает биологическую активность, мобилизует фосфор, молибден, но иммобилизует железо, цинк, никель, медь, кобальт, марганец и другие элементы.

Известкование также ослабляет токсичность многих тяжелых металлов, таких как кадмий, свинец, стронций, ртуть и др., снижая их доступность растениям.

11.3. Загрязнение почв органическими удобрениями

Внесение в почву удобрений не только улучшает питание растений, но и изменяет условия существования почвенных микроорганизмов, которые также нуждаются в минеральных элементах.

При благоприятных климатических условиях количество микроорганизмов и их активность после удобрения почвы значительно возрастают. Усиливается распад гумуса.

Органические удобрения (органика) улучшают физико-химические свойства почвы, улучшают водный и воздушный режимы почвы. Они содержат все необходимые для растения элементы питания, в том числе и микроэлементы, и являются полными удобрениями.

Органические удобрения — удобрения, содержащие элементы питания растений преимущественно в форме органических соединений. К ним относят навоз, компосты, торф, солому, зелёное удобрение, ил (сапропель), комплексные органические удобрения, природные цеолиты, промышленные и хозяйственные отходы и др.

Органические удобрения способствуют формированию и сохранению гумуса. При внесении органики происходит улучшение структуры почвы.

К органическим удобрениям относятся: навоз, навозная жижа, коровяк, компост, перегной, биогумус, сидераты (зеленые удобрения), птичий помет, кроличий помет, фекалии, торф, ил.

Органические удобрения оказывают многостороннее действие на важнейшие агрономические свойства почвы и при правильном использовании резко повышают урожай сельскохозяйственных культур.

С ними в почву поступают все необходимые растениям макро- и микроэлементы. Они являются для растений источником не только питательных минеральных веществ, но и углекислоты.

Под влиянием микроорганизмов эти удобрения разлагаются в почве и выделяют много углекислоты, которая насыщает и почвенный воздух, и наземный слой атмосферы. Следовательно, резко улучшается воздушное питание растений [35].

Органические удобрения - энергетический материал и источник пищи для почвенных микроорганизмов.

При систематическом внесении больших доз органических удобрений происходит окультуривание почвы, она обогащается гумусом, улучшаются ее биологические, физические, химические, физико-химические свойства, водный и воздушный режим.

Исключительно важно противозерозийное значение удобрений. Они способствуют ускоренному появлению всходов, защищающих почву от водной и ветровой эрозии.

Удобрения улучшают развитие надземной вегетативной массы растений. Под влиянием удобрений лучше развивается корневая система растений, связывающая почву. Анализ структуры органических удобрений в нашей стране показывает, что основное место в ней принадлежит отходам животноводства.

Навоз - это наиболее распространенное и ценное органическое удобрение.

Навоз — органическое удобрение, состоящее из твёрдых и жидких экскрементов сельскохозяйственных животных с подстилкой (древесными опилками, торфом, соломой) или без неё.

Из всех видов органических удобрений главное место принадлежит навозу.

Навоз оказывает комплексное многостороннее воздействие на почву. Это источник азота, зольных макроэлементов и микроэлементов. В этом заключается важнейшая первостепенная ценность навоза как удобрения.

Навоз пополняет запас подвижных питательных элементов в почве и улучшает круговорот макро- и микроэлементов в системе «почва - растение».

Значительная часть питательных веществ, использованных растениями из почвы и из внесенных в почву минеральных удобрений, с кормами и подстилкой поступает на скотный двор, переходит в навоз, с которым затем возвращается в почву.

Поэтому полное и систематическое внесение накапливаемых от животноводства органических удобрений улучшает баланс питательных веществ в земледелии и способствует повышению урожая и его качества.

Составные части свежего подстилочного навоза - в основном твердые и жидкие экскременты животных и подстилка (рис. 11.7). В экскременты поступает примерно 40 - 50% органического вещества, столько же азота и 60 - 70% фосфора и калия от исходного содержания их в корме.



Рис. 11.7 Составные части свежего подстилочного навоза

Качество навоза зависит от условий и продолжительности хранения. Чем дольше хранится навоз, тем выше относительное содержание в нем азота, фосфора, калия за счет разложения органического вещества.

Химический состав и удобрительная ценность навоза зависят от вида животных, кормов, вида и количества подстилки, способа хранения навоза и т.д. Поскольку отклонения по химическому составу навоза бывают довольно значительными, для правильного определения дозы навоза желательно перед внесением определить его химический состав.

Под влиянием органического вещества навоза усиливаются микробиологические процессы в почве, в результате повышается растворимость, а, следовательно, и доступность растениям элементов минерального питания.

Навоз является важным источником микроэлементов. При внесении навоза и получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур почва слабее обедняется микроэлементами, чем при использовании минеральных удобрений [41].

В торфе содержится немного доступных для растений питательных элементов, но зато он увеличивает содержание гумуса и улучшает структуру почвы (рис. 11.8). Тёмный цвет торфа способствует поглощению тепла и быстрому прогреву почвы.

Торф — это осадочная рыхлая горная порода, которая применяется как горючее полезное ископаемое.



Рис. 11.8 Осадочная рыхлая горная порода

По степени разложения различают несколько видов торфа.

- Верховой отличается слабой степенью разложения растительных остатков и высокой кислотностью.
- Низинный характеризуется высокой степенью разложения и меньшей кислотностью.
- Переходный торф занимает промежуточное положение между ними.

Торф собирают в болотах, потом раскладывают для проветривания или закладывают в компостную кучу. Вносят торф в любое время года, даже зимой по снегу. Но нельзя забывать, что к нему необходимо добавлять известь. На огороде торф лучше всего добавлять в компосты, а также в почвенные смеси для выращивания рассады и защищённого грунта.

Сидераты – это органическое удобрение представляет собой запаханную в почву высокостебельную растительную массу одно- или многолетних бобовых растений (ярового гороха, яровой вики, кормовых бобов, люпина, сераделлы), а также фацелии, гречихи, подсолнечника и др (рис. 11.9).

Сидераты — растения, выращиваемые с целью последующей заделки в почву для улучшения её структуры, обогащения азотом и угнетения роста сорняков.



Рис.11.9 Сидераты

По своему действию сидераты почти равноценны свежему навозу.

Питательные элементы, содержащиеся в растительной массе сидератов, попадая в почву и постепенно разлагаясь, переходят в доступное состояние для последующих культур, а органическое сидеральное вещество способствует восстановлению почвенной структуры.

Некоторые сидеральные культуры (люпин, гречиха, горчица) увеличивают растворимость и доступность для растений малоподвижных почвенных фосфатов, а люпин может использовать труднодоступные формы калия [27].

В зависимости от степени истощения почвы сидераты размещают на участке всё лето или как промежуточную культуру.

Компосты — удобрения, получаемые в результате разложения смеси различных органических веществ растительного и животного происхождения под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов.

Компосты готовят из различных органических материалов.

Растительные остатки, не поражённые вредителями и болезнями, фекалии, птичий помёт, навоз и другие материалы складывают в рыхлую кучу (штабель) на ровной поверхности, переслаивая дерновой землёй или торфом.

Основой кучи служит подстилка из листьев, опилок или торфа слоем 10 - 12 см. Периодически кучу увлажняют водой или раствором удобрений, через 40 - 50 суток компост перемешивают, а когда его температура достигнет 60°C - уплотняют.

Компост — органическое удобрение, получаемое в результате разложения различных органических материалов под влиянием деятельности микроорганизмов (бактерии, грибы и т. д.) и макроорганизмов (насекомые, черви и т. д.). 3

Компост помогает решить несколько задач:

- переработать почти все органические отходы на участке;
- заменить покупную землю, органические удобрения и мульчу;
- заменить собой практически готовую тёплую грядку: перегнивающие ботва и навоз выделяют тепло.

Компост готовится из практически любой доступной органики, например, из скошенной травы, опавших листьев, с добавлением торфа или любого грунта.

Некоторые виды компоста:

- Навозно-земляной. В его состав входят навоз и земля, срок приготовления — три месяца.
- Сборный садовый. В его состав входят остатки растений, листья и пищевые отходы, срок приготовления — четыре-шесть месяцев.
- Торфонавозный. В его состав входят торф и навоз, срок приготовления — один год.
- Торфо-фекальный. В его состав входят торф и нечистоты, срок приготовления — около четырёх лет.
- Лингинно-пометный. В его состав входят птичий помёт, листья и отходы деревообрабатывающей промышленности, срок приготовления — пять-шесть месяцев.
- Лиственный. В его состав входят мусор, листья, навоз, зола и дёрн, срок приготовления — до шести месяцев.
- Лингинно-минерально-навозный. В его состав входят навоз, известь и лингин (смесь извести, суперфосфата, хлористого калия и сульфата аммония), срок приготовления — три месяца.
- Опилочно-дерновой. В его состав входят опилки, мусор, известь и земля, срок приготовления — два года.

Обычно зрелый компост можно получить через два года после закладки, но с современными ускорителями компостирования или аэрированием компостной кучи процесс сокращается до одного сезона (рис. 11.10).



Рис. 11.10 Компост

Летом компостную кучу защищают от солнца, на зиму укрывают землёй или опилками слоем 30 - 40 см. Через 8 - 11 месяцев компост можно использовать. Сорняки, давшие семена, компостируют отдельно, так как они сохраняют всхожесть около пяти лет.

Вермитехнология - мероприятия по культивированию компостных дождевых червей на разных субстратах в различных экологических условиях, производство и накопление их экскрементов (копролитов или биогумуса) и биомассы червей.

Использование вермитехнологии на научной основе является серьёзной альтернативой существующим технологиям утилизации всех органических отходов:

- бытовые отходы,
- навоз животных,
- осадки очистных сооружений.
- осадки сточных вод,
- отходы деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, рыбной, мясной и пищевой промышленности,
- отходы овощных баз, магазинов, кафе и ресторанов,
- птичий помёт,

В то же время применение удобрений и других средств химизации — это весьма активное влияние на природную среду. Основные причины загрязнения природной среды удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования, следующие:

- водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы;
- интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.
- нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры;
- несовершенство технологии транспортировки, хранения, туковомешения и внесения удобрений;

Значительный ущерб окружающей среде наносит бессистемное использование бесподстильного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства в нарушение научно обоснованных рекомендаций.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений являются:

- нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
- недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.
- недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;
- недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5 - 2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, приводит к ежегодным потерям миллионов тонн жидких органических фракций;
- неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и применения бульдозеров и других примитивных средств, значительно снижающих эффективность органических удобрений;

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений позволяет заключить, что для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

- в хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо вводить промежуточные культуры на корм скоту или в качестве зеленого удобрения (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически
- на 1 га севооборотной площади должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота;
- осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиваемой соломой или зеленым удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется осенью и в весенне-летний период, что значительно сокращает потери).

- предотвращает потери нитратов за счет вымывания вследствие интенсивного их использования растениями);

Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия наносит эрозия почвы. Она приобретает глобальный характер и требует коллективных усилий всех стран, как и при решении других проблем охраны окружающей среды.

Степень развития эрозии почвы и размер ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др. [13].

Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д.

Среди комплекса важнейших противоэрозионных мероприятий мощным агротехническим средством повышения противоэрозионной устойчивости почв является применение органических и минеральных удобрений.

Растения на удобренной почве развивают более мощную корневую систему, улучшают физические свойства почв, что способствует защите почв от эрозии. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения и заделки удобрений является важным средством предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы.

При неграмотном использовании в качестве удобрений отходов животноводства и птицеводства происходит загрязнение почвы и сельскохозяйственных растений патогенными микроорганизмами и семенами сорных трав, перенасыщение питательными веществами пахотного слоя удобряемых угодий [27].

С поверхностными стоками биогенные элементы и патогены поступают в водоемы, стимулируя развитие сине-зелёных водорослей, снижая содержание кислорода в воде, вызывая замор рыбы.

Избыточное внесение экскрементов животных в почву ведет к увеличению содержания в ней подвижного цинка железа, иногда меди и магния, к повышению содержания нитратов.

Применение больших количеств навоза на пастбищах также приводит к появлению избыточного содержания нитрат-иона в почвах

и кормовых культурах, вызывая нарушения обмена веществ у животных. Аналогичное действие вызывает силос с повышенным содержанием нитратов. Продукция животноводства также может содержать нитраты выше допустимых норм, если животных кормили подобными кормами.

Загрязнение биосферы при использовании отходов животноводства в земледелии происходит из-за недостатков технологии их переработки и внесения в почву.

К таким недостаткам можно отнести:

- недостаток оборудования для использования в орошении животноводческих стоков и жидкой фракции бесподстилочного навоза, отсутствие трубопроводного транспорта, полевых навозохранилищ;
- недостаточная оснащенность большинства хозяйств техникой для компостирования, навозохранилищами и площадками для компостирования, что снижает количество и качество компостов на базе навоза;
- недостаточное использование подстилочных материалов (соломы и торфа), несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5 - 2,0 раза снижает выход органических удобрений и вызывает ежегодные потери десятков миллионов тонн жидких органических компонентов навоза;
- отсутствие современной техники для внесения органических удобрений, недостаточное использование навозоразбрасывателей и, как следствие, неравномерное внесение навоза и компостов;
- при проектировании животноводческих комплексов нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади (2 - 3 условные головы крупного рогатого скота на 1 га), что ведет к избыточному внесению навоза в пахотные почвы и, как следствие, к загрязнению окружающей среды.
- широкое использование свежего, неперепревшего навоза, повышающее засоренность посевов и опасность загрязнения почв патогенами и гельминтами;

В настоящее время проблемой, особенно обострившейся с развитием животноводства, является нарушение правил внесения органических удобрений. Опасность заключается в накоплении нитратов в почве и грунтовых водах.

Нитраты (соли азотной кислоты) - один из элементов питания растений. И именно они являются самым опасным органическим веществом.

Экологические аспекты, связанные с использованием агрохимических средств в земледелии, сложны и многообразны. Возникает необходимость интеграции исследований в разных отраслях науки, координации общих усилий в решении экологических проблем в земледелии, количество которых, несомненно, будет возрастать в связи с необходимостью повышения продуктивности агроценозов на основе внедрения достижений научно-технического прогресса.

В решении комплекса вопросов по оптимизации свойств и плодородия почвы важную роль выполняют агрохимические средства - удобрения и химические мелиоранты [21].

В классическом смысле агрохимические средства оказывают многостороннее воздействие на почву:

- пополняют запасы биогенных элементов растений,
- усиливают мобилизацию питательных веществ в почве,
- оказывают влияние на энергию жизненных процессов в ней и изменяют свойства самой почвы.

Поэтому в земледелии цивилизованных стран мира признано, что в доле прироста продукции растениеводства они составляют 40 - 50%. Удобрения и химические мелиоранты выполняют важные экологические функции в современном земледелии, а также являются наиболее эффективными средствами регулирования плодородия почвы.

Контрольные вопросы

1. Биоиндикация на уровне биосферы.
2. Причины и виды загрязнения почвы и их биоиндикация.
3. Физическое, химическое и биологическое загрязнение почвы.
4. Классификации загрязнения почвы.
5. Причины физических нагрузок на почву.

Глава 12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

12.1. Экологические последствия применения пестицидов

Необходимость применения химических средств защиты растений от вредителей и болезней определяется тем, что потери урожая без применения ядохимикатов могут составлять около 50 %.

Средства защиты растений — комплексное название средств и препаратов, которыми обрабатываются садовые, декоративные, комнатные и сельскохозяйственные культуры с целью не допустить или максимально уменьшить влияние на них болезней, вредителей и других негативных естественных или искусственных факторов

В зависимости от назначения химические вещества подразделяются на:

- препараты для защиты растений от вредителей и болезней
- гербициды и средства предуборочной обработки культур.

Первая группа - наиболее обширная и включает в себя акарициды, бактерициды, гематоциды, зооциды, лимакиды, инсектициды, лаввициды, нематоциды, овициды, фунгициды и иные препараты. Чаще всего применяются инсектициды. Эти ядохимикаты могут включать в себя хлорорганические, фосфорорганические и неорганические соединения ртути, свинца, мышьяка и других элементов.

Гербициды применяются как средство избирательного уничтожения сорной растительности. Чаще всего используются различные химические препараты для защиты люцерны, кукурузы, сахарной свеклы, подсолнечника, озимой пшеницы. Из средств предуборочной обработки культур наибольшее применение нашли дефолианты и стимуляторы роста.

В целом в сельском хозяйстве России применяется около 250 наименований химических средств.

Все яды, применяемые в сельском хозяйстве как средство борьбы с вредителями и болезнями растений, в большей или меньшей степени ядовиты для животных и человека.

Широкое их применение оказывает всевозрастающее влияние не только на растения, но и на все живое население Земли.

Примечательно, что лишь небольшая доза пестицидов достигает организмов, действительно подлежащих уничтожению. Значительная

же их часть отрицательно действует на полезные организмы, в том числе обитающие в почвах.

Ядохимикат — это органические или неорганические соединения, которые используются для борьбы с сорняками, насекомыми, грызунами на полях и в помещениях

Ядохимикаты влияют на микрофлору и микрофауну почвы, вызывают значительные сдвиги в биохимических и микробиологических процессах, сопровождающихся повышенным образованием и выделением углекислого газа, аммиака, аминокислот и других продуктов метаболизма.

При этом изменяется ход и интенсивность процессов распада органических веществ почвы - клетчатки, белка, сахаров.

Пестициды снижают качество сельскохозяйственной продукции: ухудшаются хлебопекарные и пищевые свойства муки, повышается «водянистость» мяса. Опасность биоцидного загрязнения биосферы вообще и почв в частности усугубляется тем, что ядохимикаты обнаруживаются только трудновыполнимыми специфическими методами анализа, проявляются через заболевания и гибель организмов.

Вредный компонент для какой-то части живого вещества не может быть нейтральным для другой части, или вредный компонент для одних видов существ вреден и для других.

Любые химические вещества, смертельные для одних организмов, не могут не оказывать вредного влияния на другие организмы. Массовая гибель разных животных организмов общеизвестна.

Перераспределение биоцидов по профилю и в горизонтальном направлении происходит под воздействием почвенной влаги, в результате диффузии с почвенным воздухом, в процессах сорбции и десорбции, миграции растворов, эмульсий, суспензий [32].

Применение ядохимикатов и длительность их сохранения в почве зависят как от химического состава почв, так и от природы самих препаратов. Некоторые ядохимикаты претерпевают различные химические превращения, переходят в другие соединения, иногда более токсичные, чем исходные.

При изучении последствий систематического применения физиологически активных соединений в биоценозах была установлена возможность их превращения в нетоксичные соединения путем полного разложения или образования нетоксичных комплексов.

Детоксикация — это процесс разрушения и обезвреживания различных токсических веществ химическими, физическими или биологическими методами.

Вся система использования сельскохозяйственных угодий должна быть направлена на полную и скорейшую детоксикацию всех биоцидов, поступающих в почвы.

Обычно выделяют группы физических, физико-химических и биологических факторов детоксикации.

К физическим факторам относят сорбцию биоцидов высокодисперсными минералами и органическими почвенными коллоидами. Этот процесс зависит от свойств почвы, природы и свойств адсорбента, климатических и экологических факторов. Внесенные в почву пестициды в период холодной и сырой погоды связываются верхним слоем почвы, поэтому предохраняются от вымывания и разложения. В период потепления они десорбируются и вновь проявляют свою активность. Спустя некоторое время после внесения пестицида в почве устанавливается равновесие между сорбированной и находящейся в растворе фракциями токсиканта. О степени десорбции токсиканта принято судить по содержанию его в жидкой фазе.

К физическим факторам детоксикации относят также улетучивание и термическое разложение. Степень испарения токсикантов из почвы сильно зависит от ее влажности - сорбция легколетучих пестицидов сухой почвой гораздо выше, чем влажной. Разложение токсиканта усиливается с повышением температуры.

Из физико-химических факторов наиболее существенным является фоторазложение (фотолиз), главным действующим началом которого служат длинноволновые ультрафиолетовые лучи солнечной радиации.

Фотодиссоциация, фотолиз, фоторазложение или фотофрагментация - это химическая реакция, в ходе которой молекулы химического соединения расщепляются фотонами.

Это определяется как взаимодействие одного или нескольких фотонов с одной молекулой-мишенью.

Фотодиссоциация не ограничивается видимым светом.

При этом происходит фотоокисление многих пестицидов и их метаболитов, находящихся на поверхности почвы, растений и водоемов.

На втором этапе фотолитического разложения пестицида особое значение приобретает взаимодействие его с молекулами воды.

Важную роль играет рН раствора, температура, состав газов, свойства присутствующих в воде соединений.

Под действием коротковолновой части солнечной радиации многие фенолы и близкие им соединения способны превратиться в гидрохинон и пирокатехин, которые могут гидроксилироваться до тетраоксибензола.

Последний в результате окислительного конденсирования может превращаться в стабильные полимеризованные продукты. В результате фотолиза многие пестициды трансформируются в менее токсичные продукты.

Химические превращения пестицидов в почве и водной среде в основном представляют собой гидролитические и окислительные процессы.

Скорость этих процессов зависит от вида и числа атомов галоидов, длины углеводородной цепочки. Увеличение контакта токсиканта с почвой ускоряет гидролиз (например, коллоидная фракция почвы катализирует реакции пестицидов с различными активными частицами почвенных компонентов).

Значительная роль в химическом разложении пестицидов принадлежит свободно-радикальным процессам. Источниками свободных радикалов в почве являются гуминовые кислоты, а также смолы, пигменты, антибиотики, витамины.

Биологическое превращение и разложение пестицидов в почве обусловлено главным образом микробиологической детоксикацией. Микробиологическое разложение пестицидов является главным путем детоксикации почв, а всякая активизация микробиологической деятельности содействует исчезновению ядохимикатов из почв.

Скорость микробиологического разложения пестицидов в почве определяется содержанием гумуса, температурой и влажностью почвы, наличием подстилки, содержанием питательных веществ и другими факторами. Хорошие условия для развития почвенных микроорганизмов интенсифицируют биологическую детоксикацию пестицидов.

На скорость разложения пестицидов в почве оказывают влияние механический состав почвы, реакция ее среды, гидротермические условия.

На суглинистых почвах пестициды разлагаются быстрее, чем в почвах легкого состава; хлорорганические пестициды в кислой почве сохраняются дольше, нежели в щелочной.

Органическое вещество почвы связывает многие пестициды в водно-нерастворимые и мало доступные для почвенных организмов формы, вследствие чего токсиканты не подвергаются гидролизу и, несмотря на высокую биологическую активность гумусированных почв, сохраняются в них длительное время.

Повышенная температура почвы способствует десорбции пестицидов, связанных коллоидами. На эти процессы также влияют окислительно-восстановительные условия почвы: одни пестициды быстрее метаболируются в анаэробных условиях, другие - в аэробных.

Управлять процессами разложения пестицидов в почве можно лишь при детальном знании ее свойств и факторов, определяющих эти процессы. Поэтому меры защиты почв от накопления ядохимикатов основываются на детальном изучении свойств почв и поведения токсикантов, их биологической активности, погодно-климатических, агротехнических, геоморфологических условий [23].

Для каждой почвенно-климатической зоны страны должны разрабатываться свои рекомендации по применению и обезвреживанию пестицидов в сельскохозяйственных угодьях с учетом остаточного токсического действия и длительности сохранения их в почве.

Частично судьбу пестицидов в почве удастся регулировать агротехническими приемами - обработкой, применением орошения и удобрений, выбором сорта и культуры, способом внесения токсикантов, его глубиной, сроком.

В посевах пропашных культур и на паровых участках вследствие лучшей аэрации детоксикация пестицидов, по-видимому, происходит более интенсивно, чем в посевах зерновых. Здесь же необходимо отметить, что корне- и клубнеплоды поглощают и выносят ядохимикаты в больших количествах, нежели другие культуры.

Рекомендовано в ряде случаев заменять сплошную обработку посевов ленточной, которая не уступает первой по эффективности.

Приняты меры ответственности за строгим соблюдением правил хранения и расходования ядохимикатов в сельском и лесном хозяйствах страны.

Однако почва - не единственный объект ландшафта, где концентрируются пестициды. Они фиксируются в грунтовых водах, родниках, открытых водоемах, накапливаются практически во всех живых организмах, растениях, наземных животных, птицах, насекомых, в фауне водных объектов. Стала закономерностью их постоянная миграция по цепям питания организмов, включая человека.

Главным условием резкого сокращения поступления биоцидов в окружающую среду, в том числе и в почвы, является организация современного культурного ландшафта, обязательным компонентом которого выступают лесопосадки, защитные лесополосы, что значительно повышает устойчивость биocenозов вследствие увеличения многообразия видов.

Фактором естественной защиты является концентрация в лесополосах насекомоядных птиц, насекомых-энтомофагов, истребляющих вредителей. Поэтому основной предпосылкой интегрированной борьбы с вредителями служит правильная организация всего ландшафта, а не только севооборота.

При этом осуществляется комплекс агрохимических приемов с использованием естественных врагов вредителей, а применение пестицидов ограничивается своевременной обработкой местных очагов их появления.

Система использования сельскохозяйственных угодий должна быть направлена на полную и скорейшую детоксикацию всех биоцидов, поступивших в почвы. Микробиологическое разложение биоцидов - главный путь детоксикации почв, а всякая активизация микробиологической деятельности содействует исчезновению ядохимикатов из почв.

Сегодня вряд ли можно полностью отказаться от применения ядохимикатов. Но нужно быть осторожным с дозировкой, транспортировкой, хранением и т.д.

Рациональное использование пестицидов должно осуществляться путем снижения норм расхода препаратов, оптимизации сроков и способов применения, подбора препаратов, наиболее безвредных для

среды и человека, сокращения обработок на основе учета экологических и экономических порогов вредности фитофагов.

Хорошо известны биологически безвредные для здоровья людей методы борьбы с вредителями. К сожалению, их применяют крайне редко. Кроме того, ощущается острый дефицит специалистов по защите растений. Их практически нет, а экологическая безграмотность в защите растений приводит к трудноисправимым негативным последствиям.

Нельзя оставлять без внимания развивающийся сектор индивидуального садоводства, постоянно и бесконтрольно поставляющий на рынки далеко не чистую, хотя и красивую продукцию.

Широкая пропаганда безъядохимикатного возделывания овощей и фруктов должна быть неотложной. Известны многие простые и безвредные способы защиты растений в индивидуальном секторе: это использование коровяка, настоев из побегов помидоров, ботвы картофеля, табака, различные ловушки с пахучими веществами и др.

Пестициды - ядохимикаты для борьбы с сорняками (гербициды), с грибковыми болезнями растений (фунгициды) и вредителями (зооциды, инсектициды и др.).

В зависимости от назначения химические вещества подразделяются на препараты для защиты растений от вредителей и болезней, гербициды и средства предуборочной обработки культур.

Первая группа - наиболее обширная и включает в себя бактерициды, гематоциды, акарициды, зооциды, лимациды, инсектициды, нематоциды, овициды, фунгициды и иные препараты.

Чаще всего применяются инсектициды. Эти ядохимикаты могут включать в себя хлороганические, фосфорорганические и неорганические соединения ртути, свинца, мышьяка и других элементов.

Все яды, применяемые в сельском хозяйстве, в разной степени ядовиты для человека и животных. Однако сейчас без них нельзя обойтись.

Растения, как и человек, нуждаются в фармацевтической защите. Но следует помнить золотое правило Парацельса: «Все яд, дело в количестве».

Поэтому, нужно быть осторожным с дозировкой, транспортировкой, хранением и т.д. Рациональное использование пестицидов

должно осуществляться путем снижения норм расхода препаратов, оптимизации сроков и способов применения, подбора препаратов, наиболее безвредных для среды и человека, сокращения обработок на основе учета экологических и экономических порогов вредности фитофагов.

Хорошо известны биологически безвредные для здоровья людей методы борьбы с вредителями. Главные условия создания чистых агроценозов и ландшафтов - всемерное сокращение применения ядохимикатов, высокая техника, использование биологических средств защиты растений и устойчивых к болезням и вредителям сортов.

12.2. Экологические последствия применения минеральных удобрений

Многочисленные исследования ученых-агрохимиков показали, что разные виды и формы минеральных удобрений неодинаково влияют на свойства почв.

Внесенные в почву удобрения вступают в сложные взаимодействия с нею. Здесь происходят всевозможные превращения удобрений, которые зависят от целого ряда факторов: свойств удобрений и почвы, погодных условий, агротехники.

От того, как происходит превращение отдельных видов минеральных удобрений: фосфорных, калийных, азотных и т.д., зависит влияние их на почвенное плодородие.

Отрицательное действие удобрений на окружающую среду связано прежде всего с несовершенством свойств и химического состава удобрений.

Существенными недостатками многих минеральных удобрений являются: наличие остаточной кислоты (свободная кислотность) вследствие технологии их производства; физиологическая кислотность и щелочность, образующаяся в результате преимущественного использования растениями из удобрений катионов или анионов; высокая растворимость туков.

Длительное применение физиологически кислых или щелочных удобрений изменяет реакцию почвенного раствора, приводит к потерям гумуса, увеличивает подвижность и миграцию многих элементов.

К значительному недостатку многих минеральных удобрений можно отнести наличие в них тяжелых металлов (кадмия, свинца, никеля и др.)

Наиболее загрязнены тяжелыми металлами фосфорные и комплексные удобрения. Это связано с тем, что практически все фосфорные руды содержат большие количества стронция, редкоземельные и радиоактивные элементы.

Расширение производства и применение фосфорных и комплексных удобрений ведет к загрязнению окружающей среды соединениями фтора, мышьяка. При существующих кислотных способах переработки природного фосфатного сырья степень утилизации соединений фтора в производстве суперфосфата не превышает 20 - 50 %, в производстве комплексных удобрений - еще меньше. Содержание фтора в суперфосфате достигает 1 - 1,5, в аммофосе 3 – 5 %. В среднем с каждой тонной необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора.

В удобрениях, в отличие от природных фосфатных руд, фтор находится в виде растворимых соединений и легко поступает в растение. Повышенное накопление фтора в растениях нарушает обмен веществ, ферментативную активность (ингибирует действие фосфатазы и др.), отрицательно действует на фото- и биосинтез белка, развитие плодов. Фтористые соединения весьма опасны для здоровья людей и животных [5].

Повышенные дозы фтора угнетают развитие животных, приводят к отравлению; у человека при содержании в воде фтора больше 2 мг/л разрушается эмаль зубов, а при 8 мг/л развивается остеосклероз.

Однако важно понимать, что не сами минеральные удобрения как источники биогенных элементов загрязняют окружающую среду, а их сопутствующие компоненты.

Внесенные в почву растворимые фосфорные удобрения в значительной степени поглощаются почвой и становятся малодоступными растениям и не передвигаются по почвенному профилю. Установлено, что первая культура использует из фосфорных удобрений всего 10 - 30% P_2O_5 , а остальное количество остается в почве и претерпевает всевозможные превращения.

В кислых почвах фосфор суперфосфата в большей части превращается в фосфаты железа и алюминия, а в черноземных и во всех карбонатных почвах - в нерастворимые фосфаты кальция.

Систематическое и длительное применение фосфорных удобрений сопровождается постепенным окультуриванием почв.

Известно, что длительное применение больших доз фосфорных удобрений может привести к так называемому «зафосфачиванию», когда почва обогащается усвояемыми фосфатами и новые порции удобрений не оказывают эффекта.

В этом случае избыток фосфора в почве может нарушить соотношение между питательными веществами и иногда снижает доступность растениям цинка и железа.

Как правило, этот «остаточный» фосфор удобрения отличался большей подвижностью, доступностью растениям, чем природные фосфаты почвы. При систематическом и длительном удобрении необходимо изменять соотношения между питательными элементами с учетом их остаточного действия: дозу фосфора следует уменьшать, а дозу азотных удобрений (иногда и калийных) увеличивать.

Калий удобрений, внесенный в почву, подобно фосфору, не остается в неизменном виде. Часть его находится в почвенном растворе, часть переходит в поглощенно-обменное состояние, а часть превращается в необменную, малодоступную для растений форму.

Накопление доступных форм калия в почве, а также превращение в недоступное состояние в результате длительного применения калийных удобрений зависит в основном от свойств почвы и погодных условий. В черноземных почвах количество усвояемых форм калия под влиянием удобрения хотя и увеличивается, но в меньшей мере, чем на дерново-подзолистых почвах, так как в черноземах калий удобрений больше превращается в необменную форму.

В зоне с большим количеством осадков и при поливном земледелии возможно вымывание калия удобрений за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

В районах с недостаточным увлажнением, в условиях жаркого климата, где почвы периодически увлажняются и пересыхают, наблюдаются интенсивные процессы фиксации калия удобрениями почвой.

Под влиянием фиксации калий удобрений переходит в необменное, малодоступное растениям состояние. Большое значение на степень фиксации калия почвами имеет тип почвенных минералов, наличие минералов, обладающих высокой фиксирующей способностью. Таковыми являются глинные минералы.

Большой способностью фиксировать калий удобрений обладают черноземы, чем дерново-подзолистые почвы.

Подщелачивание почвы, вызываемое внесением извести или естественными карбонатами, особенно содой, увеличивает фиксацию. Фиксация калия зависит от дозы удобрения: при повышении дозы вносимых удобрений процент фиксации калия уменьшается.

В целях уменьшения фиксации почвами калия удобрений рекомендуется вносить калийные удобрения на достаточную глубину, чтобы исключить пересыхание и чаще вносить их в севообороте, так как почвы, систематически удобрявшиеся калием, при новом его добавлении фиксируют его слабее. Но и фиксированный калий удобрений, находящийся в необменном состоянии, также участвует в питании растений, так как со временем он может переходить в обменно-поглощенное состояние.

Азотные удобрения по взаимодействию с почвой значительно отличаются от фосфорных и калийных. Нитратные формы азота почвой не поглощаются, поэтому они легко могут вымываться атмосферными осадками и поливными водами.

Аммиачные формы азота поглощаются почвой, но после их нитрификации приобретают свойства нитратных удобрений. Частично аммиак может поглощаться почвой необменно.

Необменный, фиксированный аммоний, растениям доступен в малой степени. Кроме этого, потеря азота удобрений из почвы возможна в результате улетучивания азота в свободной форме или в виде окислов азота.

При внесении азотных удобрений резко изменяется содержание нитратов в почве, так как с удобрениями поступают наиболее легко усвояемые растениями соединения. Динамика нитратов в почве в большей мере характеризует ее плодородие.

Весьма важным свойством азотных удобрений, особенно аммиачных, является их способность мобилизации почвенных запасов, что имеет большое значение в зоне черноземных почв.

Под влиянием азотных удобрений органические соединения почвы быстрее подвергаются минерализации, превращаются в легкодоступные для растений формы.

Некоторое количество питательных веществ, особенно азота в виде нитратов, хлоридов и сульфатов, может проникнуть в грунтовые воды и реки.

Следствием этого является превышение норм содержания этих веществ в воде колодцев, родников, что может быть вредным для людей и животных, а также ведет к нежелательному изменению гидробиоценозов и наносит ущерб рыбному хозяйству.

Миграция питательных веществ из почв в грунтовые воды в разных почвенно-климатических условиях проходит неодинаково. Кроме этого, она зависит от видов, форм, доз и сроков применяемых удобрений [51].

В почвах с непромывным водным режимом загрязнение биосферы нитратами исключается. Они остаются замкнутыми в почвенном профиле и полностью включаются в биологический круговорот.

Вредное потенциальное влияние азота, вносимого с удобрениями, может быть сведено к минимуму путем максимального использования азота сельскохозяйственными культурами. Итак, нужно заботиться, чтобы при повышении доз азотных удобрений увеличивалась эффективность использования их азота растениями. Чтобы не оставалось большого количества неиспользованных растениями нитратов, которые не удерживаются почвами и могут вымываться осадками из корнеобитаемого слоя.

Растения имеют свойство накапливать в своих организмах нитраты, содержащиеся в почве в избыточных количествах. Урожайность растений растет, но продукция оказывается отравленной. Особенно интенсивно аккумулируют нитраты овощные культуры, арбузы и дыни.

Допустимая суточная доза (ДСД) для человека составляет 5 мг на 1 кг веса.

Сами нитраты не оказывают токсичного действия, но под влиянием некоторых кишечных бактерий они могут переходить в нитриты, обладающие значительной токсичностью. Нитриты, соединяясь с гемоглобином крови, переводят его в метгемоглобин, который препятствует переносу кислорода по кровеносной системе. Развивается заболевание - метгемоглобинемия, особенно опасное для детей. Симптомы заболевания: полуобморочное состояние, рвота, диарея.

Изыскиваются новые пути уменьшения потерь питательных веществ и ограничения загрязнения ими окружающей среды. Для уменьшения потерь азота из удобрений рекомендуются медленнодействующие азотные удобрения и ингибиторы нитрификации, пленки, добавки.

Вводится капсулирование тонкозернистых удобрений оболочками серы, пластиков и др. Равномерное высвобождение азота из этих удобрений исключает накопление нитратов в почве.

Большое значение для окружающей среды имеет применение новых, высококонцентрированных, комплексных минеральных удобрений.

Для них характерно то, что они лишены балластных веществ (хлориды, сульфаты) или содержат их незначительное количество. Отдельные факты отрицательного влияния удобрений на окружающую среду связаны с ошибками в практике их применения, с недостаточно обоснованными способами, сроками, нормами их внесения без учета свойств почв Табл. 12.1.

Таблица 12.1

Допустимые уровни содержания нитратов в продуктах растительного происхождения, мг/кг.

Продукт	Грунт	
	открытый	защищенный
Картофель	250	-
Капуста белокочанная: ранняя (до 1 сентября) поздняя	900	- 2
	500	
Томаты	150	300
Огурцы	150	400
Свекла столовая	1400	-
Лук: репчатый перо	80	-
	600	800
Листовые овощи (салат, шпинат, щавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, кинза, укроп)	2000	3000
Дыни	90	-
Арбузы	60	-
Перец сладкий	200	400
Кабачки	400	400
Виноград столовых сортов	60	-
Яблоки	60	-
Груши	60	-
Продукты детского питания (овощи консервированные)	50	-
Морковь: ранняя (до 1 сентября) поздняя	400	-
	250	

Таким образом, применение минеральных удобрений является фундаментальным преобразованием в сфере производства вообще и главное в земледелии, что позволило коренным образом в глобальном плане и в нашей стране в частности, решать проблему продовольствия и сельскохозяйственного сырья. Без применения удобрений сейчас сельское хозяйство не мыслимо.

При правильной организации и контроле применения минеральные удобрения не опасны для окружающей среды, здоровья человека и животных.

Оптимальные научно-обоснованные дозы увеличивают урожайность растений и повышают количество продукции. К недостатку многих удобрений можно отнести наличие в них тяжелых металлов. Особенно загрязнены ими фосфорные удобрения. Поэтому необходим тщательный сертификационный контроль.

Длительное применение физиологически кислых и щелочных туков могут изменить реакцию почвенного раствора. Негативные последствия может иметь избыточное применение азотных удобрений. При этом урожайность растений увеличивается, но продукция оказывается загрязненной нитратами.

Особенно интенсивно аккумулируют нитраты овощные культуры, арбузы и дыни. В крови организмов, т.ч. и человека, нитраты, соединяясь с гемоглобином, препятствуют переносу кислорода и вызывают тяжелое заболевание - метгемоглобинемию.

12.3. Экологические последствия нефтяного загрязнения

Токсичность нефти определяется присутствием летучих ароматических углеводородов - толуола, ксилола, бензола, нафталина и др. Они легко разрушаются и удаляются из почвы. Поэтому период острого токсичного действия сравнительно небольшой.

Напротив, парафины не оказывают сильного токсического действия на почвенную биоту или планктон и бентос морей и океанов, но благодаря высокой температуре отвердевания существенно влияют на физические свойства почвы, изменяют ее структуру. В

ысокое содержание серы свидетельствует об опасности сероводородного загрязнения почв и поверхностных вод.

Легкая фракция нефти (т.кип. $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$), куда входят наиболее простые по строению низкомолекулярные метановые (алканы), нафтенновые (циклопарафины) и ароматические углеводороды, - наиболее подвижная часть нефти.

Большую часть легкой фракции составляют метановые углеводороды с числом углеродных атомов от 5 до 11 (пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, ундекан). Нормальные (неразветвленные) алканы составляют в этой фракции 50-70%.

Метановые углеводороды легкой фракции, находясь в почвах, водной и воздушной средах, оказывают наркотическое и токсическое действие на живые организмы.

Особенно быстро действуют нормальные алканы с короткой углеродной цепью, содержащиеся в основном в легких фракциях нефти. Эти углеводороды лучше растворимы в воде, легко проникают в клетки организмов через мембраны, дезорганизуют цитоплазматические мембраны организма.

Нормальные алканы, содержащие в цепочке менее 9 атомов углерода, большинством микроорганизмов не ассимилируются, хотя могут быть окислены. Их токсичность ослабляется в присутствии нетоксичного углеводорода, который уменьшает общую растворимость алканов.

Легкая фракция, мигрируя по почвенному профилю и водоносным горизонтам, расширяет, иногда значительно, ореол первоначального загрязнения. На поверхности эта фракция в первую очередь подвергается физико-химическим процессам разложения, входящие в ее состав углеводороды наиболее быстро перерабатываются микроорганизмами.

Углеводороды легкой фракции обладают повышенной токсичностью для живых организмов, но их высокая испаряемость способствует быстрому самоочищению природной среды.

Значительная часть легкой фракции нефти разлагается и улетучивается еще на поверхности почвы или смывается водными потоками. Путем испарения из почвы удаляется от 20 до 40% легкой фракции.

Метановые углеводороды во фракции, кипящей выше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (пристан $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$, фитан $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ и др.), практически нерастворимы в воде. Их токсичность выражена гораздо слабее, чем у низкомолекулярных структур.

Содержание твердых метановых углеводородов (парафина) в нефти колеблется от очень малых количеств до 15-20% и более. Эта характеристика очень важна при изучении нефтяных разливов на почвах.

Твердый парафин не токсичен для живых организмов, но вследствие высоких температур застывания ($+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше) и растворимости в нефти ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) в условиях земной поверхности он переходит в твердое состояние, лишая нефть подвижности.

Твердый парафин трудно разрушается, с трудом окисляется на воздухе. Он надолго может «запечатать» все поры почвенного покрова, лишив почву свободного влаго- и газообмена. Это, в свою очередь, приводит к полной деградации биоценоза.

К циклическим углеводородам в составе нефти относятся нафтеновые (циклоалканы) и ароматические (арены). Общее содержание нафтеновых углеводородов в нефти изменяется в среднем от 35 до 60%.

Циклические углеводороды с насыщенными связями окисляются очень трудно, что связано с их малой растворимостью и отсутствием функциональных групп.

Биодеградация — это разрушение сложных веществ, материалов, продуктов в результате деятельности живых организмов.

Биодеградация полярных алканов идет легче, окисление происходит главным образом по месту присоединения боковой цепи или месту соединения циклов.

Ароматические углеводороды - наиболее токсичные компоненты нефти. При концентрации 1% в воде они вызывают гибель всех водных растений. С увеличением содержания ароматических соединений в нефти возрастает ее гербицидная активность. Содержание ароматических углеводородов в нефти изменяется в среднем от 5 до 35%.

Бензол и его гомологи оказывают более быстрое токсическое действие на организм, чем полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Последние действуют медленнее, но более длительное время, являясь хроническими токсикантами [11].

Ароматические углеводороды трудно поддаются разрушению, обычно медленно окисляясь микроорганизмами.

Смолы и асфальтены относятся к высокомолекулярным компонентам нефти, определяя во многом ее физические свойства и химическую активность.

Структурный каркас смол и асфальтенов составляют высококонденсированные полициклические ароматические структуры, состоящие из десятков колец, соединенных между собой гетероатомными структурами, содержащими серу, кислород, азот.

Смолы - вязкие мазеподобные вещества с относительной молекулярной массой 500-1200, асфальтены - твердые вещества, нерастворимые в низкомолекулярных углеводородах с массой 1200-3000. В них содержится основная часть микроэлементов нефти.

Вредное экологическое действие смол и асфальтенов заключается не столько в химической токсичности, сколько в изменении водно-физических свойств почв. Если нефть просачивается сверху, ее смолисто-асфальтеновые компоненты сорбируются в основном в верхнем, гумусовом горизонте, иногда прочно цементируя его. При этом уменьшается поровое пространство почвы.

Смолисто-асфальтеновые компоненты гидрофобны. Обволакивая корни растений, они снижают поступление к ним влаги, в результате чего растения засыхают.

Нефтяные пленки препятствуют нормальному газо- и теплообмену между атмосферой и поверхностными водами, следствием чего явилось снижение численности живых организмов в Мировом океане на 20-30% за последние 20 лет. Несмотря на низкую растворимость в воде, небольшого количества нефти достаточно, чтобы резко ухудшить качество воды.

Нефтяные компоненты образуют с водой эмульсии, которые трудно разрушить. Чаще всего нефтяные пленки плавают на поверхности воды, обволакивая взвешенные частицы и оседая с ними на дно водоемов. Как правило, в районах добычи поверхностные воды загрязнены минеральными солями и органическими соединениями.

Вместе с загрязнением поверхностных вод значительно изменяется и состав почвенно-грунтовых вод, в отдельных случаях на 1-2 порядка. При этом загрязнение может затрагивать пласты подземных вод питьевого назначения.

По существующим нормам ПДК нефти в водоемах рыбохозяйственного назначения не должно превышать 0,05 мг/л, а в водоемах санитарно-бытового использования - 0,1-0,3 мг/л.

При этом даже в концентрациях, значительно ниже предельно допустимых, нефть обладает выраженным мутагенным и ингибирующим действиями.

Значительная группа полициклических углеводородов, находящихся в сырой нефти, являются канцерогенами, губительно воздействующими на гидробионты. Так, концентрация нефти на уровне ПДК (0,05 мг/л) вызывает нарушения в соотношении основных липидных компонентов в теле сеголеток русского осетра, что может привести к патологическим процессам. Кроме того, на рыб и других обитателей водоемов нефть оказывает механическое воздействие, препятствующее движению, питанию и дыханию.

Потребление нефти с кормом сказывается на снижении численности промысловых видов рыб; происходит накопление нефтепродуктов во внутренних органах и икре рыб, ухудшаются пищевые качества рыбопродуктов.

В настоящее время отдельные притоки реки Оби полностью утратили свое рыбохозяйственное значение в связи с тотальным загрязнением их бассейнов.

Общее воздействие нефтепродуктов на состояние гидробионтов принято подразделять на пять категорий:

- непосредственное отравление организмов с летальным исходом;
- серьезные нарушения физиологической активности гидробионтов;
- прямое обволакивание морских животных и птиц нефтепродуктами;
- болезненные изменения в организме гидробионтов, вызванные внедрением углеводородов;
- изменение химических, биологических и биохимических свойств среды обитания.

Опасность отравления нефтью возрастает с увеличением ее концентрации.

Токсичность в водной среде проявляется при концентрации более 1 мг/м³. Даже относительно невысокое содержание нефти (200-400 мг/м³) придает воде специфический запах.

Массовая гибель морских организмов отмечается, как правило, в прибрежных районах [40].

При загрязнении морской воды вдали от берегов, на больших глубинах, токсичные нефтяные фракции успевают частично испариться, частично разбавиться водой до менее опасных концентраций.

Однако и в невысоких концентрациях ароматические углеводороды нефти оказывают губительное воздействие на морские биоценозы: смерть взрослых морских организмов может наступить после нескольких часов уже при концентрации 10-4-10-2%.

***Почвенный покров** - важнейший компонент биосферы Земли, что обусловлено в первую очередь тем фактом, что именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере в целом, исполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений.*

Если это звено будет разрушено или уничтожено на больших пространствах, то установившееся функционирование биосферы необратимо нарушится. Именно поэтому чрезвычайно важно изучение современного состояния почвенного покрова и осуществление контроля за изменением его состояния под влиянием антропогенной деятельности.

Воздействие нефтепромыслов и нефтепроводов на почвенный покров проявляется в основном в механическом нарушении почвенного покрова при строительстве и химическом загрязнении почв при авариях.

Механические и физико-химические факторы воздействия на целостность почвенного покрова

Строительство нефтепромысловых предприятий и прокладка нефтепроводов часто приводит к нарушению не только почвенного покрова, но и ландшафта в целом.

Масштабы нарушений почвенного покрова, вызванных механическим воздействием, зависят, с одной стороны, от размера вводимых сооружений, а с другой - от ранимости природной среды в различных регионах.

Строительно-монтажные и ремонтные работы сопровождаются механическим перемешиванием почвенной толщи, погребением гумусовых, наиболее плодородных горизонтов, загрязнением естественной почвы непочвенными материалами и токсическими веществами. При

этом изменяются не только морфологические признаки почв, но и весь комплекс физических, химических и биологических свойств.

Нарушаются гидрологический, воздушный и тепловой режимы и, как следствие, баланс элементов питания, то есть уровень плодородия почв. Все эти процессы вызывают снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий, ухудшают состояние естественных фитоценозов. Так как почва представляет собой динамичную целостную систему, то изменение физических и химических параметров ее состояния приводит к сдвигу равновесного состояния в сообществах почвенных микроорганизмов.

В целом педотурбация и снятие плодородных горизонтов почвы приводят к двум основным последствиям:

- во-первых, кардинально изменяются собственно почвенные свойства (физические, химические, биологическая активность);
- во-вторых, развиваются несвойственные ненарушенному почвенному покрову гипергенные процессы (водная и ветровая эрозия, заболачивание, деградация болот и др.) либо интенсивность данных процессов возрастает.

Характерным примером объектов, где механический фактор нарушения почвенно-растительного покрова инициировал нежелательные гипергенные процессы, являются предприятия по добыче и транспорту газа на Ямале.

Разрушение хрупких тундровых экосистем вызвало эскалацию водно-эрозионных процессов.

Большую опасность для нормального функционирования почв представляет загрязнение сырой нефтью и нефтепродуктами, которое проявляется в изменении физико-химических свойств почв, в торможении интенсивности биологических процессов, снижении растворимости большинства микроэлементов, резком увеличении соотношения между углеродом и азотом и т.д.

Нефтяное загрязнение препятствует нормальному тепло- и газообмену почв, что может вызвать некоторые изменения климатических условий.

При высоких дозах нефти почвенная масса становится гидрофобной, механические элементы и структурные агрегаты покрываются нефтяной пленкой, которая изолирует питательные вещества от корневых систем растений.

Почвенные частицы слипаются, а при старении и частичном окислении компонентов нефти последняя загустевает и почвенный слой превращается в асфальтоподобную массу, которая совершенно непригодна для произрастания естественной растительности или возделывания сельскохозяйственных культур.

Усиливается кутанообразование, происходит изменение цвета почвы, ухудшается структура, реакция почвенного раствора сдвигается в щелочную сторону, общее содержание углерода увеличивается в 2-10 раз, а количество углеводородов - в 10-100 раз.

Как следствие этого, происходит нарушение экологических функций и экосистемных сервисов почвы. Общая численность и видовое разнообразие почвенных микроорганизмов при этом претерпевают значительные изменения.

При нефтяном загрязнении тесно взаимодействуют три группы экологических факторов:

- уникальная многокомпонентность состава нефти, находящегося в процессе постоянного изменения;
- гетерогенность состава и структуры любой экосистемы, находящейся в процессе постоянного развития;
- многообразие и изменчивость внешних факторов, под воздействием которых находится экосистема: температура, давление, влажность, состояние атмосферы, гидросферы и т.д.

Для достоверной оценки процессов накопления и трансформации нефти и нефтепродуктов в почве, изучения их токсичности, а также для удаления данных веществ необходимо учитывать конкретное сочетание этих трех групп факторов.

При поступлении на земную поверхность нефть оказывается в качественно новых условиях существования: из анаэробной обстановки с замедленными темпами геохимических процессов она попадает в хорошо аэрируемую среду, в которой помимо абиотических факторов большую роль играют биогеохимические факторы, и прежде всего деятельность микроорганизмов.

В почвах нефть и нефтепродукты могут находиться в следующих формах:

- в пористой среде - в парообразном и жидком легкоподвижном состоянии, в свободной или растворенной водной или водно-эмульсионной фазе;

- в пористой среде и трещинах - в свободном неподвижном состоянии, играя роль вязкого или твердого цемента между частицами и агрегатами почвы; в связанном состоянии на частицах почвы, в том числе на гумусовой составляющей почвы;
- в поверхностном слое почвы в виде плотной органоминеральной массы.

Будучи смесью различных по строению и свойствам компонентов, нефть разлагается очень медленно - процессы деструкции одних соединений ингибируются другими, при трансформации отдельных компонентов происходит образование трудноокисляемых форм и т.д.

Преобладание в составе нефти легких фракций способствует быстрому испарению наиболее токсичных компонентов нефти из почв.

Преобладание тяжелых фракций в составе нефти и наличие в ней высокого содержания серы ($>0,5\%$) способствуют тому, что стойкие битуминозные вещества могут длительное время сохраняться и накапливаться в почвах [32].

При одинаковом составе нефти степень опасности загрязнения целиком определяется конкретными природно-климатическими условиями.

Вертикальное передвижение нефти и нефтепродуктов по почвенному профилю создает эффект хроматографической колонки, приводящей к их дифференциации: в гумусово-аккумулятивных горизонтах, сорбируются высокомолекулярные компоненты, содержащие смолисто-асфальтеновые и циклические соединения; легкие углеводороды проникают в нижележащие минеральные горизонты.

Глубина проникновения нефти и ее боковая миграция в различных типах почв зависит от механического состава почв и грунтов, водного режима почв, уровня грунтовых вод, уклона и расчлененности территории, объема разлитой нефти, сезона разлива, мощности и строения напочвенного растительного покрова и др.

Так, на болотных участках глубина проникновения нефти при высоком стоянии грунтовых вод обычно не превышает 10 см.

В торфянисто-подзолистых почвах просачивание происходит только до глубины подзолисто-глеевого горизонта (10-20 см), который становится упором на пути проникновения нефти.

В торфяно-болотных почвах нефть способна проникать на глубину до 20-50 см и растекаться в горизонтальном направлении.

При аварийных выбросах нефти формируются достаточно контрастные ореолы загрязнения, обладающие сложной пространственной структурой. Зональность данных ореолов обусловлена закономерностями радиальной и латеральной миграции загрязняющих веществ.

Среди других причин, определяющих общие особенности строения ореолов загрязнения, наиболее важное место имеют:

- свойства исходных почв и соответственно свойства элементарных геохимических ландшафтов;
- способы использования земель;
- изменение окислительно-восстановительных условий.

В связи с этим скорость деградации нефти, активность самоочищения почв или устойчивое сохранение в них загрязняющих веществ в разных ландшафтах заметно различаются.

Высокая интенсивность процессов трансформации характерна для почв с высоким уровнем естественного плодородия, имеющих благоприятный режим аэрации и высокую биологическую активность; в почвах супераквальных ландшафтов (с избыточным увлажнением) разложение нефти замедлено.

При этом процессы оглеения можно рассматривать как фактор, препятствующий деструкции нефти в почвах.

При авариях нефтепроводов в зимнее время воздействие нефти на окружающую среду будет иметь свою специфику: растительности, находящейся в состоянии покоя, и мерзлым почвам будет нанесен меньший вред, чем летом несмотря на то, что зимой общая эффективность самоочищения от пленок сырой нефти в 3 раза меньше, чем в условиях положительных температур.

Здесь основную роль играет испарение со снежной и ледяной поверхности - 50-80% и фотоокисление - 15-35%. Пятна нефти нарушают термическое состояние снега и льда, тем самым усиливая их таяние. Благодаря этому образуются проталины, препятствующие распространению нефти.

Прекращение растекания нефти и ее локализация будут происходить также за счет увеличения ее вязкости при низких температурах. Лед способен захватывать нефть с поверхности воды в количестве до 25% собственной массы и во время ледохода переносить нефтепродукты на большие расстояния. Льды могут очищать районы загрязнения и загрязнять вторично гидросферу в районах таяния льда [36].

Наибольшая опасность устойчивого загрязнения почв нефтепродуктами может создаться в Тимано-Печорском и Западно-Сибирском бассейнах, где условия разложения химических веществ в почвах крайне неблагоприятны.

Широкое развитие здесь получили процессы мерзлотного оглеения, тиксотропии, криогенной ретинизации техногенных органических веществ и метаморфизации солевых растворов при высокой способности оторфованных горизонтов к поглощению токсических нефтепродуктов и продуктов их распада.

Наименьшая опасность загрязнения почв нефтью складывается в Каракумском нефтегазоносном бассейне, особенно в районах распространения достаточно увлажненных лугово-сероземных почв. Эти районы имеют высокую энерго- и влагообеспеченность с преобладанием почв легкого механического состава и окислительных условий, что способствует быстрому разложению загрязняющих веществ до нетоксичных органических и минеральных соединений или полной минерализации продуктов нефтедобычи.

На территории Русской равнины в районе Днепровско-Припятского нефтегазоносного месторождения наибольшей угрозе загрязнения подвержены подзолистые и дерново-подзолистые почвы, наименьшей - черноземы, где оптимальные условия тепла и влаги способствуют разложению и очищению почв от нефтепродуктов.

На основе имеющихся в настоящее время многочисленных экспериментальных данных и анализа природных особенностей различных типов почв России и стран СНГ можно сделать вывод о том, что опасность остаточного накопления нефтепродуктов в почвенном покрове возрастает с юга на север, а в пределах отдельных биоклиматических зон и провинций - от песчаных почв к суглинистым и глинистым, от автоморфных почв к гидроморфным, от распаханых почв к целинным.

В условиях однородного химического состава и одинаковой мощности техногенного потока устойчивость почв к загрязнению нефтью и нефтепродуктами определяется ландшафтно-геохимической обстановкой и буферностью всей экосистемы (табл. 12.2).

В холодных районах тундры и севера тайги способность почвы к самоочищению очень низкая.

При переходе к таежно-лесным районам она несколько повышается, а в лесостепных и степных - становится высокой, так же, как и в полупустынных и пустынных районах.

Таблица 12.2

Условно принятые скорости самоочищения для нефтезагрязненных почв разных природных зон при одинаковом одноразовом уровне загрязнения (5000 мг/кг) нефтью среднего состава (плотность 0,85-0,87):

Скорость самоочищения	Время
Высокая	До 5 лет
Средняя	До 10 лет
Низкая	До 30 лет и более

Выделяют три основных этапа процесса самоочищения почв от нефтяного загрязнения:

Первый этап трансформации нефти начинается сразу же после загрязнения и длится в среднем около полутора лет. При этом наблюдаются вымывание и проникновение нефти в глубь почвенной толщи, испарение легких фракций, окисление соединений нефти атмосферным кислородом, фотохимическое разложение углеводородов. Происходят процессы разрушения метанонафтенных фракций, вследствие чего увеличивается доля смолистых веществ.

Полициклические ароматические углеводороды в этот период достаточно устойчивы, только частично разрушаются при окислении и в результате протекания фотохимических процессов. Следует подчеркнуть, что микробиологическая активность почв подавлена в силу острого токсического действия подвижных компонентов нефти. На данном этапе содержание нефти в почве может снизиться на 40-50%.

Второй этап трансформации длится в среднем 3-4 года. При этом скорость процессов деструкции соединений нефти снижается. Возрастает численность микроорганизмов (до 25 раз), способных разрушать углеводороды. Происходит разложение самых токсичных метанонафтенных фракций; относительное содержание наиболее устойчивых соединений нефти возрастает.

Третий этап начинается в среднем через 4,5-5 лет после загрязнения. На этой стадии в деструкции нефти принимает участие широкий спектр различных групп микроорганизмов. Начинается разложение

наиболее устойчивых и наименее токсичных смолисто- асфальтеновых компонентов, которые в целом трансформируются за 10-12 лет.

Необходимо подчеркнуть, что длительность этапов самоочищения почв от нефти в значительной степени обусловлена масштабом загрязнения и природно-климатическими условиями территорий.

В гумидной зоне южной тайги наблюдаются совершенно иные закономерности: потери углеводов за 3 месяца составили около 70% в условиях невысокого испарения за счет выноса с водными потоками; в процессе гумификации участвовало не более 20% углеводов нефти (табл. 12.3). То есть в данном случае компоненты нефти не разложились, а мигрировали в сопредельные природные среды, загрязняя их.

Таблица 12.3

Относительная степень повреждения почв, содержащих различные количества нефти

Степень повреждения	Содержание нефти в почве, мг/кг сухой почвы
Легкая - умеренная: некоторое уменьшение роста растительности, если не принимать никаких мер; временное повреждение	5000-20 000
Умеренная - высокая: только некоторые растения нормально развиваются, можно восстановить почву в течение трех лет; без рекультивации восстановление займет в 2-3 раза больше времени	20 000-50 000
Высокая - очень высокая: нефть пропитывает почву на глубину 10 см, только очень немногие растения выживают; при правильной рекультивации почва может быть восстановлена за 3-5 лет; без этого восстановление занимает 20 лет и более	больше 50 000

Нормативы содержания нефтепродуктов в почвах, используемые при рекультивации, различны для земель сельскохозяйственного и несельскохозяйственного назначения.

Если содержание нефтепродуктов в почвах сельскохозяйственного назначения составляет 300 - 1000 мг/кг, то рекультивация должна быть направлена на активизацию почвенных микроорганизмов по деградации углеводов.

Если уровень загрязнения достигает 1000 - 5000 мг/кг, то возникает необходимость замены загрязненного слоя путем удаления последнего, создания рекультивационного слоя способом смешивания загрязненных и чистых слоев почвы, внесения биодеструкторов и т.д.).

При содержании нефтепродуктов более 5000 мг/кг рекомендуется рекультивация, приводящая к созданию инженерно-экологических систем.

Для земель несельскохозяйственного назначения выделяют следующие уровни загрязнения:

- 1000 - 5000 мг/кг - 1-й уровень,
- 5000 - 10 000 мг/кг - 2-й уровень,
- свыше 10 000 мг/кг - 3-й уровень.

В нефтедобывающих районах рекомендует считать безопасными уровни загрязнения почвогрунтов нефтепродуктами в лесостепных и степных районах до 10 000 мг/кг.

За нижний безопасный уровень загрязнения почв принимают 1000 мг/кг, а рекультивационные работы рекомендуют начинать при содержании нефтепродуктов более 5000 мг/кг.

Контрольные вопросы

1. Чувствительные и аккумулятивные биоиндикаторы антропогенных воздействий.
2. Биодиагностика антропогенных воздействий на почву.
3. Различные по масштабу и по территориальному размаху воздействия на почву.
4. Перспективы биоиндикационных исследований.

Глава 13. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Безопасное обращение с отходами – одна из наиболее актуальных современных экологических проблем

Безопасное обращение с отходами - одна из наиболее актуальных современных экологических проблем, связанных с потенциальной опасностью отходов для здоровья людей и состояния окружающей природной среды.

Решение вопросов, возникающих при накоплении, переработке и утилизации отходов производства и потребления, представляется весьма важной задачей, так как их негативное воздействие на экосистемы усиливается с каждым годом.

***Отходы** - вещества (или смеси веществ), признанные непригодными для дальнейшего использования в рамках имеющихся технологий, или после бытового использования продукции.*

Практически любое вещество теоретически может быть использовано тем или иным образом, естественным ограничением при этом является экономическая целесообразность. Сегодня отходы и мусор рассматривается как сырье, которое можно перерабатывать и повторно использовать.

Однако в процессе сбора и переработки различных отходов возникает множество проблем. Так, твердые коммунальные отходы весьма разнообразны, что представляет определенные трудности для их раздельного сбора.

Радиохимические заводы, атомные электростанции, научные исследовательские центры производят наиболее опасные отходы (радиоактивные), которые представляют собой не только серьезную экологическую проблему, но и могут привести к экологической катастрофе.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) относит к опасным и медицинские отходы, неправильное обращение с которыми также ведет к серьезным негативным последствиям для человека и окружающей среды.

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, принятая 22 марта 1989 года, определила 45 типов опасных отходов, и медицинские первые в списке.

В Федеральном законе от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 31.12.2017) "Об отходах производства и потребления" и в "Комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации", утвержденной приказом Минприроды РФ № 298 от 14.08.2013 г., даны следующие определения основным понятиям, используемым при обращении с отходами:

Отходы производства и потребления (далее - отходы) - вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению;

Вид отходов - совокупность отходов, которые имеют общие признаки в соответствии с системой классификации отходов;

Паспорт отходов - документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе;

Обращение с отходами - деятельность по сбору, накоплению, транспортировке, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов;

Раздельный сбор отходов - сбор отходов, предусматривающий разделение по видам и составу в целях дальнейшей утилизации (использования);

Размещение отходов - хранение и захоронение отходов;

Хранение отходов - складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения;

Утилизация отходов - использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация);

Захоронение отходов - изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду;

Обезвреживание отходов - уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду;

Объекты размещения отходов - специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов (полигон, шламохранилище, в том числе шламовый амбар, хвостохранилище, отвал горных пород и другое) и включающие в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов;

Трансграничное перемещение отходов - перемещение отходов с территории, находящейся под юрисдикцией одного государства, на территорию (через территорию), находящуюся под юрисдикцией другого государства, или в район, не находящийся под юрисдикцией какого-либо государства, при условии, что такое перемещение отходов затрагивает интересы не менее чем двух государств.

Классификация отходов, образующихся в результате деятельности человека, необходима как средство установления определенных связей между ними с целью определения оптимальных путей использования или обезвреживания отходов.

Классификация отходов проводится по разным показателям, но самым главным из них является степень опасности для здоровья человека. Вредными отходами, например, считаются инфекционные, токсичные и радиоактивные. Их сбор и ликвидация регламентируются специальными санитарными правилами. Отходы в зависимости от свойств и происхождения можно классифицировать следующим образом:

По состоянию:

- твердые,
- жидкие
- газообразные;

По составу:

- органические
- неорганические;

По месту возникновения:

- бытовые (коммунальные),
- промышленные

- сельскохозяйственные.

Кроме того, отходы разделяют также на сжигаемые и не сжигаемые. Особую группу представляют отходы в виде энергии, называемые энергетическими (тепло, шум, радиоактивное излучение и т.п.).

Большая номенклатура отходов, образующихся на предприятиях различных отраслей экономики, затрудняет их классификацию, учет, сбор и переработку.

В настоящее время и у нас в стране, и за рубежом отсутствует общепринятая унифицированная научная классификация твердых отходов промышленности, охватывающая все их многообразие.

Существующие классификации твердых отходов, как правило, односторонни.

Различные подходы к классификации отходов основываются на следующих классификационных признаках:

- место образования отходов (отрасль промышленности);
- стадия производственного цикла;
- вид отхода;
- степень ущерба окружающей среде и здоровью человека;
- направление использования;
- эффективность использования;
- величина запаса и объемы образования;
- степень изученности и разработанности технологий утилизации.

Отходы возникают как в результате производственной деятельности, так и при потреблении. В соответствии с этим они подразделяются на отходы производства и отходы потребления.

Отходами производства принято считать остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично потребительские свойства; вновь образующиеся в процессе производства попутные вещества, не находящие применения.

К отходам производства относятся вмещающие и вскрышные породы, образующиеся при добыче полезных ископаемых, побочные и попутные продукты, отходы сельского хозяйства и др.

Отходы производства после предварительной обработки, а иногда и без нее, могут быть использованы в сфере производства или потребления, в частности для производства побочных продуктов.

Побочные продукты образуются наряду с основными продуктами производства, но не являются целью производственного процесса. Они в большинстве случаев бывают товарными, их производство планируется предприятием.

Производственные отходы являются следствием несовершенства технологических процессов, неудовлетворительно организованного производства, а также несовершенного экономического механизма.

К ним относят отходы, образующиеся в процессе добычи и обогащения полезных ископаемых, механической и физико-химической переработки сырья, а также вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод.

Основными поставщиками производственных отходов являются следующие отрасли:

- Энергетика. Сжигая твердое топливо, отрасль в большом количестве поставляет шлаки;
- Черная, цветная металлургия, которая оставляет формовочную землю, то есть массу, содержащую коксовые остатки, шлаки;
- Угледобывающая. В процессе добычи полезных ископаемых образуются отвалы, углесодержащие массы;
- Деревообрабатывающая, оставляющая опилки, стружки;
- Химическая. В результате работы химических предприятий образуются твердые и жидкие отходы, содержащие вредные вещества.

Отходы потребления - различного рода изделия, комплектующие детали и материалы, которые по тем или иным причинам не пригодны для дальнейшего использования.

Эти отходы можно разделить на:

- отходы промышленного потребления
- отходы бытового потребления.

К первым относятся, например, металлолом, вышедшее из строя оборудование, изделия технического назначения из резины, пластмасс, стекла и др.

Бытовыми (коммунальными) отходами являются пищевые отходы, изношенные изделия бытового назначения (одежда, обувь и пр.), различного рода использованные изделия (упаковки, стеклянная и другие виды тары), бытовые сточные воды и др.

Все виды отходов производства и потребления по возможности использования можно разделить на вторичные материальные ресурсы (ВМР), которые уже перерабатываются или переработка которых планируется, и на отходы, которые на данном этапе развития экономики перерабатывать нецелесообразно и которые неизбежно образуют безвозвратные потери.

Утилизируемые отходы перерабатываются на месте их образования или на других предприятиях, имеющих соответствующую технологию.

Некоторые не утилизируемые отходы в силу потери потребительских свойств в настоящее время не могут найти применения в современном производстве. Эти отходы подлежат захоронению, если не представляют опасности для окружающей среды.

При этом опасные по санитарно-гигиеническим показателям отходы обязательно предварительно обезвреживают.

В соответствии с принятым в России Федеральным классификационным каталогом отходов, все отходы разделены на четыре группы:

- отходы органического природного происхождения (животного и растительного);
- отходы минерального происхождения;
- отходы химического происхождения;
- коммунальные отходы.

Каждый отход обозначается специальным тринадцатизначным кодом, который определяет вид отходов, характеризующий его классификационные признаки:

- первые восемь цифр используются для кодирования происхождения отхода;
- девятая и десятая цифры используются для кодирования агрегатного состояния и физической формы (0 - данные не установлены, 1 - твёрдый, 2 - жидкий, 3 - пастообразный, 4 - шлам, 5 - гель, коллоид, 6 - эмульсия, 7 - суспензия, 8 - сыпучий, 9 - гранулят, 10 - порошкообразный, 11 - пылеобразный, 12 - волокно, 13 - готовое изделие, потерявшее потребительские свойства, 99 - иное);
- одиннадцатая и двенадцатая цифры используются для кодирования опасных свойств и их комбинаций (0 - данные не установлены, 1 - токсичность (Т), 2 - взрывоопасность (В), 3 - пожароопасность (П), 4 -

высокая реакционная способность (р), 5 - содержание возбудителей инфекционных болезней (и), 6 - т+в, 7 - т+п, 8 - т+р, 9 - в+п, 10 - в+р, 11 - в+и, 12 - п+р, 13

- -п+и, 14 - р+и, 15 - т+в+п, 16 - т+в+р, 17 - т+п+р, 18 - в+п+р, 19 - в+п+и, 20 - п+р+и, 21 - т+в+п+р, 22 - в+п+р+и, 99 - опасные свойства отсутствуют);

- тринадцатая цифра используется для кодирования класса опасности для окружающей природной среды (0 - класс опасности не установлен, 1 - I-й класс опасности, 2 - II-й класс опасности, 3 - III-й класс опасности, 4 - IV-й класс опасности, 5 - V-й опасности).

Все промышленные отходы можно разделить на два вида: нетоксичные и токсичные. В своей основной массе твердые отходы нетоксичны. Примерами токсичных отходов могут служить шламы гальванических цехов и травильных ванн.

Отходы можно также классифицировать на металлические и неметаллические, а также комбинированные.

Неметаллические отходы подразделяются на химически инертные (отвалы породы, зола и т. д.) и химически активные (резина, пластмассы и т. д.). К числу комбинированных отходов относится всевозможный промышленный и строительный мусор.

Отходы делят на две группы:

- основные
- побочные.

Основные отходы - отходы материалов, использованных непосредственно для изготовления товарной продукции.

Это металлические, металлосодержащие (окалина, шламы, шлаки и пр.) и неметаллические (древесина, пластмассы, резина, клеи, текстиль, стекло и др.) отходы.

Побочные отходы - отходы технологических материалов и веществ, использованных или образующихся при проведении технологических процессов.

Побочные отходы могут быть твердыми (зола, абразивы, огнеупоры), жидкими (смазочно-охлаждающие жидкости, минеральные масла и другие нефтепродукты, отходы гальванопроизводства) и газообразными (отходящие газы).

Следует отметить, что классификация отходов должна обеспечить получение данных, необходимых для разработки организационно-технических мероприятий по уменьшению количества отходов и их утилизации в рамках определенных промышленных узлов.

С практической точки зрения следует отметить, что если известна конечная ступень технологии переработки и утилизации производственных отходов, то их следует классифицировать, основываясь, в первую очередь, на этой технологии.

В соответствии со ст. 4.1 Федерального закона № 89 «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. (89-ФЗ, ред. от 31.12.2017) в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду отходы подразделяют в соответствии с критериями, установленными Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности:

- I класс - чрезвычайно опасные отходы;
- класс - высокоопасные отходы;
- класс - умеренно опасные отходы;
- класс - малоопасные отходы;
- класс - практически неопасные отходы.

Опасные отходы - отходы, которые либо содержат вредные вещества, содержащие возбудителей инфекционных болезней или обладающие опасными свойствами: токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью; либо могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами.

Классификация отходов потребления подразделяет их на несколько классов опасности, каждому из которых должен быть применен свой метод утилизации.

Согласно ст. 20 89-ФЗ государственный кадастр отходов (ГКО) включает в себя федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО), а также банк данных об отходах и о технологиях утилизации и обезвреживания отходов различных видов (БДО). Государственный кадастр отходов ведется по единой для Российской Федерации системе.

В соответствии с п. 6 Порядка ведения Государственного кадастра отходов (ГКО), утвержденного приказом Минприроды России от 30 сентября 2011 г. № 792, ФККО включает перечень видов отходов, находящихся в обращении в РФ и систематизированных по совокупности классификационных признаков: происхождению, условиям образования (принадлежности к определенному производству, технологии), химическому и/или компонентному составу, агрегатному состоянию и физической форме.

Согласно п.7 Порядка для классификации отходов в ФККО используется вид отходов. При этом указано также, что наименование конкретного вида отходов при включении в ФККО присваивается на основе его происхождения, химического и (или) компонентного состава, агрегатного состояния и физической формы.

В соответствии с Комплексной стратегией обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации, утвержденной приказом Минприроды РФ № 298 от 14.08.2013 г. , твердые бытовые отходы (ТБО) - это отходы, которые образуются в многоквартирных и индивидуальных жилых домах в результате потребления товаров (продукции) физическими лицами и включают также товары (продукцию), использованные физическими лицами в целях удовлетворения личных потребностей и утратившие свои потребительские свойства.

В последние годы к отходам потребления относят не только отходы от домовладений (твердые бытовые отходы - ТБО), но и отходы, образующиеся в офисах, торговых предприятиях, мелких промышленных объектах, школах, больницах, других муниципальных учреждениях. Для указанных отходов часто используется термин "муниципальные отходы". Муниципальные отходы имеют различное происхождение и различные свойства, однако их объединяет то, что ответственность за их утилизацию ложится на муниципальные власти.

К твердым коммунальным отходам (ТКО) относятся как бытовые отходы (ТБО), так и отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

Это отходы потребления, образующиеся в домовладениях, уличный и дворовый смет, а также отходы производств, обеспечивающих жизнедеятельности человека в населенных местах.

К коммунальным отходам относятся отходы из жилищ; отходы потребления на производстве, подобные коммунальным; отходы сплошного комбинированного состава в виде изделий, оборудования, устройств; отходы от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды; жидкие отходы очистных сооружений; медицинские отходы.

В настоящее время переработка твердых коммунальных отходов (ТКО) представляет собой острейшую глобальную проблему современности, решение которой требует разработку и применение новых способов и технологий. Это обусловлено тем, что применяемые ранее методы утилизации отходов - сжигание и захоронение на свалках - показали свою нежизнеспособность и, более того, успели привести ряд стран на грань экологической катастрофы. Многие компоненты мусора, в частности пластик и резина, разлагаются естественным путем довольно долго, а при их сжигании образуется множество вредных веществ, которые попадая в атмосферу, наносят тем самым серьезный вред здоровью человека.

Ежегодно в России образуется около 60 млн тонн твердых коммунальных отходов (далее - ТКО), что составляет около 400 кг отходов на 1 человека в год. В хозяйственный оборот вовлекается не более 10 % собираемых ТКО, остальной их объем направляется на захоронение. Столь низкий процент утилизации (использования) ТКО связан как с отсутствием средств объективного учета количества образующихся отходов, так и с недостаточным развитием инфраструктуры по их утилизации. При этом система сбора и анализа статистической информации о ТКО охватывает не все источники их образования.

На сегодняшний день любой завод по переработке мусора, цена которого достаточно невысока, способен производить следующие основные типы ценного сырья: цветные и черные металлы, стекло, бумагу, полимерные отходы, пригодные к переработке, топливо, тепло и электроэнергию, вещества, используемые в химической промышленности. Заводы по переработке твердых коммунальных отходов работают по определенной схеме, позволяющей максимально эффективно получать синтез-газ и твердое сырье из твердых бытовых отходов:

Переработка подготовленных твердых коммунальных отходов в газификаторе для получения из них синтез-газа, пиролизного масла и побочных химических соединений;

Очистка синтез-газа и иных продуктов пиролиза от соединений хлора, фтора и серы;

Сжигание предварительно очищенного от примесей синтез-газа в специальных котлах-утилизаторах для получения водяного пара, горячей воды или электроэнергии;

В настоящее время сжигание ТКО является наиболее распространенным способом уничтожения твердых бытовых отходов, который применяется на практике более ста лет.

Сжигание бытового мусора позволяет добиться существенного снижения объема и массы мусора и получить в процессе утилизации дополнительные энергетические ресурсы, которые могут быть использованы для производства электроэнергии. Однако в процессе сжигания отходов в атмосферу могут выделяться большие количества вредных веществ, поэтому сегодня, когда требования к нормам выброса газовой составляющей мусоросжигательных заводов резко ужесточились, подобные предприятия становятся нерентабельными.

В этой связи большую актуальность имеют такие технологии переработки твердых бытовых отходов, которые позволяют не только утилизировать мусор, но и вторично использовать полезные компоненты, содержащиеся в нем.

Компостирование мусора - это способ утилизации ТКО, основанный на естественных процессах трансформации мусора. В результате такой переработки отходы превращаются в компост. Для реализации подобной технологической схемы исходный мусор обязательно должен быть очищен от крупных предметов, а также металлов, керамики, пластмассы, стекла и резины, поскольку содержание подобных веществ в компосте просто недопустимо.

Однако, даже несмотря на это, современные технологии компостирования не позволяют полностью освободиться от многих загрязняющих веществ, и поэтому компост из ТКО на практике малопригоден для применения в сельском хозяйстве, однако может быть использован для получения биогаза.

Санитарная земляная засыпка - вид обезвреживания ТКО, который неразрывно связан с получением биогаза и дальнейшим использованием его в качестве экологически чистого топлива. По данной методике бытовой мусор засыпают слоем грунта толщиной примерно 0,6 - 0,8 метров.

Полигоны утилизации мусора данного типа снабжены вентиляционными трубами, газодувами и емкостями, предназначенными для сбора биогаза.

Присутствие в толщах мусора органических компонентов и наличие пор создает предпосылки для развития микробиологических процессов, в результате чего образуется биогаз. Таким образом, свалки являются наиболее крупными системами по производству биогаза.

К более современным методам переработки ТКО относится термическая переработка мусора, то есть процесс, при котором предварительно размельченный мусор подвергается термическому разложению.

Преимущество, которым обладает данная технология по сравнению с традиционным сжиганием отходов, заключается, в первую очередь в том, что она более эффективна с точки зрения предотвращения загрязнений окружающей среды.

С помощью термической переработки можно перерабатывать любые составляющие отходов, поскольку при данном способе в мусоре не остается биологически активных веществ, и последующее подземное складирование отходов не наносит вреда окружающей среде. Также при данном способе образуется много тепловой энергии, которую можно использовать для самых различных целей.

К самым новым способам утилизации ТКО относится их плазменная переработка, которая, по существу, представляет собой газификацию мусора. Данный способ является наиболее перспективным, поскольку технологическая схема подобного производства не предъявляет каких-либо жестких требований к исходному сырью, и позволяет получить вторичную энергию в виде нагретого водяного пара или горячей воды с подачей их конечному потребителю, и также вторичной продукции в виде гранулированного шлака или керамической плитки.

По сути, это и есть оптимальный вариант комплексной переработки мусора, представляющий собой полную экологически безопасную утилизацию отходов с получением тепловой энергии и различных полезных продуктов из самого «бросового» сырья - бытового мусора.

В августе 2013 года Минприроды РФ утверждена Комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации, которая представляет собой систему целей, задач, принципов, приоритетов и направлений действий, которые должны реализовываться в федеральных и региональных нормативных правовых актах, актах органов местного самоуправления, федеральных целевых, межотраслевых и отраслевых программах, региональных программах, инвестиционных проектах и комплексах внепрограммных мероприятий, направленных на создание и обеспечение экологически безопасного и экономически эффективного обращения с ТКО.

Реализация направлений действий, предусмотренных комплексной стратегией, должна обеспечить:

- сокращение образования ТКО;
- кратное увеличение объемов ТКО, вовлекаемых в хозяйственный оборот в качестве дополнительных материальных и энергетических ресурсов;
- сокращение объемов ТКО, направляемых на захоронение;
- уменьшение негативного воздействия отходов на окружающую среду и здоровье населения.

Главной целью комплексной стратегии является предотвращение вредного воздействия ТКО на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечение компонентов, содержащихся в отходах (органических веществ, металлолома, бумаги, стеклянной и пластиковой тары и др.), в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья и материалов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг или для получения энергии.

В соответствии с Федеральным законом № 170 "Об использовании атомной энергии" (170-ФЗ от 21 ноября 1995 г.), радиоактивные отходы (РАО) - это не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями, установленными Правительством Российской Федерации. Абзац приведен в редакции, введенной в действие с 15 июля 2011

года Федеральным законом "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ.

В соответствии со статьей 4 Федерального закона № 170 радиоактивные отходы подразделяются на:

Удаляемые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения;

Особые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

Удаляемые радиоактивные отходы с целью их захоронения классифицируются по следующим признакам:

- в зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов:
- долгоживущие радиоактивные отходы;
- короткоживущие радиоактивные отходы;
-
- в зависимости от удельной активности:
- высокоактивные радиоактивные отходы;
- среднеактивные радиоактивные отходы;
- низкоактивные радиоактивные отходы;
- очень низкоактивные радиоактивные отходы;
- в зависимости от агрегатного состояния:
- жидкие радиоактивные отходы;
- твердые радиоактивные отходы;
- газообразные радиоактивные отходы;
- в зависимости от содержания ядерных материалов:

- радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы;
- радиоактивные отходы, не содержащие ядерных материалов;
- отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения;
- радиоактивные отходы, образовавшиеся при добыче и переработке урановых руд;
- радиоактивные отходы, образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Согласно «Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010) отходы, содержащие техногенные радионуклиды, относятся к РАО, если сумма отношений удельных активностей (для газообразных отходов сумма отношений объемных активностей) техногенных радионуклидов в отходах к их предельным значениям, приведенным в приложении 5 данных Правил, превышает 1. При невозможности определения суммы отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к их предельным значениям, отходы, содержащие техногенные радионуклиды, относятся к РАО, если удельная активность радионуклидов в отходах превышает:

для твердых отходов:

1 Бк/г - для альфа-излучающих радионуклидов; 100 Бк/г - для бета-излучающих радионуклидов;

для жидких отходов:

0,05 Бк/г - для альфа-излучающих радионуклидов, 0,5 Бк/г - для бета-излучающих радионуклидов.

Отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов относятся к РАО в случае, если выполняются следующие условия:

для твердых отходов:

$$ARa + 1,3A_{Th} + 0,09AK > 10 \text{ Бк/г},$$

для жидких отходов:

$$AU + 2,14A_{Th} > 0,13 \text{ Бк/г},$$

где:

ARa - удельная активность ^{226}Ra , Бк/г; A_{Th} - удельная активность ^{232}Th , Бк/г; AK - удельная активность ^{40}K , Бк/г; AU - удельная активность ^{238}U , Бк/г.

Предполагается, что радионуклиды ^{226}Ra и ^{238}U в отходах находятся в радиоактивном

равновесии со своими дочерними радионуклидами.

Радиоактивные отходы образуются:

- при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов ядерного топливного цикла и других радиационных объектов;
- при использовании радиоактивных веществ и радионуклидных источников в производственных, научных и медицинских организациях;
- при реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами;
- при радиационных авариях;
- при обращении с материалами и изделиями с повышенным содержанием природных радионуклидов;
- при осуществлении видов деятельности, приводящих к концентрированию природных радионуклидов в образующихся отходах.

По агрегатному состоянию РАО подразделяются (табл. 13.1):

- Жидкие отходы - не подлежащие дальнейшему использованию органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы;
- Твердые отходы - отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие РАО.
- Газообразные отходы - не подлежащие использованию газообразные смеси, содержащие радиоактивные газы и (или) аэрозоли, образующиеся при производственных процессах.

По удельной активности твердые РАО, содержащие техногенные радионуклиды, за исключением отработавших закрытых радионуклидных источников, подразделяются на 4 категории:

- очень низкоактивные;
- низкоактивные;
- среднеактивные;
- высокоактивные;

По удельной активности жидкие РАО подразделяются на 3 категории:

- низкоактивные;
- среднеактивные;
- высокоактивные.

Таблица 13.1

Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг			
	третий	бета-излучающие радионуклиды (исключая тритий)	альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	трансурановые радионуклиды
Твердые РАО				
Очень низкоактивные	до 107	до 103	до 102	до 10
Низкоактивные	от 107 до 108	от 103 до 104	от 102 до 103	от 10 до 102
Среднеактивные	от 108 до 1011	от 104 до 107	от 103 до 106	от 102 до 105
Высокоактивные	более 1011	более 107	более 106	более 105
Жидкие РАО				
Низкоактивные	до 104	до 103	до 102	до 10
Среднеактивные	от 104 до 108	от 103 до 107	от 102 до 106	от 10 до 105
Высокоактивные	более 108	более 107	более 106	более 105

Твердые РАО, содержащие природные радионуклиды, относятся к очень низкоактивным отходам, жидкие РАО, содержащие природные радионуклиды, относятся к низкоактивным отходам.

Отработавшие закрытые радионуклидные источники, не подлежащие дальнейшему использованию, рассматриваются как отдельная категория РАО.

Для предварительной сортировки твердых РАО рекомендуется использование критериев по уровню радиоактивного загрязнения и по мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками:

- очень низкоактивные РАО - от 0,001 мЗв/ч до 0,03 мЗв/ч;
- низкоактивные РАО - от 0,03 мЗв/ч до 0,3 мЗв/ч;
- среднеактивные РАО - от 0,3 мЗв/ч до 10 мЗв/ч;
- высокоактивные РАО - более 10 мЗв/ч.

Необходимо подчеркнуть, что при обращении с РАО, помимо их агрегатного состояния и удельной активности, должны учитываться и другие их физические и химические характеристики, в частности,

взрыво- и огнеопасность, органические или неорганические и т.п. (табл. 13.2)

Таблица 13.2

Классификация твердых РАО по уровню поверхностного радиоактивного загрязнения

Категория РАО	Уровень поверхностного радиоактивного загрязнения, част/(см·мин)	
	бета-излучающие радионуклиды	альфа-излучающие радионуклиды
Очень низкоактивные	от 500 до 103	от 50 до 102
Низкоактивные	от 103 до 104	от 102 до 103
Среднеактивные	от 104 до 107	от 103 до 106
Высокоактивные	более 107	более 106

В последние десятилетия проблема утилизации радиоактивных отходов является одной из наиболее актуальных в плане безопасности окружающей среды, ведь объемы радиоактивных отходов в настоящее время насчитывают многие тысячи тонн в год. И все они требуют соответствующего обращения с собой.

Часто ошибочно считают синонимами два понятия: «радиоактивные отходы» и «отработавшее ядерное топливо». Необходимо различать эти понятия.

Радиоактивные отходы, это материалы, использование которых не предусматривается. Отработавшее ядерное топливо представляет собой тепловыделяющие элементы, содержащие остатки ядерного топлива и множество продуктов деления, в основном ^{137}Cs и ^{90}Sr , широко применяемые в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и научной деятельности. Поэтому оно является ценным ресурсом, в результате переработки которого получают свежее ядерное топливо и изотопные источники.

Радиоактивные элементы, содержащиеся в ядерных отходах, излучают ионизирующую радиацию. Ионизация означает, что в результате излучения происходит перераспределение электрического заряда в клетках. Такое перераспределение вызывает ряд химических реакций в органических тканях, что может привести как к мутагенезу, так и к массовой гибели клеток.

Определенные дозы ионизирующей радиации оказывают интенсивное пагубное воздействие на организм человека, который спустя время не в состоянии с ней справиться.

Наиболее опасными последствиями являются канцерогенные и мутагенные эффекты, которые отрицательно сказываются на будущем поколении. Кроме того, радиоактивное воздействие приводит к нарушению обмена веществ в организме и ослаблению иммунной системы.

Вероятность возникновения болезни зависит от уровня радиоактивности и от продолжительности радиационного воздействия на человека. При этом все виды радиоактивных отходов - от низкорadioактивных до высокорadioактивных, наносят вред здоровью человека.

Способы утилизации РАО зависят от категории и класса подобных отходов: низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные.

Наиболее простой является утилизация первых двух классов. В зависимости от своего химического состава радиоактивные отходы делятся на короткоживущие (с малым периодом полураспада) и долгоживущие (с большим периодом полураспада).

В первом случае самым простым способом утилизации будет временное хранение радиоактивных материалов на специальных площадках в герметических контейнерах. После определенного промежутка времени, когда происходит распад опасных веществ, оставшиеся материалы уже не представляют опасности и могут быть утилизированы как обычный мусор. Именно так поступают с большей частью технических и медицинских источников радиоактивного излучения, которые содержат только короткоживущие изотопы с периодом полураспада, составляющим несколько лет.

В качестве контейнеров для временного хранения в этом случае обычно используют стандартные металлические бочки объемом 200 литров. При этом низко и среднеактивные отходы заливают цементом или битумом для предотвращения их попадания за пределы емкости.

Процедура утилизации отходов атомных электростанций гораздо более сложная и требует повышенного внимания. Такая процедура производится только на специальных заводах, которых в настоящее время в мире немного.

Здесь при помощи специальных технологий химической обработки производится извлечение большей части радиоактивных веществ для их повторного применения.

Наиболее современные способы с использованием ионообменных мембран позволяют вновь использовать до 95 % всех радиоактивных материалов. Однако, полностью их дезактивировать пока невозможно.

Поэтому на следующей стадии утилизации производится подготовка отходов к длительному хранению. А учитывая тот факт, что отходы АЭС имеют длительный период полураспада, такое хранение можно назвать практически «вечным». Долговременное хранение РАО требует консервации отходов в форме, которая не будет вступать в реакции и разрушаться на протяжении длительного времени.

Одним из способов достижения подобного состояния является витрификация (или остеклование) - процесс включения отходов высокого уровня активности в боросиликатное стекло.

Остекловывание предназначено для фиксации радионуклидов в неподвижном состоянии в нерастворимой, стабильной матрице, готовой для захоронения.

Медицинские отходы - материалы, вещества, изделия, утратившие частично или полностью свои первоначальные потребительские свойства в ходе осуществления медицинских манипуляций, проводимых при лечении или обследовании людей в медицинских учреждениях.

Медицинские отходы требуют к себе постоянного внимания, что обусловлено наличием в них возбудителей различных инфекционных заболеваний, токсических, а нередко и радиоактивных веществ. Длительность выживания патогенных микроорганизмов в таких отходах достаточно велика. Так, если в 1 г бытовых отходов может содержаться 0,1-1 млрд микроорганизмов, то в медицинских это число возрастает до 200-300 млрд.

Все лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) в результате своей деятельности образуют различные по фракционному составу и степени опасности отходы, поэтому в каждом из них должна быть организована система сбора, временного хранения, обработки и транспортировки отходов.

Структура отходов многопрофильных ЛПУ:

- пищевые отходы 28%;
- лекарственные средства и препараты 0,1%;
- бумага, картон 23%;

- металл, в т.ч. цветной 0,1%;
- полимерные материалы 5%;
- гипс, строительные материалы 0,9%;
- стекло 0,6%;
- биологические материалы 0,2%;
- текстиль 42%;
- резина 0,1%.

В соответствии с Санитарно-эпидемиологическими требованиями к обращению с медицинскими отходами медицинские отходы в зависимости от степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности, а также негативного воздействия на среду обитания подразделяются на пять классов опасности (табл. 13.3)

Таблица 13.3

Классификация медицинских отходов

Класс опасности	Характеристика морфологического состава
Класс А (эпидемиологически безопасные отходы, по составу приближенные к твердым бытовым (коммунальным) отходам)	Отходы, не имеющие контакта с биологическими жидкостями пациентов, инфекционными больными. Канцелярские принадлежности, упаковка, мебель, инвентарь, потертые потребительские свойства. Смет от уборки территории и так далее. Пищевые отходы центральных пищеблоков, а также всех подразделений организации, осуществляющей медицинскую и/или фармацевтическую деятельность, кроме инфекционных, в том числе фтизиатрических.
Класс Б (эпидемиологически опасные отходы)	Инфицированные и потенциально инфицированные отходы. Материалы и инструменты, предметы загрязненные кровью и/или другим и биологическими жидкостями. Патологоанатомические отходы. Органические операционные отходы (органы, ткани и так далее). Пищевые отходы из инфекционных отделений. Отходы из микробиологических, клинико-диагностических лабораторий, фармацевтических, иммунобиологических производств, работающих с микроорганизмами 3-4 групп патогенности. Биологические отходы вивариев. Живые вакцины, непригодные к использованию.

Таблица 13.3

Классификация медицинских отходов

Класс опасности	Характеристика морфологического состава
Класс В (чрезвычайно-эпидемиологически опасные отходы)	Материалы, контактировавшие с больными инфекционными болезнями, которые могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения и требуют проведения мероприятий по санитарной охране территории. Отходы лабораторий, фармацевтических и иммунобиологических производств, работающих с микроорганизмами 1-2 групп патогенности. Отходы лечебно-диагностических подразделений фтизиатрических стационаров (диспансеров), загрязненные мокротой пациентов, отходы микробиологических лабораторий, осуществляющих работы с возбудителями туберкулеза.
Класс Г (токсикологически опасные отходы 1-4 классов опасности)	Лекарственные (в том числе цитостатики), диагностические, дезинфицирующие средства, не подлежащие использованию. Ртутьсодержащие предметы, приборы и оборудование. Отходы сырья и продукции фармацевтических производств. Отходы от эксплуатации оборудования, транспорта, систем освещения и другие.
Класс Д (радиоактивные отходы)	Все виды отходов, в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает допустимые уровни, установленные нормами радиационной безопасности.

Сбор отходов класса А осуществляется в многоразовые емкости или в одноразовые пакеты. Цвет пакетов может быть любой, за исключением желтого и красного. Одноразовые пакеты располагаются на специальных тележках или внутри многоразовых контейнеров. Многоразовая тара после опорожнения подлежит мытью и дезинфекции. Порядок мытья и дезинфекции многоразовой тары определяется в соответствии со схемой обращения отходов в каждой конкретной организации.

Транспортирование отходов класса А организуется с учетом схемы санитарной очистки, принятой для данной территории, в соответствии с требованиями санитарного законодательства к содержанию территорий населенных мест и обращению с отходами производства и потребления.

Отходы класса Б подлежат обязательному обеззараживанию (дезинфекции)/обезвреживанию. Выбор метода обеззараживания (обезвреживания) определяется возможностями организации, осуществляющей медицинскую и/или фармацевтическую деятельность, и выполняется при разработке схемы обращения с медицинскими отходами.

В случае отсутствия в организации, осуществляющей медицинскую и/или фармацевтическую деятельность, участка по обеззараживанию/обезвреживанию отходов класса Б или централизованной системы обезвреживания медицинских отходов, принятой на административной территории, отходы класса Б обеззараживаются персоналом данной организации в местах их образования химическими/физическими методами.

Отходы класса Б собираются в одноразовую мягкую (пакеты) или твердую (непрокальваемую) упаковку (контейнеры) желтого цвета или имеющие желтую маркировку.

В случае применения аппаратных методов обеззараживания в организации, осуществляющей медицинскую и/или фармацевтическую деятельность, на рабочих местах допускается сбор отходов класса Б в общие емкости (контейнеры, пакеты) использованных шприцев в неразобранном виде с предварительным отделением игл (для отделения игл необходимо использовать иглосъемники, иглодеконструкторы, иглоотсекатели), перчаток, перевязочного материала и так далее.

Работа по обращению с медицинскими отходами класса В организуется в соответствии с требованиями к работе с возбудителями 1-2 групп патогенности, к санитарной охране территории и профилактике туберкулеза.

Отходы класса В подлежат обязательному обеззараживанию (дезинфекции) физическими методами (термические, микроволновые, радиационные и другие). Применение химических методов дезинфекции допускается только для обеззараживания пищевых отходов и выделений больных, а также при организации первичных противоэпидемических мероприятий в очагах.

Выбор метода обеззараживания (дезинфекции) осуществляется при разработке схемы сбора и удаления отходов. Вывоз необеззара-

женных отходов класса В за пределы территории организации не допускается. Отходы класса В собирают в одноразовую мягкую (пакеты) или твердую (непрокалываемую) упаковку (контейнеры) красного цвета или имеющую красную маркировку.

После аппаратных способов обеззараживания с применением физических методов и изменения внешнего вида отходов, исключающего возможность их повторного применения, отходы классов Б и В могут накапливаться, временно храниться, транспортироваться, уничтожаться и захораниваться совместно с отходами класса А. Упаковка обеззараженных медицинских отходов классов Б и В должна иметь маркировку, свидетельствующую о проведенном обеззараживании отходов.

Использованные ртутьсодержащие приборы, лампы (люминесцентные и другие), оборудование, относящиеся к медицинским отходам класса Г, собираются в маркированные емкости с плотноприлегающими крышками любого цвета (кроме желтого и красного), которые хранятся в специально выделенных помещениях. Сбор, временное хранение отходов цитостатиков и генотоксических препаратов и всех видов отходов, образующихся в результате приготовления их растворов (флаконы, ампулы и другие), относящихся к медицинским отходам класса Г, без дезактивации запрещается. Отходы подлежат немедленной дезактивации на месте образования с применением специальных средств. Также необходимо провести дезактивацию рабочего места. Работы с такими отходами должны производиться с применением специальных средств индивидуальной защиты и осуществляться в вытяжном шкафу. Лекарственные, диагностические, дезинфицирующие средства, не подлежащие использованию, собираются в одноразовую маркированную упаковку любого цвета (кроме желтого и красного).

Сбор и временное хранение отходов класса Г осуществляется в маркированные емкости в соответствии с требованиями нормативных документов в зависимости от класса опасности отходов.

Сбор, хранение, удаление отходов класса Д осуществляется в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации к обращению с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, нормами радиационной безопасности.

В 2018 г. на территории Российской Федерации образовалось 7 266 млн т отходов, удельный показатель общего объема образования

отходов на единицу ВВП составил 81,3 т на 1 млн руб. За период 2010-2018 гг. количество ежегодно образующихся отходов увеличилось с 3 735 млн т до 7 266,1 млн т, или на 94,5 %.

Основную долю в общем количестве отходов по России составляют отходы V и IV классов опасности (практически неопасные и малоопасные): в 2018 году количество таких отходов составило 7 138,1 млн т (или 98,238 % от общего объема образования отходов) и 107,3 млн т (или 1,477 % от общего объема образования отходов) соответственно.

Количество отходов III класса опасности составило 20,4 млн т (или 0,281 % от общего объема образования отходов), II класса опасности - 0,27 млн т (0,004 % от общего объема образования отходов), I класса опасности - 0,02 млн т (или 0,0003 % от общего объема образования отходов).

За период 2010-2018 гг. соотношение объемов отходов по классам опасности в РФ оставалось практически неизменным. Наблюдалось увеличение количества образованных отходов: V класса опасности - с 3 620,4 млн т до 7 138,1 млн т, или на 97,2 %, IV класса опасности - с 96,8 млн т до 107,3 млн т, или на 10,8 %, и III класса опасности - с 16,7 млн т до 20,4 млн т, или на 25,9 %.

Снижение количества отмечено по отходам II класса опасности - с 0,71 млн т до 0,27 млн т, или на 62 %; по отходам I класса опасности - с 0,17 млн т до 0,02 млн т, или на 88 %.

По данным Росприроднадзора, количество утилизированных отходов производства и потребления составило 3 805,169 млн т (52,4 % общего количества образованных отходов).

Утилизация отходов осуществлялась преимущественно для целей повторного использования (рециклинга); объем рециклинга составил 2 439,210 млн т, или 64,1 % от общего объема утилизированных отходов.

Наибольшим показателем утилизации характеризуются отходы V класса опасности, который составил в 2018 г. 3 706,380 млн т, или 97,4 % от общего объема утилизированных отходов. Относительно отходов других классов опасности данный показатель составил: по IV классу опасности - 83,663 млн т, или 2,2 %, по III классу опасности - 14,951 млн т, или 0,4 %, в сумме по I и II классам опасности - 0,174 млн т, или 0,00004 %. оля утилизированных отходов IV класса опасности к

общему количеству образованных отходов IV класса опасности составила 77,99 %.

Согласно требованиям в области охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления, изложенным в статье 51 Федерального закона "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) отходы производства и потребления, радиоактивные отходы подлежат сбору, накоплению, утилизации, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению, условия и способы которых должны быть безопасными для окружающей среды и регулироваться законодательством Российской Федерации.

Запрещаются:

- сброс отходов производства и потребления, в том числе радиоактивных отходов, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву;
- размещение отходов I - IV классов опасности и радиоактивных отходов на территориях, прилегающих к городским и сельским поселениям, в лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных, рекреационных зонах, на путях миграции животных, вблизи нерестилищ и в иных местах, в которых может быть создана опасность для окружающей среды, естественных экологических систем и здоровья человека;
- захоронение отходов I - IV классов опасности и радиоактивных отходов на водосборных площадях подземных водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения, в бальнеологических целях, для извлечения ценных минеральных ресурсов;
- ввоз отходов I - IV классов опасности в Российскую Федерацию в целях их захоронения и обезвреживания;
- ввоз радиоактивных отходов в Российскую Федерацию в целях их хранения, переработки или захоронения, за исключением случаев, установленных настоящим Федеральным законом и Федеральным законом "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" № 190-ФЗ от 11.07.2011 г. ;
- захоронение в объектах размещения отходов производства и потребления продукции, утратившей свои потребительские свойства и содержащей озоноразрушающие вещества, без рекуперации данных

веществ из указанной продукции в целях их восстановления для дальнейшей рециркуляции (рециклирования) или уничтожения.

Организация упорядоченного обращения отходов производства и потребления, то есть их сбора, удаления, обезвреживания, переработки, использования, уничтожения и т.п., превратилась в последние годы в одну из наиболее острых экологических проблем. Указанная острота определяется в первую очередь:

- двойственным характером этой проблемы, то есть необходимостью решать задачи как охраны окружающей среды, так и задачи ресурсосбережения, переработки и вторичного (повторного) использования отходов;
- перманентным и кумулятивным накоплением слаборазлагающихся отходов в окружающей среде, что требует постоянного отвода под места их захоронения все новых земельных участков, а также рекультивации нарушенных (загрязненных, деградировавших) площадей на закрывающихся полигонах и свалках отходов;
- территориальными особенностями рассматриваемой проблемы, связанными с тем, что основной объем промышленных отходов концентрируется в относительно небольшом числе регионов, то есть в местах добычи полезных ископаемых, а также в районах металлургических, химических, нефтехимических, деревообрабатывающих, целлюлозно-бумажных и некоторых других производств. Кроме того, многие виды отходов (в частности ТКО) образуются преимущественно в городах, но вывозятся и накапливаются на окраинах поселений или прилегающих территориях.

Сконцентрированные в отвалах, терриконах, несанкционированных свалках отходы являются источником загрязнения атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почв и растительности.

Изменение структуры производства и потребления приводит не только к росту количества образующихся отходов, но и усложняет их состав. Норма накопления отходов изменяется, отражая состояние снабжения населения товарами, и, в то же время, она в значительной мере зависит от местных условий.

Согласно сложившейся практике, опасные отходы, образовавшиеся в процессе производственной деятельности и не подлежащие переработке, вывозятся для захоронения на полигоны токсичных отходов.

Твердые коммунальные отходы (ТКО), образующиеся в процессе жизнедеятельности населения, считаются безопасными в обращении и вывозятся на свалки бытовых отходов. При этом не учитывается тот факт, что все большую часть в потоке коммунальных отходов составляют компоненты, представляющие значительную опасность для окружающей среды и населения.

Попадая на полигон, такие компоненты становятся потенциальным источником загрязнения, представляющим реальную угрозу природной среде и человеку. Через отходы, размещенные на полигоне, просачивается 1/3 - 1/4 годового количества осадков. Вода вымывает содержащиеся в отходах токсичные вещества.

Фильтрат содержит широкий спектр компонентов-загрязнителей, таких, как фенолы, роданиды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), тяжелые металлы и др. Уровень загрязнений в фильтрате, в большинстве случаев в 10 - 20 раз превышает показатели, характерные для бытовых сточных вод. Так, содержание взвешенных веществ может колебаться от 800 мг/л до 1600 мг/л, меди - от 0,1 мг/л до 9 мг/л, никеля - до 0,8 мг/л, свинца - до 0,37 мг/л.

Значительное негативное воздействие полигон оказывает на водные объекты, находящиеся на прилегающей территории. Данное воздействие может проявляться в случае попадания фильтрата, скапливающегося в основании полигона, в грунтовые и поверхностные воды.

Под воздействием фильтрата замещаются первичные породы в зоне водонасыщения, изменяются их физико-механические свойства. Интенсивное локальное загрязнение на участках выхода фильтрата испытывают и почвы.

Опасность, исходящая от полигонов захоронения отходов, не ограничивается временем их активной эксплуатации, а сохраняется еще длительное время. Иногда их пагубное влияние через 20 - 30 лет после закрытия только начинается. Поэтому сегодня в мире большое внимание уделяется предотвращению попадания опасных компонентов коммунальных отходов на свалки.

Многие вещества, входящие в состав отходов, обладают эффектом усиления действия одного вещества в присутствии другого. В результате вредное воздействие отходов суммируется. Суммарная кон-

центрация таких веществ, как правило, превышает предельно допустимую концентрацию каждого вещества в отдельности в десятки и сотни раз.

Токсичные вещества проникают в подземные воды с образованием в водоносных горизонтах питьевого водоснабжения обширных и контрастных гидрохимических полей разнообразных токсических веществ.

При хранении все отходы претерпевают изменения, обусловленные как внутренними физико-химическими процессами, так и влиянием внешних условий. В результате этих превращений образуются сотни новых, зачастую не существовавших ранее в природе веществ, часто являющихся ядовитыми, что позволяет рассматривать свалки и полигоны как своеобразные "химические реакторы", производящие токсичные вещества (табл. 13.4).

Таблица 13.4

Ряд опасных компонентов, входящих в состав ТКО

Вид отходов	Основные опасные компоненты	Опасные свойства
Отработанные элементы питания (батареи и аккумуляторы)	Свинец, ртуть, кадмий	Токсичность
Остатки минеральных масел	Углеводороды	Токсичность, пожароопасность
Краски и лаки	Углеводороды, тяжелые металлы	Токсичность, пожароопасность
Ртутные лампы и термометры	Ртуть	Токсичность
Остатки лекарственных и косметических средств	Масла, эфиры, пигменты, галогены, тяжелые металлы	Токсичность, пожароопасность, высокая реакционная способность
Средства защиты растений	Пестициды, инсектициды	Токсичность
Остатки чистящих и моющих средств	Кислоты, щелочи, углеводороды, пигменты	Токсичность, пожароопасность
Обработанная древесина	Инсектициды, фунгициды	Токсичность, пожароопасность

Преобладание удаления ТКО посредством захоронения и нарушение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при их размещении ведет к следующим основным проблемам, связанным с негативным воздействием на окружающую среду и среду обитания:

- захламление земель;
- загрязнение природных вод (подземных и поверхностных), почвенного покрова и атмосферного воздуха токсичными веществами, мигрирующими из тела полигона;
- «биологическое загрязнение» территорий, прилегающих к полигонам;
- негативное воздействие полигонов на все компоненты экосистем при их горении. Значимое негативное воздействие на окружающую среду оказывают стихийные,
- относительно мелкие, но многочисленные и трудно контролируемые свалки отходов.

Проблема экологически безопасного обращения с твердыми коммунальными отходами является чрезвычайно сложной, так как она относится ко всем сферам жизни общества.

Решить проблему утилизации и добиться снижения образования отходов невозможно путем простого ужесточения экологических стандартов или внедрения новых технологий.

Необходимость учета социальных, экономических и технологических вопросов привела к разработке концепции комплексного управления отходами.

Основа концепции комплексного управления отходами состоит в том, что твердые коммунальные отходы (ТКО) состоят из различных компонентов, которые не должны смешиваться между собой, что позволит утилизировать их наиболее экономичными и экологически приемлемыми способами.

Опыт многих стран показывает, что при разработке эффективной системы управления отходами необходимо придерживаться определенной иерархии.

В первую очередь должны приниматься меры по сокращению количества образующихся отходов; проводиться мероприятия по их вторичному использованию и переработке оставшейся части, и в самую последнюю очередь - мероприятия по утилизации или захоронению тех отходов, возникновения которых не удалось избежать, и которые не поддаются переработке во вторсырье.

Под сокращением понимается не только уменьшение общего количества отходов, но и уменьшение их токсичности и других вредных свойств.

Вторичная переработка не только уменьшает площадь, занимаемую полигонами, но и позволяет вовлечь отходы во вторичный оборот, улучшает эффективность мусоросжигания путем удаления из общего потока отходов несгораемых материалов.

В настоящее время разработаны и широко применяются в зарубежных странах эффективные с экологической точки зрения технологии переработки и обезвреживания практически всех опасных отходов.

Захоронение на полигонах продолжает оставаться необходимым для отходов, не поддающихся вторичной переработке, несгораемых или сгорающих с выделением токсичных веществ.

Контрольные вопросы

1. Что является источником твердых бытовых отходов? От чего зависит состав ТБО?
2. По каким принципам и на какие группы делятся методы обезвреживания и переработки ТБО?
3. Какие требования предъявляются к полигонам?
4. Какие меры могут способствовать снижению количества отходов?
5. Возможны ли полностью безотходные производства?
6. Что такое рециклинг? Приведите примеры наиболее широко применяемых технологий рециклирования.
7. Для чего используют комплексные полигоны? Каково их внутритерриториальное деление?
8. Как осуществляется захоронение радиоактивных отходов?
9. Что называют нормами накопления твердых бытовых отходов?

Глава 14. НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Нефть - одно из важнейших полезных ископаемых, жидкость, обладающая горючими свойствами.

Нефть — природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений.



подавляющая часть месторождений нефти приурочена к осадочным породам.

По химическому составу и происхождению нефть близка к природным газам; обнаруживается вместе с газообразными углеводородами на глубинах от десятков метров до 5-6 км.

Однако на глубинах свыше 4,5-5 км преобладают газовые и газоконденсатные залежи с незначительным количеством лёгких фракций.

Максимальное же число залежей нефти располагается на глубине 1-3 км.

В последние годы проблема нефтяных загрязнений становится все более актуальной.

Развитие промышленности и транспорта требует увеличения добычи нефти как энергоносителя и сырья для химической промышленности. А в месте с тем, это одна из самых опасных для природы индустрий. Ежегодно миллионы тонн нефти выливаются на поверхность Мирового океана, попадают в почву и грунтовые воды, сгорают, загрязняя воздух.

Большинство земель в той или иной мере загрязнены сейчас нефтепродуктами. Особенно сильно это выражено в тех регионах, через которые проходят нефтепроводы, а также богатых предприятиями химической промышленности, использующими в качестве сырья нефть или природный газ.

Ежегодно десятки тонн нефти загрязняют полезные земли, снижая ее плодородие, но до сих пор этой проблеме не оказывают должного внимания.

Нефть представляет собой жидкость от желто- или светло-бурого до черного цвета, с характерным запахом. Это смесь углеводов и их производных, каждое из которых может рассматриваться как самостоятельный токсикант.

В ее составе обнаруживается свыше 1000 индивидуальных органических веществ, содержащих 83 - 87% углерода, 12 - 14% водорода, 0,5 - 6,0% серы, 0,02 - 1,7% азота, 0,005 - 3,6% кислорода и незначительную примесь минеральных соединений; зольность нефти не превышает 0,1%. Нефть легче воды: плотность различных видов нефти колеблется от 0,73 до 0,97.

В зависимости от месторождения нефть имеет различный состав как качественный, так и количественный.

Основной источник загрязнения почвы нефтью - антропогенная деятельность.

В естественных условиях нефть залегает под плодородным слоем почвы на больших глубинах и не производит существенного на нее влияния.

В нормальной ситуации нефть не выходит на поверхность, происходит это только в редких случаях в результате подвижек горных пород, тектонических процессов, сопровождающихся поднятием грунта.

Основные загрязнения нефтью происходят в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти по сухопутным и, особенно, морским магистралям.

В районах наземных нефтепромыслов и нефтепроводов периодически происходят локальные утечки нефти и нефтепродуктов, которые не распространяются на большие площади.

Гораздо хуже, если утечка происходит из океанической или морской буровой установки или магистрали. В этом случае нефть расплывается по воде тончайшей, часто мономолекулярной пленкой на площади в сотни и тысячи квадратных километров, образуя нефтяные пятна.

Оказавшись в прибойной зоне, нефтяная пленка выбрасывается на сушу и заражает огромные площади побережий, нанося колоссальный вред всему живому в этом районе.

Районы и источники загрязнений нефтью можно условно разделить на две группы: временные и постоянные («хронические»). К временным районам можно отнести нефтяные пятна на водной поверхности, разливы при транспортировке. К постоянным относятся районы нефтедобычи, на территории которых земля буквально пропитана нефтью в результате многократных утечек.

Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от параметров загрязнения, свойств почвы и характеристик внешней среды.

К первой группе факторов относятся химическая природа загрязняющих веществ, концентрация их в почве, срок от момента загрязнения и др. Как было отмечено выше, нефть состоит из многих фракций, существенно различающихся между собой по физико-химическим свойствам. Поэтому их поведение в почве различно.

Наибольшей проникающей способностью обладают легкие фракции, которые капиллярными силами затягиваются на глубину до 1 метра.

Будучи загрязнена только легкими фракциями, почва со временем может самоочиститься, так как эти фракции обладают низкими температурами кипения и довольно быстро испаряются.

Тяжелые битумные фракции, которые находятся в нефти растворенными в летучих фракциях, проникают не глубже 12 см.

При нормальной температуре это твердые аморфные вещества, они адсорбируются из раствора почвенными частицами верхнего слоя, склеивают их, застывают и образуют твердую корку. Такое загрязнение не может быть ликвидировано естественным путем.

Фракции нефти имеют разную токсичность. Поэтому загрязнение тяжелыми фракциями наносит косвенный вред - ухудшает или вообще делает невозможным аэрацию почвы, понижает содержание в почве кислорода, что приводит к снижению количества или вообще вымиранию аэробной части микрофлоры и, наоборот, увеличению числа анаэробов.

Наиболее опасно загрязнение именно самой нефтью: при этом легкие фракции проникают вглубь, а тяжелые создают корку на поверхности, не давая первым испариться.

В результате все живое в почве просто гибнет, почва теряет свои хозяйственные свойства, становится мертвой.

Ко второй группе факторов принадлежат структура почвы, гранулометрический состав, влажность почвы, активность микробиологических и биохимических процессов и др.

Чем крупнее частицы почвы, тем легче нефть и нефтепродукты проходят внутрь ее, в ее нижние слои. От структуры почвы также зависит степень аэрации почвы, а, следовательно, интенсивность испарения и окисления нефти. Влажная почва отталкивает гидрофобные нефть и нефтепродукты, препятствуя ее впитыванию.

К внешним факторам относятся температура воздуха, ветренность, уровень солнечной радиации и особенно доля ультрафиолетового излучения в свете, растительный покров и пр.

Чем выше температура воздуха, тем выше скорость окислительных процессов, посредством которых разлагается на воздухе нефть.

Соответственно в летнее время нефть быстрее разлагается: легкие фракции испаряются, тяжелые окисляются. Зимой, при отрицательной температуре, большинство тяжелых фракций переходят в твердое состояние и вообще не окисляются, поэтому основная часть (если не все) процессов разложения нефти и нефтепродуктов происходят именно летом.

Ветер обдувает верхний слой почвы свежим воздухом, создавая динамически повышенную концентрацию кислорода над ней, способствуя окислению. К тому же ветер создает токи воздуха в воздушной системе почвы, по крайней мере той ее части, что осталась после загрязнения.

Выветривание верхнего загрязненного и окисленного слоя также содействует дальнейшему очищению. Ультрафиолетовое излучение способствует окислительным реакциям и поэтому сильно ускоряет разложение нефти на поверхности земли и, особенно, на водных гладах.

При сильном нефтяном загрязнении растительный покров обычно вымирает. Однако, если загрязнение не очень велико, то он может способствовать очищению почвы.

Образующийся от него за несколько лет растительный опад создает над загрязненным слоем чистый гумусовый слой, богатый аэробной микрофлорой, которая может вести окисление лежащих ниже нефтепродуктов.

Для охраны почв от нефтяного загрязнения требуется проведение следующих мероприятий:

Выработка норм допустимого содержания нефти и нефтепродуктов в почве.

Осуществление анализа хозяйственно важных земель (особенно вблизи нефтепроводов, химпредприятий, буровых установок) на содержание в них нефтепродуктов.

Капитальный ремонт или закрытие перечисленных объектов, если установлено, что это предприятие, нефтепровод, буровая установка является источником нефтяного загрязнения.

Наказание лиц, ответственных за произошедшее загрязнение.

Рекультивация и санация земель, загрязненных нефтепродуктами. Специфика загрязнения земель нефтепродуктами заключается в том, что последние долго разлагаются (десяtkи лет), на них не растут растения и выживают не многие виды микроорганизмов. Восстановить земли можно путем удаления загрязненного почвенного слоя вместе с нефтью.

Далее может следовать либо засев культурами, которые в получившихся условиях смогут дать наибольшее количество биомассы, либо завоз незагрязненной почвы.

Восстановление загрязненной нефтепродуктами земли проходит в три основных этапа:

- удаление загрязненной нефтью почвы;
- рекультивация нарушенного при этом ландшафта;
- мелиорация.

На первом этапе вывозится минимальное количество загрязненной почвы и свозится в места захоронения или используется там, где от нее не требуется плодородных свойств (нанесение дамб и т.п.).

На втором этапе производится завоз нового плодородного слоя и вскрышных пород с хорошими почвообразующими свойствами, формирование нужного рельефа. Характер проведения этих работ зависит от таких факторов как вид последующего использования рекультивируемых площадей, климат, и окружающий рельеф.

На третьем этапе, соответственно, производится приспособление к сельскохозяйственному использованию. Заключается оно, как правило, в обеспечении нужного водного режима, защите от эрозии, оползней и т.д. Третий этап не является обязательным, но поскольку восстановление земель производится в основном под сельскохозяйственные нужды, то он обычно проводится тоже.

Таким образом, нефть представляет собой смесь углеводородов и их производных, в целом свыше 1000 индивидуальных органических веществ, каждое из которых может рассматриваться как самостоятельный токсикант. Основной источник загрязнения почвы нефтью - антропогенная деятельность. Загрязнение происходит в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти.

Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от параметров загрязнения (химическая природа загрязняющих веществ, концентрация их в почве, срок от момента загрязнения и др.), свойств почвы (структура почвы, гранулометрический состав, влажность почвы, активность микробиологических и биохимических процессов и др.) и характеристик внешней среды (температура воздуха, ветренность, уровень солнечной радиации и особенно доля ультрафиолетового излучения в свете, растительный покров и пр.).

Восстановление загрязненных нефтепродуктами земель проходит либо засевом культур, устойчивых к нефтяному загрязнению, либо завозом незагрязненной почвы, что осуществляется в три основных этапа: удаление загрязненной нефтью почвы, рекультивация нарушенного ландшафта, мелиорация.

Нефтепродукты - это товарные сырые нефти, прошедшие первичную подготовку на промысле, и продукты переработки нефти, ис-

пользующиеся в различных видах хозяйственной деятельности: авиационные и автомобильные бензины, реактивные, тракторные и осветительные керосины, дизельное топливо, мазуты, растворители, смазочные масла, гудроны, нефтяные битумы и другие нефтепродукты (парафин, нефтяной кокс, присадки, нефтяные кислоты и др.).

В соответствии с ГОСТ 26098-84 «Нефтепродукты. Термины и определения» (с Изменением № 1, январь 2001 г.) нефтепродукт - готовый продукт, полученный при переработке нефти, газоконденсатного, углеводородного и химического сырья.

Негативное воздействие на окружающую среду может происходить в ходе добычи, транспортировки, переработки и использования нефти и нефтепродуктов (загрязнение почв и деградация земель, загрязнение водных объектов, нарушение ландшафтов, потеря местобитания биологических видов и др.). В условиях крайне напряженной экологической ситуации, складывающейся во многих регионах мира, загрязнение почвенного покрова нефтью и нефтепродуктами представляет собой серьезную проблему, требующую серьезного комплексного изучения и выработки алгоритма ее решения с учетом региональных природно-климатических и социально-экономических особенностей. Естественное самоочищение компонентов биосферы от нефтяного загрязнения является длительным процессом, который может продолжаться несколько десятилетий.

Нефть представляет собой природную маслянистую горючую жидкость со специфическим запахом, состоящую в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и ряда других химических соединений.

Физические свойства нефти, так же, как и её химические характеристики, изменяются в достаточно широком диапазоне, в зависимости от её состава. При этом консистенция нефти изменяется в широких пределах - от легкой, насыщенной газами, до тяжелой и густой, с высоким содержанием смол. Удельный вес нефти, как правило, варьирует от 0,80 до 0,95 г/см³.

Нефть различается по цвету (от светлого, почти прозрачного, до темно-коричневого, почти черного). Наиболее распространена нефть бурого-коричневого и черного цветов, изредка встречается нефть желто-зеленого и зеленого цвета, а также бесцветная.

Цвет и запах нефти в значительной степени обусловлены присутствием азот-, серо- и кислородсодержащих компонентов, которые концентрируются в смазочном масле и нефтяном остатке. Большинство углеводородов нефти, за исключением ароматических соединений, в чистом виде лишено запаха и цвета.

Сырая нефть представляет собой сложную смесь углеводородов: алифатических (метановых углеводородов или парафинов), циклических насыщенных (нафтеновых), циклических ненасыщенных (ароматических) и смешанных, гибридных (метанонафтеновых и нафтеново-ароматических), содержащую также небольшие количества соединений серы, азота, кислорода и других элементов.

В составе нефти обнаружено свыше 1000 индивидуальных органических веществ, содержащих в среднем 82-87% углерода, 11- 14,5% водорода, 0,01-6 (до 8)% серы, 0,001-1,8% азота, 0,005-0,35 (до 1,2)% кислорода и незначительную примесь минеральных соединений. В жидких углеводородах растворены смолисто-асфальтеновые высокомолекулярные соединения, содержащие до 88% углерода.

Всего в нефти обнаружено более 50 элементов. Так, наряду с вышеперечисленными элементами, в нефти присутствуют V (10^{-5} - 10^{-2} %), Ni (10^{-4} - 10^{-3} %), Cl (от следов до $2 \cdot 10^{-2}$ %) и др. Следует отметить, что содержание указанных соединений и примесей в сырье разных месторождений колеблется в широких пределах, поэтому «средний химический состав нефти» - понятие достаточно условное.

Углеводороды, входящие в состав нефти:

Метановые углеводороды. Алканы (насыщенные алифатические углеводороды, парафины) - ациклические углеводороды линейного или разветвлённого строения, содержащие только простые связи и образующие гомологический ряд с общей формулой C_nH_{2n+2} . Алканы являются насыщенными углеводородами и содержат максимально возможное число атомов водорода. Примеры: метан (CH_4), этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}) и др.

При нормальных условиях CH_4 - C_4H_{10} - газы, C_5H_{12} - $C_{15}H_{32}$ - жидкости, $C_{16}H_{34}$ - твердые вещества. Газообразные углеводороды и твердые высокомолекулярные углеводороды (парафины) находятся в растворенном состоянии.

Нефть с преобладанием метановых углеводородов относится к метановому типу.

Выделяют высокопарафинистые ($> 6\%$ парафина), парафинистые ($1,5-6\%$ парафина) и малопарафинистые ($< 1,5\%$ парафина) разновидности нефти.

Нафтеновые углеводороды. Циклоалканы - алициклические насыщенные углеводороды, по химическим свойствам близки к предельным углеводородам. Основные представители - циклопропан, циклобутан, циклопентан, циклогексан и их производные.

Нафтеновые углеводороды присутствуют во всех типах нефти, но преобладают крайне редко.

Ароматические углеводороды - циклические органические соединения, которые имеют в своём составе ароматическую систему. Основными отличительными свойствами являются повышенная устойчивость ароматической системы и, несмотря на ненасыщенность, склонность к реакциям замещения, а не присоединения.

Различают бензоидные (арены и структурные производные аренов; содержат бензольные ядра) и небензоидные (все остальные) ароматические соединения. Среди небензоидных ароматических соединений хорошо известны азулен ($C_{10}H_8$), аннулены (общая формула $(CH)_m$), гетарены (пиридин - C_5H_5N , пиррол - C_4H_4NH , фуран - C_4H_4O , тиюфен - C_4H_4S). Известны и неорганические ароматические соединения, например, боразол ($B_3H_6N_3$) - «неорганический бензол».

Асфальтены - наиболее высокомолекулярные компоненты нефти. Твёрдые хрупкие вещества чёрного или бурого цвета; размягчаются в инертной атмосфере при $200-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ с переходом в пластичное состояние; плотность около $1,1\text{ г/см}^3$.

Смолы нефтяные - высокомолекулярные гетероатомные компоненты ($1 - 20\%$ по массе) нефти, растворимые в низкокипящих насыщенных углеводородах.

Смолы - вязкие вещества, а асфальтены - твердые. И те, и другие вещества растворены в жидких углеводородах. Высокое содержание смол и асфальтенов ведет к увеличению удельного веса и вязкости нефти.

Нефть разных месторождений содержит одни и те же химические компоненты, но может различаться их соотношением. Например, в бакинской нефти преобладают алканы и нафтенy, а в нефти Краснодарского края содержится заметное количество ароматических углеводородов.

По содержанию серы нефти делятся на три группы:

- малосернистые ($< 0,5\% S$);
- сернистые ($0,5-2\% S$);
- высокосернистые ($> 2\% S$).

Источники поступления нефти и нефтепродуктов в природные среды Российская Федерация обладает значительными запасами нефти - 29,8 млрд т. По данным Роснедр, прирост ресурсов углеводородного сырья в РФ составил в среднем 6,1 млрд т условного топлива в год (1 т условного топлива равна 1 000 м³ газа или 1 т нефти). В 2018 г. на государственственный учет впервые были поставлены запасы 55 месторождений углеводородного сырья. Наибольшее количество месторождений было открыто в Приволжском федеральном округе (39 мелких и очень мелких месторождений).

Наиболее крупные месторождения, открытые в 2018 г.:

К основным потенциальным источникам загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами можно отнести нефтепромыслы, нефтепроводы, нефтеперерабатывающие предприятия, нефтехранилища, наземный и водный транспорт, перевозящий нефтепродукты.

Загрязнение экосистем в процессе недропользования происходит главным образом в результате аварий в ходе добычи и транспортировки нефти.

В районах нефтепромыслов основные загрязняющие вещества - это сырая нефть и высокоминерализованные нефтяные и сточные воды, продукты сжигания попутных газов.

Нефтеперерабатывающие предприятия и нефтехранилища загрязняют природную среду главным образом через выбросы в атмосферу и сбросы сточных вод. Их можно отнести к локальным источникам загрязнения.

Нефтепроводы, по которым перекачивают сырую и товарную нефть, а также различные жидкие нефтепродукты, представляют собой наименее управляемый источник загрязнения.

По данным Минэнерго России, на предприятиях топливно-энергетического комплекса основная доля (более 90%) аварий, связанных с разливами нефти от порывов нефтепроводов, происходит из-за коррозии металла труб. Наибольшее количество фактов разлива нефтепро-

дуктов, как и в предыдущие годы, было выявлено в Уральском федеральном округе (81,5 % от общего количества нефтеразливов в Российской Федерации); наибольшая площадь загрязнения отмечена на территории Южного федерального округа (63,4 %); наибольший объем вылившихся нефтепродуктов - в Южном (44,2 %) и Центральном (38,3 %) федеральных округах.

В процессе изыскания трасс, строительства и эксплуатации трубопроводов происходит воздействие на все компоненты биосферы, а именно на почвенный покров, подземные и поверхностные воды, приземный слой атмосферы, растительность, животный мир.

При этом в качестве источников воздействий выступают перекачиваемые продукты (нефть, газ, нефтепродукты), продукты сгорания нефти и газа, транспорт и строительно-монтажная техника, тепло транспортируемой по трубопроводам жидкости или газа, трубопроводы.

Основными загрязняющими веществами, образующимися в процессе добычи и переработки нефти, являются углеводороды (48%) и оксид углерода (44%). Кроме того, нефть содержит около 30 металлов, среди которых максимальные концентрации (порядка долей %) характерны для ванадия и никеля.

В отличие от многих антропогенных воздействий нефтяное загрязнение оказывает комплексное воздействие на окружающую природную среду и вызывает ее быструю отрицательную реакцию.

Хронические разливы нефти, нефтепродуктов соленых пластовых вод, выносимых эксплуатационными скважинами вместе с нефтью и газом, приводят к продуктивности земель и деградации ландшафтов.

Воздействия могут быть прямыми, длительными и кратковременными (импульсными), могут проявляться в виде механического разрушения или нарушения, загрязнения, теплового влияния и т.д. Последствия этих воздействий обратимы и необратимы (нерегулируемы), носят первичный или вторичный характер.

По характеру последствий факторы воздействий на природную среду можно условно объединить в две группы:

- химические факторы, частично или полностью разрушающие биогеоценозы (разливы нефти);
- физико-механические факторы, частично или полностью разру-

шающие биогеоценозы (взрывы газа, работы по строительству и эксплуатации нефтепроводов).

Наиболее опасными для состояния окружающей среды являются разливы нефти. Их опасность в значительной степени обусловлена тем, что природная среда еще не выработала механизмов противостояния или восстановления без каких-либо последствий для растительного и животного мира.

Разливы нефти уничтожают практически все живое, о чем свидетельствуют высохшие леса, приуроченные к местам скопления нефти. Несмотря на многочисленные научные исследования, воздействия нефти и нефтепродуктов на экосистемы изучены слабо, особенно вопросы отдаленных последствий.

Так как все компоненты природной среды: почва, растительность, животные, вода, приземная атмосфера - образуют единую сложную систему, то в основу оценки воздействия того или иного токсиканта должно быть положено всестороннее изучение данного вещества применительно ко всем звеньям экосистем.

В районах загрязнения природной среды нефтью и нефтепродуктами происходит нарушение нормального функционирования всех компонентов биогеоценозов, а также их целостности: при контакте с нефтью растительность погибает сразу практически полностью сразу, длительное время не восстанавливаясь.

Погибают многие виды лишайников, однолетние растения и молодые побеги многолетних, растительный покров заболоченных и болотных типов леса. Существуют сведения о гибели долгомошных и сфагновых березовых насаждений, а также сосняков, расположенных на террасах и гривах. Критическая концентрация нефти в почве для растений составляет 7,5%.

При действии различных концентраций нефти замедляется рост растений, нарушается их дыхание и процесс фотосинтеза, повреждается корневая система и репродуктивные органы, происходят изменения в ассимиляционных тканях, снижается общая способность растения к восстановлению.

В зоне интенсивного загрязнения почти полностью исчезают крупные беспозвоночные животные, снижается численность, выживаемость и миграционная активность мелких животных, а птицы и мле-

копитающие обычно покидают эти места. При непосредственном контакте нефть губительно действует как на птиц, так и на мелких млекопитающих.

При попадании нефти на оперение птиц происходит снижение водоотталкивающей способности и теплоизоляции, в результате чего может наступить их гибель, 2-3 граммов нефти достаточно, чтобы лишить птиц подвижности. Отрицательное действие нефти сильно сказывается на жизнеспособности яиц, что ведет к снижению численности вида. Потомство птиц, испытавших действие нефти в зародыше, часто не появляется на свет или нежизнеспособно.

Самым чувствительным индикатором нефтяного загрязнения является живой напочвенный покров. По степени устойчивости к данному виду загрязнения выделяются три группы травяно-мохового покрова (в порядке снижения): злаки, осоки и ситниковые мхи - типично таежная растительность. К особо чувствительным компонентам относятся подрост древесных растений, зеленые мхи и лишайники.

Вместе с тем отмечаются довольно высокие темпы восстановления исходных растительных сообществ при загрязнении нефтью в пределах северных территорий. Так, на лесоболотных участках уже на четвертый год после аварийного разлива отмечается возобновление березы и травянистой растительности. Среди лесных пород к наиболее устойчивым видам относят сосну, березу, иву и осину.

При исследовании восстановления растительности после нефтяных разливов на северных территориях отмечается ярко выраженный бореальный характер восстанавливающей флоры, сокращение доли кустарников и кустарничков и возрастание роли злаков и разнотравья.

Наилучшим образом восстанавливаются осоки и ивовые кустарники. Также хорошо восстанавливаются мхи на увлажненных участках вне прямого контакта с нефтью.

Пионерами зарастания свежих разливов нефти являются водоросли, мхи, осоки, вейники, хвощи; из древесных пород - береза, осина, ива, сосна.

Обследованием старых разливов установлено, что в конечном итоге на их месте возникают растительные сообщества, развивающиеся в направлении формирования исходных.

При этом восстановление происходит крайне медленно. Растения начинают появляться по мере битуминизации нефти, поселяясь на

грунте в местах появления трещин в битумной корке, а их обилие увеличивается по мере роста количества трещин и интенсивности разрушения образованной корки.

Эволюционно выработанные биолого-экологические свойства березы, осины, сосны, направленные на заселение минерализованных субстратов, позволяют разрабатывать конструктивные приемы рекультивации загрязненных земель. При этом интенсивность заселения древесно-кустарниковых пород на месте разливов повышается механическим удалением нефти и созданием гривного рельефа с помощью землеройной техники.

Остатки несобранной нефти при этом перемешиваются с почвой, что исключает образование битумной корки. На перемешанном субстрате активно поселяется лесная растительность, последующее развитие которой осуществляется по схеме развития лесов после пожара. Формирование исходных насаждений ускоряют посадкой лесных культур.

Большую опасность разливы нефти представляют в незамкнутых низинных болотах и озерах, расположенных в пойме рек и на пойменных террасах.

В этих местах нефтяное загрязнение выносится в гидросеть и становится опасным для существования биогеоценозов, далеко расположенных от места разлива. Учитывая пространственную связь болотных экосистем между собой, можно предположить, что при сохраняющихся объемах разливов нефти подверженные загрязнению районы в скором времени можно будет исключить из процесса продуцирования биомассы, активизируя тем самым тенденцию накопления углерода в атмосфере.

Трудно представить последствия такого явления, но предпосылки к общему снижению биомассы в болотных массивах уже складываются. В связи с этим размещение нефтепроводов на данных территориях необходимо допускать только в исключительных ситуациях. Во всех случаях предпочтительнее прокладывать нефтепроводы на суходолах или в районах замкнутых котловин, в которых распространение нефтяного разлива будет сведено к минимуму.

В условиях нефтяного загрязнения почв происходят глубокие изменения в структуре и функциях комплекса почвенных микроорганизмов, что проявляется в изменении численности и видового состава

последних, а, следовательно, и в уровне микробиологической активности почв.

Проведенные нами исследования показывают, что загрязнение почвы нефтью способствует доминантному развитию определенных групп и видов микроорганизмов, устойчивых к действию загрязняющих веществ, и угнетению чувствительных видов.

Наблюдается увеличение обилия грибов, интенсивности образования органов спороношения у бактерий рода *Penicillium*; появляются фитопатогенные грибы рода *Fusarium* и рода *Alternaria*.

При высокой степени загрязнения снижается общая численность актиномицетов, при этом увеличивается доля стерильных актиномицетов; падает общая численность бактерий, но при этом растет численность отдельных видов.

Нефть в почве способствует доминантному развитию углеводородокисляющих бактерий, в том числе рода *Bacillus*, и угнетению чувствительных видов. То есть происходит нарушение функциональной целостности микробиоты, обеспечивающей устойчивость сложившегося в почве микробиоценоза, что приводит в конечном итоге к его частичной или полной деградации

Увеличение численности микроорганизмов в двух различных типах почв при загрязнении нефтью объясняется как увеличением питательной среды, так и сдвигом значений pH, нейтральным значениям. Так, значение pH (H₂O) в дерново-подзолистой почве при максимальной дозе нефти увеличилось с 4,2 до 5,7; в черноземе типичном с 6,4 до 6,8.

При этом многочисленными исследованиями показано, что микробиологическое разложение углеводородов достигает максимальной интенсивности при значениях pH, близких к нейтральным, так как данные параметры являются оптимальными для жизнедеятельности почвенной микрофлоры.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные инструментальные методы диагностики нефтяного загрязнения в объектах окружающей среды и области их применения.

2. Укажите недостатки существующего химико-аналитического определения понятия «нефтепродукты», применяемого для диагностики углеводородного загрязнения.

3. Охарактеризуйте сущность и особенности люминесцентных методов анализа нефти, нефтепродуктов и полициклических ароматических углеводородов в объектах окружающей среды.

4. Изложите сущность биологической индикации загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Для каких уровней организации живого она разработана?

5. Какие методы биологической индикации эффективно используются для диагностики нефтяного загрязнения окружающей среды?

Глава 15. НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

В соответствии со стандартом ИСО 11074-1 Качество почв «Почва – это верхний слой земной коры, состоящий из минеральных частиц, органического вещества, воды, воздуха и живых организмов».

Различают три класса веществ-загрязнителей: химические, биологические и радиоактивные.

Загрязняющие вещества нормируются: в пахотном слое почвы сельскохозяйственных угодий; в почве территорий предприятий; в почвах жилых районов и в местах хранения бытовых отходов.

Гигиенические требования к почвам сельскохозяйственных угодий основываются на ПДК химических веществ в почве с учетом их лимитирующего показателя вредности и приоритетности транслокационного показателя согласно ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.

Принцип, определяющий содержание химических веществ в почве, основан на том, что поступление вредного вещества из почвы непосредственно в организм происходит в исключительных случаях и в незначительных количествах, а в основном – через контактирующие с почвой среды (воздух, воду), и через разные звенья пищевых цепей.

Допустимая концентрация веществ в почвенном слое (ПДК_п) устанавливается с учетом его фоновой концентрации, стойкости и токсичности.

Согласно ГОСТу 17.4.1.03 – 84. – «Охрана природы. Почва. Термины и определения химического загрязнения»:

ПДК_п – это концентрация химического вещества в пахотном слое почвы (мг/кг почвы), которая не должна оказывать прямого или косвенного – отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды, здоровье человека и на самоочищающуюся способность почвы.

ГОСТ 17.4.3.06-86 – «Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ» определяет четыре разновидности ПДК_п в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды:

К_{тв} – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений;

K_{ma} – миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу;

K_{mv} – миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные воды и другие водные объекты;

K_{oc} – общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценозы.

Нормативы ПДКп разработаны для веществ, которые могут мигрировать в атмосферный воздух или грунтовые воды, снижать урожайность или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции. Такие вещества рассмотрены в ГОСТе 17.4.1.02-83 – «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» (табл. 15.1).

Почвы сельскохозяйственного назначения по степени загрязнения химическими веществами разделены на следующие категории: допустимые, умеренно опасные, опасные и чрезвычайно опасные:

- допустимая категория почв - содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК;

- умеренно опасная категория почв - содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю вредности;

- опасная категория почв - содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности;

- чрезвычайно опасная категория почв - содержание химических веществ превышает ПДК по всем показателям вредности.

Таблица 15.1

**Гигиеническая оценка почв сельскохозяйственного назначения и
рекомендации по их использованию**

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности почв	Возможное использование территории	Рекомендации по оздоровлению почв
1. Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения почвы. Осуществление мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений и т.п.)
2. Умеренно опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но не ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений	Мероприятия аналогичные категории 1. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или миграционным воздушным показателями проводится контроль за содержанием этих веществ в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водных источников
3. Высокоопасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры, использование под с/х культуры с учетом растений-концентраторов	1. Кроме мероприятий, указанных для категории 1, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях продуктах питания и кормах. 2. При необходимости выращивания растений продуктов питания рекомендуется их перемешивание с продуктами, выращенными на чистой почве. 3. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом растений-концентраторов

4. Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	Использование под технические культуры или исключение из сельскохозяйственного использования. Лесозащитные полосы	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водоемов

Опасность загрязнения почв определяется уровнем ее возможного отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты.

ПДК устанавливают экспериментально в зависимости от допустимой остаточной концентрации (ДОК) в пищевых, кормовых растениях и в продуктах питания. ДОК - это максимальное количество вещества в продуктах питания, которое, поступая в организм в течение всей жизни, не вызывает никаких нарушений в здоровье людей.

Для установления ПДК_п экспериментально определяют:

1) допустимую концентрацию вещества в почве, при которой его содержание в пищевых и кормовых растениях не превысит **нормативов ПДК для продуктов питания;**

2) допустимую (для летучих веществ) концентрацию, при которой поступление вещества в воздух **не превысит установленное ПДК для атмосферного воздуха;**

3) допустимую концентрацию при которой поступление вещества в поверхностные грунтовые воды **не превысит ПДК для водных объектов;**

4) допустимую концентрацию, не влияющую на микроорганизмы и процессы **самоочищения почвы.**

Наиболее жесткие из названных показателей принимаются в качестве ПДК_п (табл. 15.2)

Таблица 15.2. Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	Форма вещества	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона	Показатели вредности $K_{\max}$, мг/кг				Класс опасности
			Транс-локационный, K_T	Миграционный	Водный, $K_{\text{МВ}}$	Воздушный, $K_{\text{МА}}$	
Медь	Подвижная	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	Водорастворимая	10.0	10.0	10.0	—	25.0	1
Марганец	—//—	1500.0	3500.0	1500.0	—	1500.0	3
Ванадий	—//—	150.0	170.0	350.0	—	150.0	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	2.5	5.0	1
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
Ксилол	—//—	0.3	0.3	100.0	0.4	1.0	2
Сероводород	—//—	0.4	160.0	140.0	0.4	160.0	3
Серная кислота	—//—	160.0	180.0	380.0	—	3000.0	1
Комплексные гранулированные удобрения (N:P:K=64:0:15)	—//—	120.0	800.0	120.0	800.0	800.0	3

N, P, K - азот, фосфор и калий.

Оценка уровня химического загрязнения проводится по специально разработанным методикам. Один из параметров, по которому судят о загрязнении - коэффициент концентрации химического элемента (табл. 15.3).

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}$$

C_i - концентрация вещества;

$C_{\phi i}$ - фоновая концентрация вещества.

Суммарный коэффициент загрязнения:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{Ci} - (n-1)$$

n - количество загрязнителей.

На основании расчета Z_c создается оценочная шкала градации загрязнения почвы. В ее основе - исследования о состоянии здоровья человека.

Категория загрязнения почвы

1. Допустимая $Z_c < 16$ наиболее низкий уровень заболевания детей и минимум функциональных отклонений

2. Умеренно опасное 16 -32 увеличение общего уровня заболеваемости

3. Опасное 32 -128 увеличение общего уровня заболеваемости, увеличение числа детей с хроническими заболеваниями, увеличение нарушений сердечно-сосудистой системы

4. Чрезвычайно опасное > 128 увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин.

Таблица 15.3. ПДК химических веществ в почве

Вещество	ПДК мг/кг почвы с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель
Подвижная форма		
Кобальт	5,0	Общесанитарный
Фтор	2,8	Транслокационный
Хром	6,0	Общесанитарный
Водорастворимая форма		
Фтор	10,0	Транслокационный
Валовое содержание		
Бенз(а)пирин	0,02	Общесанитарный
Ксилол	0,3	Транслокационный
Мышьяк	2,0	Транслокационный
Отходы флотации угля	3000,0	Общесанитарный
Ртуть	2,1	Транслокационный
Свинец	32	Общесанитарный
Элементарная сера	160,0	Общесанитарный
Сероводород	0,4	Воздушный
Серная кислота	100,4	Общесанитарный
Стирол	0,1	Воздушный
Формальдегид	7,0	Воздушный
Хлористый калий	560	Водный

Одновременно с нормированием химических веществ в почве разработаны теоретические и методические основы нормирования пестицидов, тяжелых металлов, нефтепродуктов, органических соединений и микроэлементов, которые предусматривает ГОСТ 17.4.3.03-85 - «Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ».

Санитарное состояние почвы оценивается по следующим параметрам: **санитарно-химическим, санитарно-эпидемиологическим, санитарно-гельминтологическим, санитарно-бактериологическим, вирусологическим.**

1. Оценка санитарного состояния почвы по санитарно-химическим показателям (ГОСТ 17.4.2.01-81 – «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния»).

1.1. Санитарно-химическими показателями санитарного состояния почв являются:

Санитарное число C - косвенно характеризует процесс гумификации почвы и позволяет оценить самоочищающую способность почвы от органических загрязнений.

Санитарное число C - это отношение количества "почвенного белкового (гумусного) азота" A в миллиграммах на 100 г абсолютно сухой почвы к количеству "органического азота" B в миллиграммах на 100 г абсолютно сухой почвы. Таким образом, частное от деления: $C=A/B$. Оценка санитарного состояния почвы по этому показателю проводится в соответствии с таблицей 5.

Оценка чистоты почвы по «Санитарному числу»

- практически чистая 0,98 и больше
- слабо загрязненная от 0,85 до 0,98
- загрязненная от 0,70 до 0,85
- сильно загрязненная меньше 0,70

1.2. Химическими показателями процессов разложения азотсодержащего органического вещества в почве являются аммиачный и нитратный азот. Аммонийный азот, нитратный азот и хлориды характеризуют уровень загрязнения почвы органическим веществом. Оценку почв по этим показателям целесообразно осуществлять в динамике или путем сравнения с незагрязненной почвой (контроль).

2. Оценка степени биологического загрязнения почв («Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы» Утв. Минздравом СССР 04.08.1976 №1446-76)

2.1. Санитарно-бактериологические показатели

В загрязненной почве на фоне уменьшения истинных представителей почвенных микробоценозов (антагонистов патогенной кишечной микрофлоры) и снижения ее биологической активности отмечается увеличение положительных находок патогенных энтеробактерий и геогельминтов, которые более устойчивы к химическому загрязнению почвы, чем представители естественных почвенных микробоценозов. Это является одной из причин необходимости учета эпидемиологической безопасности почвы населенных пунктов. С увеличением химической нагрузки может возрасти эпидемическая опасность почвы.

Оценка санитарного состояния почвы проводится по результатам анализов почв на объектах повышенного риска (детские сады, игровые

площадки, зоны санитарной охраны и т.п.) и в санитарно-защитных зонах по санитарно-бактериологическим показателям:

1) Косвенные, характеризуют интенсивность биологической нагрузки на почву. Это - санитарно-показательные организмы группы кишечной палочки (БГКП (Колиндекс) и фекальные стрептококки (индекс энтерококков)). В крупных городах с высокой плотностью населения биологическая нагрузка на почву очень велика, и как следствие, высоки индексы санитарно-показательных организмов, что наряду с санитарно-химическими показателями (динамика аммиака и нитратов, санитарное число), свидетельствует об этой высокой нагрузке.

2) Прямые санитарно-бактериологические показатели эпидемической опасности почвы - обнаружение возбудителей кишечных инфекций (возбудители кишечных инфекций, патогенные энтеробактерии, энтеровирусы).

Почву оценивают как "чистую" без ограничений по санитарно-бактериологическим показателям при отсутствии патогенных бактерий и индексе санитарно-показательных микроорганизмов до 10 клеток на грамм почвы. О возможности загрязнения почвы сальмонеллами свидетельствует индекс санитарно-показательных организмов (БГКП и энтерококков) 10 и более клеток/г почвы.

Концентрация колифага в почве на уровне 10 БОЕ на г и более свидетельствует об инфицировании почвы энтеорвирусами.

2.2. Санитарно-паразитологические показатели

Из всех объектов окружающей среды почва наиболее часто и интенсивно загрязняется возбудителями кишечных паразитарных заболеваний: гельминтозы, лямблиоз, амебиаз и др. Почва для яиц геогельминтов (аскарид, власоглавов, токсокар, анкилостомиды, стронгилоидес и др.) является неотъемлемой средой прохождения их биологического цикла развития и местом временного пребывания для яиц биогельминтов (описпорхи, дифиллобатрииды, тенииды и др.), а также цист кишечных патогенных простейших (криптоспоридий, изоспор, лямблий, балантидий, дизентерийной амебы и др.)

Яйца геогельминтов сохраняют жизнеспособность в почве от 3 до 10 лет, биогельминтов - до 1 года, цисты кишечных патогенных простейших - от нескольких дней до 3 - 6 месяцев.

Прямую угрозу здоровью населения представляет загрязнение почвы жизнеспособными оплодотворенными и инвазионными яйцами

аскарид, власоглавок, токсокар, анкилостомид, личинками стронгилоидов, а также онкосферами тениид, цистами лямблий, изоспор, балантидий, амёб, ооцистами криптоспоридий; опосредованную - жизнеспособными яйцами описторхисов, дифилоботриид.

При оценке эпидемической опасности и степени загрязнения почвы возбудителями паразитарных болезней определяют:

- вид возбудителей;
- их жизнеспособность и инвазионность;
- экстенсивный показатель загрязнения "А" - отношение числа положительных проб "Б" - (пробы почвы, в которых обнаружены возбудители паразитарных болезней), к общему числу исследованных проб ("С") в процентах: $A = B/C \times 100$;
- интенсивный показатель загрязнения - общее содержание возбудителей паразитарных болезней в 1 кг (или 100 г) почвы.

2.3. Санитарно-энтомологические показатели

Санитарно-энтомологическими показателями являются личинки и куколки синантропных мух.

Критерием оценки санитарно-энтомологического состояния почвы является отсутствие или наличие преимагинальных (личинки и куколки) форм синантропных мух в ней на площадке размером 20 x 20 см.

Наличие личинок и куколок в почве населенных мест является показателем неудовлетворительного санитарного состояния почвы и указывает на плохую очистку территории, неправильный в санитарно-гигиеническом отношении сбор и хранение бытовых отходов и их несвоевременное удаление.

Все показатели определяются посредством анализа отобранных проб почвы согласно ГОСТ 17.4.4.01-83 «Общие требования к отбору проб почвы»; ГОСТ 17.4.4.02-84 «Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

3. Показатели биологической активности почвы (МУ 2.1.7.730-99 – «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест»)

Исследования по биологической активности почвы проводятся при необходимости углубленной оценки ее санитарного состояния и способности к самоочищению.

Основными интегральными показателями биологической активности почвы являются: общая микробная численность (ОМЧ), численность основных групп почвенных микроорганизмов (почвенных, сапрофитных бактерий, актиномицетов, почвенных микромицетов), показатели интенсивности трансформации соединений углерода и азота в почве ("дыхание" почвы, "санитарное число", динамика азота аммиака и нитратов в почве, азотфиксация, аммонификация, нитрификация и денитрификация), динамика кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в почве, активность ферментативных систем и другие показатели.

На первом этапе исследований целесообразно использование наиболее простых и быстро определяемых информативных интегральных показателей: "дыхание" почвы, общая микробная численность, окислительно-восстановительный потенциал и кислотность почв, динамика азота аммиака и нитратов.

Дальнейшее углубленное исследование проводится в соответствии с полученными результатами и общими задачами исследования.

Методики измерений и оценки биологической активности почвы приведены в "Методических указаниях по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве" от 05.08.82 N 2609-82. Так, почву можно считать "незагрязненной" по показателям биологической активности при изменениях в микробиологических показателях не более 50% и биохимических - не более 25% по сравнению с такими же для контрольных, принятых в качестве чистых незагрязненных почв.

Согласно «Государственному каталогу пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» (утв. Минсельхозом РФ) (по состоянию на 04.04.2008) в почвах сельхозугодий контролируются все применяемые пестициды (гексахлорциклогексан, гранозан, полихлорпропилен, метафос, цирам, севин, гептахлор, карбатион и др) – это группа химических и биологических соединений и препаратов, используемых для борьбы с вредителями и болезнями растений и животных, сорными растениями, вредителями сельскохозяйственной продукции, для регулирования роста растений, предуборочного удаления листьев и подсушивания растений. Их содержание определяется сразу после обработок, а также в последующее время, чтобы определить скорость разложения. Продолжается контроль и ДДТ: хотя этот препарат и запрещен к применению, но

из-за своей стойкости еще присутствует в почвах и может загрязнять сельскохозяйственную продукцию.

Утверждены Минздравом РФ, Минсельхозпродом РФ 29.04.1999 «Правила по хранению, применению и транспортировке пестицидов и агрохимикатов».

Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (Перечень) предусматривает ГН 1.1.549-96 утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 25.09.1996 № 19 (с изм.от 01.03.2003)

Одновременно с этим почвы контролируются на содержание в них тяжелых металлов, бензапирена и других токсичных веществ.

Содержание нормируемых примесей зависит от вида сельскохозяйственной продукции (мясная, молочная, растительная). Примеры ПДК_п для некоторых веществ приведены в табл. 15.4.

Таблица 15.4

ПДК_п некоторых пестицидов и допустимые остаточные концентрации этих веществ в продуктах питания (ДОК), мг/кг

Вещество	ПДК _п	ДОК
Хлорофос	0,5	1,0
Карбофос	2,0	1,0
Гексахлоран	1,0	1,0
Полихлорпинен	0,5	0,0
Полихлоркомфен	0,5	0,1
Севин	0,05	0,0

При отсутствии ПДК могут устанавливаться временно допустимые концентрации (ВДК_п), которые определяются по эмпирическим уравнениям регрессии

$$ВДК_n = 1,23 + 0,48 \lg ПДК_{пр} ,$$

где ПДК_{пр} - предельно допустимая концентрация вещества в продуктах питания.

Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»

предусматривает СанПиН 2.1.7.573-96 Утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 №46. Помимо этого, важное значение для понимания процессов загрязнения почв, особенно в результате атмосферного переноса, имеет анализ поступления загрязняющих веществ на поверхность земли. Для этой цели ведется контроль загрязнения атмосферных осадков.

России осуществляют 625 пунктов на площади 15 млн. км². В пробах определяются ионы сульфата, нитрата аммония, значения рН, а также наличие бензапирена, тяжелых металлов. По сути дела, каждый раз создается карта распределения загрязнения на территории страны. Эти данные служат ценным источником информации и используются при разработке мер, снижающих уровень загрязнения окружающей среды.

Объектами сети наблюдений за загрязнением почв являются сельскохозяйственные угодья (поля), отдельные лесные массивы, зоны отдыха (парки, санатории, дома отдыха) и прибрежные зоны. Отбор проб проводится в 234 хозяйствах, расположенных в 123 районах Российской Федерации на площади более 4 тыс. га.

При оценке почв сельскохозяйственных территорий пробы почвы отбирают 2 раза в год (весна, осень) с глубины 0-25 см. На каждые 0-15 га закладывается не менее одной площадки размером 100-200 м² в зависимости от рельефа местности и условий землепользования.

Российским экологическим законодательством предусмотрен норматив вредного воздействия на окружающую среду – предельно допустимые нормы применения агрохимикатов в сельском хозяйстве.

Агрохимикаты – удобрения, химические мелиоранты, кормовые добавки, предназначенные для питания растений, регулирования плодородия почв и подкормки животных (ст. 1 Федерального закона "О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами" от 19 июля 1997 г. N 109-ФЗ, опубликованного в Собрании законодательства Российской Федерации, 1997, N 29, ст. 3510).

Ранее, при применении минеральных удобрений и ядохимикатов нормы их внесения определялись в основном с учетом экономической потребности. При этом не обеспечивался должный учет экологических факторов. Статья 30 Закона «Об охране окружающей природной среды» предусматривает, что предельно допустимые нормы применения минеральных удобрений, средств защиты растений, стимуляторов

роста и других агрохимикатов в сельском хозяйстве устанавливаются в дозах, обеспечивающих соблюдение нормативов предельно допустимых остаточных количеств химических веществ в продуктах питания, охрану здоровья, сохранение генетического фонда человека, растительного и животного мира. Проекты таких норм разрабатываются и представляются в природоохранные органы и органы госсанэпиднадзора органами государственной агрохимической службы России.

Предельно допустимые нормы применения минеральных удобрений и других агрохимикатов в сельском хозяйстве устанавливаются в дозах, обеспечивающих соблюдение нормативов предельно допустимых остаточных количеств химических веществ.

Согласно СанПиН 1.2.1077-01 Гигиенические требования к хранению, применению и транспортировке пестицидов и агрохимикатов применение пестицидов и агрохимикатов в сельскохозяйственном производстве проводится только после предварительного обследования сельскохозяйственных угодий (посевов, производственных помещений) и установления специалистами станций защиты растений или агрохимцентров целесообразности их применения.

Таким образом, в почвах сельских поселений и сельскохозяйственных угодий содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов в почвах на разной глубине, а также уровень радиационного фона не должны превышать предельно допустимые концентрации (уровни), установленные санитарными правилами и гигиеническими нормативами. Захоронение радиоактивных отходов предусмотрено ГОСТ 22.8.02-97 - «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Захоронения радиоактивных отходов агропромышленного производства. Общие требования».

Контрольные вопросы

1. Какие задачи выполняет мониторинг ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций?
2. Перечислите задачи геоэкологического мониторинга при разведке и освоении морских месторождений нефти и газа.
3. Укажите цели и задачи геоэкологического прогнозирования.

4. Охарактеризуйте задачи и методологию прогнозного ландшафтно-геохимического районирования, используемого для оценки воздействия на окружающую среду добычи и транспортировки нефти и газа.

5. Назовите принципы, положенные в основу прогнозирования устойчивости почв к углеводородному загрязнению.

6. Для снижения каких рисков необходимо выявление мест современной геодинамической активности земной коры?

7. Какие задачи выполняет морфоструктурное геодинамическое районирование территорий добычи и транспортировки нефти и газа?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1

ОТБОР И ПОДГОТОВКА ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К отбору почвенных образцов следует относиться с большим вниманием, т.к. все последующие данные, часто полученные в результате очень сложных и трудоемких лабораторных исследований, будут зависеть от того, насколько правильно были собраны образцы.

При взятии образцов следует учитывать чрезвычайную макро-, мезо- и микрогенность почв по всем свойствам и, в первую очередь, по биологическим.

В связи со значительной вариабельностью биологических признаков необходимо соблюдать достаточную повторность почвенных проб. С пробной площади можно брать 3-5 индивидуальных образцов и анализировать их отдельно. В этом случае получают данные о пространственном варьировании свойств почвы.

Для получения представления о среднем значении исследуемых показателей следует анализировать тщательно отобранный средний почвенный образец, который составляется смешиванием 3-7 индивидуальных проб массой по 100-200 г.

Образцы почвы отбирают в матерчатые мешочки, пергаментные или полиэтиленовые пакеты. Полиэтиленовые пакеты защищают почву от высыхания, но при долгом хранении вызывают изменения в газовом составе почвы, поэтому они должны быть либо неплотно закрыты, либо регулярно проветриваться.

При исследовании пашни пробы берут с глубины всего пахотного горизонта, при изучении свойств всего почвенного профиля - по генетическим горизонтам (снизу вверх).

Разрез должен быть вырыт **непосредственно** перед взятием образцов. Использование старых открытых разрезов или разрезов периодически откапываемых и закапываемых допустимо только при условии зачистки лицевой стенки разреза не менее, чем на 50 см.

Образцы берут по всей толще горизонта, что особенно необходимо для последующего пересчета результатов на столбик почвы с

площадью поверхности 1 см². Для черноземов с их мощными гумусовыми горизонтами и постепенными переходами между ними образцы отбирают десятисантиметровым слоем, как это общепринято в почвоведении, из середины горизонта.

При специальных исследованиях или при сложности дифференциации почвы на генетические горизонты иногда применяют отбор проб сплошной колонкой через каждые 10 см. Инструменты можно не стерилизовать. Достаточно перед отбором пробы их несколько раз погрузить в почву того варианта, который предстоит анализировать.

Микробиологические исследования должны быть сделаны в день взятия образцов, т.к. при хранении влажных образцов состав микроорганизмов в них сильно изменяется. При невозможности проведения анализа за 24 часа прибегают к высушиванию образцов или хранению образцов при низкой температуре (в холодильнике). Согласно литературным данным, в сухих образцах обнаруживается гораздо меньше микроорганизмов, чем во влажных, и сильно искажаются соотношения между их отдельными группами.

Для исследования качественного состава микрофлоры часто рекомендуют высушивание как средство возвращения микрофлоры к начальным стадиям сукцессии при дальнейшем ее увлажнении. Образцы почвы сушатся на воздухе в защищенном от солнечных лучей месте.

К рекомендованному в некоторых литературных источниках замораживанию образцов, в частности при помощи сухого льда, лучше не прибегать, так как оно тоже может искажать результаты определения численности, повышая десорбцию микроорганизмов. Биохимические показатели рекомендуется определять в свежевысушенной почве.

Лабораторная работа № 2

ПОДГОТОВКА ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для более полного выявления количественного и качественного состава микрофлоры, анализируемые почвенные образцы подвергают специальной обработке.

Обычно применяемое 10-минутное перемешивание почвенной суспензии в колбе с водой является очень несовершенным методом предварительной подготовки почв.

По данным Д.Г. Звягинцева этот метод дает заниженные в несколько раз результаты, особенно в случае исследования сухих и хорошо оструктуренных почв.

Наиболее эффективными оказываются механические воздействия (растирание почвы, увлажненной до состояния пасты), обработка на пропеллерной мешалке (микроизмельчитель тканей, миксер), обработка звуком низкой частоты и мощности. Перед подсчетом микроорганизмов прямыми микроскопическими методами рекомендуется применять обработку почвенной суспензии в отношении 1:10 (10 г почвы на 90 мл воды).

Для определения почвенных микромицетов методами посева данный способ неприменим вследствие повреждения достаточно крупных клеток грибов ультразвуком.

При исследовании микрофлоры **методом посева** рекомендуется использование микроизмельчителя тканей. Обрабатывается почвенная суспензия (1 г почвы на 100 мл стерильной водопроводной воды).

Время обработки 5 мин при 5000 об./мин. В обоих случаях при отсутствии специального оборудования рекомендуется использовать растирание почвы, увлажненной до пастообразного состояния.

Для этого берут 1 г (а лучше 10 г) почвы, увлажняют ее до состояния пасты и растирают резиновым пестиком или пальцем в резиновой перчатке в фарфоровой чашке или ступке в течение 5 мин. Важно, чтобы почва не была слишком увлажнена или недоувлажнена. Именно в состоянии пасты она подвергается наилучшему диспергированию. Затем растертую почву количественно переносят в колбу с небольшими порциями воды, общее количество которой не должно превышать 100 мл.

Учет мицелиальных организмов - грибов и актиномицетов - на питательных средах имеет более условный характер по сравнению с учетом бактерий, так как в этих случаях величина зародыша, давшего колонию, является более неопределенной. Это может быть и спора, и гифа, и скопление гиф.

Предварительная обработка дает возможность разбить гифы на куски примерно одинаковой величины, и хотя размер учитываемых зачатков продолжает различаться в несколько раз, но он уже не различается в десятки раз, как это было до диспергирования почвы.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

МЕТОДАМИ ПРЯМОЙ МИКРОСКОПИИ

Прямые микроскопические методы дают возможность определять общее количество отдельных групп микроорганизмов. Однако даже и при применении прямых микроскопических методов можно подсчитать только количество бактерий.

Особые микроскопические методы необходимо применять для подсчетов грибов и совершенно специфические - для подсчета почвенных водорослей и беспозвоночных животных. Таким образом, когда определяется общее количество микроорганизмов в почве (точнее было бы говорить об определении общего количества бактерий), то из полученных данных можно определить только биомассу бактерий, а не общую биомассу почвенных микроорганизмов.

Следует учитывать, что общее количество микроорганизмов (и их биомасса) характеризует только потенциальный запас микроорганизмов в почве, но эти цифры еще не говорят о том, какая часть микроорганизмов находится в активном, а какая часть в покоящемся состоянии.

Общее содержание (пул) микроорганизмов в почве - величина консервативная и малоподвижная, поэтому определение его мало пригодно для установления влияния различных факторов на микрофлору почв (например, влияния пестицидов, удобрений и т.д.). Прямые методы определяют в 100-1000 раз больше бактерий, чем посев на питательные среды, даже универсальные.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

МЕТОДОМ ВИНОГРАДСКОГО

Часто для прямого микроскопического изучения почвы применяют метод С.Н. Виноградского, причем обычно пользуются модификацией этого метода, предложенной О.Г. Шульгиной.

Тщательно отобранную среднюю пробу подготовленной для анализа почвы массой 5 г помещают в 250-миллилитровую колбу, содержащую 45 мл воды. Вода не должна содержать клеток микроорганизмов. В течение 30 сек. дают осесть наиболее крупным почвенным

частицам и затем пипеткой с точно вымеренной величиной капли наносят одну каплю на поверхность чистого обезжиренного предметного стекла.

Одновременно с каплей суспензии на стекло наносят каплю 0,1% очищенного от микробных клеток агара. На стекле предварительно отмечают прямоугольник площадью 8 см², ширина которого равна ширине стекла. Нанесенную взвесь при помощи покровного стекла помешивают и равномерно распределяют по поверхности всего прямоугольника.

Препарат подсушивают, фиксируют над пламенем газовой горелки 95% этиловым спиртом или парами осмия и окрашивают карболовым эритрозином (по 5 г карболовой кислоты и эритрозина на 100 мл воды). Окрашивание в зависимости от качества краски продолжается от 1 ч. до суток. Во время окрашивания препараты не должны высыхать, для чего их помещают в эксикатор, кристаллизатор или погружают в маленькие стаканчики с краской.

Краску смывают, последовательно погружая стекла в 4-5 стаканов с водой. Препараты высушивают и помещают под микроскоп (масляная иммерсия). Необходимо приготовить несколько повторных стекол.

Расчет количества клеток в 1 г воздушно-сухой или абсолютно сухой почвы проводят по формуле:

$$M = \frac{A \times 8 \times 109 (P + 100)}{B \times V \times \Gamma}$$

где М - количество клеток в 1 г почвы; А - общее количество учтенных на стекле клеток; В - площадь поля зрения (мкм²), определяется при помощи объект-микрометра; В - объем нанесенной суспензии (мл); г - количество просчитанных полей зрения; Р - влажность почвы (%).

После проведения количественного учета микроорганизмов следует вычислить величину биомассы микроорганизмов в почве. Люминесцентно-микроскопические наблюдения отличаются большей определенностью по сравнению с методом Виноградского, и разные исследователи учитывают примерно одно и то же количество бактерий.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Одним из наиболее совершенных методов выявления, изучения и количественного учета микроорганизмов в их естественной среде обитания является люминесцентная микроскопия в падающем свете. Метод сводится к тому, что приготовленные из почвенной суспензии препараты окрашиваются специальным красителем (флуорохромом) - акридиновым оранжевым.

При использовании данного метода достигается более уверенный подсчет бактерий в почве по сравнению с методом Виноградского. Яркие зеленые клетки хорошо заметны на темном или красном фоне почвенных частиц и препарата, причем микроскопия в отраженном свете позволяет учитывать и адсорбированные клетки, которые, как правило, не видны в проходящем свете (метод Виноградского). В РФ метод применяется в модификации Звягинцева и Кожевина

Ход анализа:

1. Почвенную суспензию (1:10) сразу же после предварительной подготовки переносят в мерный цилиндр на 100 мл.
2. После 2-минутного отстаивания пипеткой отбирают 2 мл суспензии из средней фракции (с отметкой на цилиндре 50 мл) и переносят в колбу с 18 мл воды.
3. Перед приготовлением препаратов колбу энергично встряхивают и суспензию наносят на обезжиренное предметное стекло (0,01 мл на препарат) и равномерно распределяют петлей на площади 4 см² (квадрат 2×2 см). При данной площади на каждом стекле можно приготовить 3 препарата.
4. Рекомендуется предварительно начертить расположение препаратов в натуральную величину на бумаге, на которую в дальнейшем кладут предметные стекла для приготовления препаратов.
5. Препараты высушивают на воздухе при комнатной температуре. Затем, после фиксации легким нагреванием на пламени спиртовки, препараты окрашивают водным раствором акридинового оранжевого (разведение 1 : 10000; 2-4 мин).
6. Избыток флуорохрома удаляют в процессе промывки, для чего стекла погружают на 10 мин в стакан или кювету с водопроводной

водой. Окрашенные препараты высушивают при комнатной температуре.

7. Для микроскопии на препарат наносят каплю воды и покрывают обезжиренным покровным стеклом. Правильно приготовленный препарат не содержит пузырьков воздуха. Лишнюю воду удаляют фильтровальной бумагой. Препараты просматривают на люминесцентном микроскопе.

8. Количество микробных клеток, содержащихся в 1 г почвы, вычисляют по формуле:

$$M = \frac{4 \cdot a \times n \times 1010}{pM} = \frac{a \times 4}{7,85}$$

9. где М - количество клеток в 1 г почвы; а - среднее число клеток в поле зрения; р - площадь поля зрения (мкм²); n - показатель разведения. В данном случае n=100, что приемлемо для верхних горизонтов почв основных типов, однако степень разведения может быть изменена в зависимости от численности микроорганизмов в конкретном образце.

10. Желательно подобрать разведение таким образом, чтобы среднее число клеток в поле зрения составляло 5-10. На этих же препаратах в 50 полях зрения ведется подсчет длины актиномицетного мицелия с помощью окулярной линейки.

11. Препараты для количественного учета спор и мицелия грибов готовят так же, как и для бактерий. Для подсчета рекомендуется из каждого почвенного образца готовить 3 препарата и на каждом препарате подсчитывать споры и мицелий грибов в 50 полях зрения, измерение длины мицелия проводят с помощью окулярной

12. линейки.

13. Окраску спор и мицелия грибов производят калькофлюором белым. Этот краситель связывается преимущественно с хитином и целлюлозой клеточных стенок грибов, поэтому мицелий и споры легко выявляются по четко очерченной яркозеленой люминесценции

14. Разведение калькофлюора белого, используемого для окраски составляет 1 : 10 000, время для окрашивания 15 мин.

15. Для подсчета бактерий рекомендуется из каждого почвенного образца готовить два препарата и на каждом препарате подсчитывать клетки в 5 полях зрения.

16. При подсчете клеток бактерий крайне важно не выбирать

поля для подсчета, а переходить к новому полю зрения, поворачивая микрометр столика на определенную величину.

17. Следует избегать подсчитывать микроорганизмы в близко расположенных полях зрения из-за возможной корреляции между числом бактерий в них. Эти замечания справедливы только при количественном учете и, конечно, при других целях исследования становятся не обязательными. Следует выделить моменты, от которых зависит успех метода. Одно из основных требований - применение тщательно обезжиренных стекол. Новые и использованные стекла предварительно кипятят в растворе стирального порошка, промывают и держат до употребления в свежей хромовой смеси (не менее 3-4 сут.), в спирте или смеси Никитина (эфир : спирт, 1:1).

18. Очень эффективным и проверенным авторами является способ натирания стекол сухим хозяйственным мылом с удалением последнего чистой сухой тканью.

19. Рекомендуются также готовить сразу большое количество основного 0,1% раствора акридинового оранжевого в дистиллированной воде, которым и пользоваться в течение всей серии опытов. Основной раствор красителя следует хранить при 4°C в посуде из темного стекла с притертой пробкой. Рабочие растворы акридина оранжевого (1:10000) не хранят. При микроскопии применяется специальное нелюминесцирующее иммерсионное масло, которое при необходимости можно заменить аптечным парафиновым или вазелиновым маслом.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДОМ ПОСЕВА НА ПЛОТНЫЕ ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ

Метод посева на твердые питательные среды широко распространен в почвенной микробиологии. Он дает возможность довольно просто выделять чистые культуры микроорганизмов, что повышает его ценность.

Выделенные чистые культуры могут подвергаться идентификации и дальнейшему всестороннему изучению их физиологии и биохимии, образования ими физиологически активных веществ, их действие

на другие микроорганизмы, растения и т.д. При этом удается использовать один метод для изучения разных групп микроорганизмов - бактерий, актиномицетов и грибов.

В то же время чашечный метод имеет целый ряд недостатков. В частности, он позволяет выделить только одну узкую группу почвенных микроорганизмов.

Общее количество микробов (особенно бактерий и грибов) возможно учесть только прямым микроскопированием.

Методические проблемы использования метода посева:

- значительные различия при разной предварительной подготовке образцов почв
- количество колоний микробов при приготовлении параллельных разведений навесок почвы уменьшается не пропорционально разбавлению, а в гораздо меньшей степени;
- невозможность полного учета всех микроорганизмов;
- сомнительность соответствия данных численности и состава микрофлоры, полученных посевом и микрофлоры нативной почвы;
- значительная разница в учете численности бактерий в воздушно-сухих образцах подготовке разными методами (в 3-20 и даже в 1000 раз), особенно на оструктуренных почвах;
- при высыхании почвы клетки микроорганизмов не погибают, а переходят в адсорбированное состояние, поэтому их численность при определении с обычной обработкой снижается;
- после промораживания почвы в холодильнике при -5°C численность бактерий резко увеличивается за счет диспергирования почвы и др.

Сущность метода посева на твердые питательные среды состоит в нанесении почвенной суспензии, содержащей микроорганизмы, на поверхность твердой питательной среды (агар, кремнекислый гель). Попавшие на среду клетки образуют колонии, видимые невооруженным глазом. При количественном учете принимают, что каждая колония возникает в результате деления одной клетки.

Для качественной и количественной характеристика микрофлоры почв чаще всего используются следующие среды: МПА, КАА, Чапека, Эшби и т.д.

Лабораторная работа № 7

ПРИГОТОВЛЕНИЕ СРЕД

Универсальные среды - это среды для учета общей численности аэробных или факультативно-анаэробных сапротрофных бактерий, а также дифференцированного учета следующих групп бактерий: грамотрицательных неспороносных бактерий, спорообразующих и кориннеподобных.

Мясо-пептонный агар (МПА) - для выделения аммонифицирующих бактерий:

питательная среда выпускается в виде порошка. Количество порошка необходимое для приготовления среды написано на упаковке. Для лучшего застывания рекомендуется добавлять сухой агар (10 г/л).

Среда Добровольской и др. - для выявления разнообразия бактерий и актиномицетов (в г/500 мл дистиллированной воды): пептон - 1; глюкоза - 0,5; дрожжевой экстракт - 0,5; гидролизат казеина - 0,5; солодовый экстракт - 0,5 (сусло - 50 мл); глицерин - 2,5 мл, агар - 10. рН 7,0. Для подавления развития грибов используется нистатин (50 мг/л среды).

Крахмало-аммиачный агар (КАА) - для выделения актиномицетов и амилалитических бактерий (в г/500 мл дистиллированной воды): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 0,5; K_2HPO_4 - 0,5; MgSO_4 - 0,5; NaCl - 0,5; CaCO_3 - 1,5; крахмал растворимый - 50; сухой агар - 10.

Среда Чапека - для выделения бактерий и актиномицетов (в г/500 мл дистиллированной воды): KCl - 0,25; MgSO_4 - 0,25; K_2HPO_4 - 0,5; FeSO_4 - 0,005 (на кончике скальпеля); NaNO_3 - 1; CaCO_3 - 1,5; глюкоза или сахароза - 10; сухой агар - 10.

Для подавления бактерий и выявления грибов используется подкисленная среда Чапека. Для этого в литровую колбу с 500 мл чуть остывшей расплавленной средой Чапека перед внесением в чашки Петри добавляют 2 мл молочной кислоты или 0,5 г лимонной кислоты. рН среды при этом должно быть на уровне 4,5-4,7 (контролируется с помощью индикаторной бумаги).

Вместо подкисления среды при исследовании нейтральных и щелочных почв правильнее использовать подавление бактерий антибиотиками (стрептомицин, пенициллин).

Среда Эшби - для выделения олигонитрофильных микроорганизмов, в частности бактерий р. *Azotobacter* (в г/500 мл дистиллированной воды): K_2HPO_4 - 0,1; $MgSO_4$ - 0,1; $NaCl$ - 0,1; K_2SO_4 - 0,05; $CaCO_3$ - 2,5; маннит или сахароза - 10; сухой агар - 20.

Голодный агар: к 1 л водопроводной воды прибавляют 20 г агара. Иногда агар предварительно очищают промыванием или другими способами.

Почвенный агар Локхид: K_2HPO_4 - 0,2 г; агар - 15 г; почвенный экстракт - 1 л. Почвенный экстракт готовят из сильноокультуренной удобренной почвы. Просеянную через 3-миллиметровое сито почву смешивают с равным по массе количеством дистиллированной воды. Смесь автоклавируют 1 ч. при 120 °С. Горячую отстоявшуюся суспензию фильтруют через бумажный фильтр при отсасывании.

Нейтрализуют до pH 7,2.

Почвенный агар: к 900 мл водопроводной воды добавляют 100 мл вытяжки почвы и 15 г агара; среду стерилизуют 1 ч. при 120 °С.

Специальные среды - это среды для выделения и идентификации бактерий, принадлежащих к различным семействам или родам. Если при первичном выделении из биотопов на универсальные среды вырастает значительное количество бактерий, принадлежащих к различным родам, то при их изолировании в чистую культуру на ту же среду многие из них не перевиваются. Следовательно, необходим подбор специальных для рода или семейства сред с целью изучения чистых культур бактерий и их дальнейшей идентификации.

Если микробиолог преследует цель выделить бактерии определенного рода из разных субстратов, он должен воспользоваться как специальными средами, так и приемами селективного ингибирования посторонних группировок.

Для преимущественного выделения из почвы грамположительных спорообразующих бактерий почвенную суспензию пастеризуют прогреванием при 80°С в течение 10-15 мин. При этом вегетативные клетки погибают, а споры сохраняются.

Для подавления роста бацилл при учете стрептомицетов, нокардий, коринеформных бактерий и грамотрицательных бактерий Добровольская с соавт. рекомендует добавление в питательные среды красителя метилового красного (0,015%).

Элиминирование грамотрицательных бактерий и селективное выделение коринеподобных бактерий проводят прогреванием почвы перед посевом 1 час при 80 °С.

Для учета грамотрицательных бактерий, особенно чувствительных к высыханию образца, используют свежие образцы почвы. Кроме того, их рекомендуют выделять на МПА с добавлением 2-7% глицерина.

Лабораторная работа № 8

ПОДГОТОВКА ПОСУДЫ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПОСЕВА

Для посева необходимо подготовить на каждый почвенный образец следующее:

1. Колбу на 200-250 мл со 100 мл стерильной воды. В случае исследования верхних органогенных горизонтов с содержанием несколько миллионов КОЕ (колониеобразующих единиц) микроорганизмов в 1 г, можно пользоваться нестерильной отстоянной водопроводной водой или дистиллятом. Опасения того, что дистиллированная вода стрессорно скажется на почвенной микрофлоре не оправданы ввиду того, что при контакте с почвой она растворит некоторое количество солей.

2. Пробирки, содержащие по 9 мл стерильной воды, для приготовления разведений (количество необходимых пробирок определяется тем, какое последнее разведение необходимо приготовить для посева, обычно берут 3-4 пробирки).

3. Стерильные пипетки (желательно концевые) на 1 мл. Для каждого нового разведения нужна новая пипетка, кроме того, нужна пипетка для нанесения суспензии на чашки Петри. При поверхностном посеве необходимо отбирать пипетки с одинаковой величиной капли.

4. Стерильные шпатели Дригальского (для поверхностного посева) по одному на каждое разведение, из которого будут делать посев. Для каждой среды нужен свой шпатель.

5. Стерильные чашки Петри. Для каждого разведения, из которого делается посев, для каждого образца и каждой новой среды требуется 3-5 повторных чашек.

6. Стерильные среды в колбах. Удобно использовать колбы на 1 л. Колбы заполняют средой до половины от объема.

Пробирки с водой и колбы с водой и средами закрываются ватными пробками, накрываются бумажными колпачками и стерилизуются в автоклаве в течение 20 мин. при температуре 120 °С и давлении 1 атм. Колбы со средами перед автоклавированием подписывают водостойким маркером или снабжаются флажками с надписью простым карандашом. Пипетки, шпатели и чашки Петри оборачиваются в бумагу и стерилизуются в сушильном шкафу 2 часа при температуре 160-180 °С.

Для стерилизации пипеток удобно пользоваться специальными картонными или металлическими пеналами.

После предварительной подготовки почвы к микробиологическому посеву готовят разведения почвенной суспензии.

Обычно разведения проводят в стерильной водопроводной воде, пользуясь некоторым постоянным коэффициентом разведения чаще всего равным 10. Таким образом, получают серию разведений, в которых концентрации клеток образуют геометрическую прогрессию.

В ходе одного опыта целесообразно использовать один и тот же коэффициент разведения, так как в этом случае при большом числе подсчетов уменьшается вероятность ошибки. Для приготовления разведений стерильную водопроводную воду разливают по 9 мл в стерильные сухие пробирки.

Затем 1 мл исходной суспензии, взятый стерильной пипеткой, переносят в пробирку с 9 мл стерильной воды - это 1-е разведение, 1:10. Полученную в 1-м разведении суспензию с помощью новой стерильной пипетки тщательно перемешивают, вбирая в пипетку и выпуская из нее полученную взвесь. Эту процедуру выполняют 3-5 раз, что обеспечивает перемешивание суспензии и уменьшает адсорбцию клеток на стенках пипетки.

Затем этой же пипеткой берут 1 мл полученного разведения и переносят его во 2-ю пробирку - это 2-е разведение, 1:100.

Таким же образом готовят и последующие разведения. Степень разведения определяется плотностью исходной суспензии микроорганизмов, которая зависит от группы учитываемых микроорганизмов, типа почвы, горизонта, сезона, влажности почвы, вида посева и т.д.

Соответственно число разведений тем больше, чем больше плотность исходной суспензии.

Для приготовления каждого разведения следует обязательно использовать отдельную пипетку. Пренебрежение этой предосторожностью может привести к получению ошибочного результата, иногда в 100 и более раз превышающего истинный. Ошибка связана с адсорбцией микроорганизмов на стенках пипетки, в результате чего не все клетки удаляются из пипетки при каждом разведении.

Часть клеток, оставшаяся на стенках пипетки, может затем попасть в одно из последующих разведений, что и явится причиной получения завышенного результата.

Ориентировочно можно сказать, что при определении количества бактерий и актиномицетов верхних горизонтов почвы глубинным посевом на МПА, КАА, среду Чапека используются разведения 10-4-10-6, а количества микроскопических грибов на подкисленной среде Чапека - 10-2-10-4. Для нижних горизонтов почв соответственно используются разведения на один порядок меньше.

В чашку Петри наливают расплавленную на электроплитке с асбестовой прокладкой, водяной бане или в сушильном шкафу агаризированную среду около 20 мл среды в каждую чашку. Меньшее количество среды (около 10 мл) способствует замедленному росту и меньшим размерам колоний, колонии при этом меньше зарастают. Однако при этом среды быстрее высыхают при длительном хранении.

При поверхностном посеве среды в чашки Петри разливают предварительно, затем после застывания среды чашки помещают в простерилизованный и нагретый до 80°C сушильный шкаф. Чашки подсушивают открытыми для удаления воды с крышек и появления муаровой поверхности на агаре, после чего их охлаждают до комнатной температуры и в тот же день проводят посев. Когда среда готова, на ее поверхность стерильной пипеткой наносят строго определенный объем (0,05-0,2 мл) соответствующего разведения. Этот объем распределяют стерильным стеклянным шпателем по поверхности агаризованной среды в первой чашке Петри.

Затем тем же шпателем проводят по поверхности плотной среды во 2-й и 3-й чашках. Высевы на плотную среду производят обычно из 2-3 последних разведений. Из каждого разведения делают 2-4 параллельных высева. Посевы из разведений можно делать одной пипеткой, но начинать следует **обязательно с**

большого разведения. Для каждого разведения используют новый стерильный шпатель. Засеянные чашки Петри помещают в термостат крышками вниз.

При глубинном посеве в чашку Петри вносят 1 мл почвенной суспензии, а затем около 10-20 мл расплавленной среды (45°C), после чего содержимое чашки легонько покачивают для равномерного смешивания.

Важно приливать среду расплавленную, но не горячую. Допустимая температура среды определится способностью щеки или тыльной стороны ладони выдержать контакт с колбой в течение 10 с. Крышку чашки Петри закрывают и тщательно смешивают питательную среду с посевным материалом легким вращательным движением чашки по поверхности стола, после чего чашки Петри оставляют на горизонтальной поверхности до застывания агара. Когда среда застынет, засеянные чашки Петри переворачивают и помещают в термостат.

Для определения количества клеток анаэробных микроорганизмов чашки Петри с плотной средой после того, как произведен посев, помещают в анаэроостаты. Иногда для определения числа некоторых анаэробов плотную среду после засева оставляют в пробирках. Поверхность застывшей среды заливают парафином или той же стерильной средой. В этом случае для лучшего рассмотрения колоний микроорганизмов среды рекомендуется осветлять.

Засеянные чашки переворачивают вверх дном и помещают в простерилизованный термостат (обычно при температуре 28-30°C). Допустимо культивировать микробов при комнатной температуре (20-22°C). При этом колонии растут медленнее, имеют меньшие размеры и реже зарастают быстрорастущими организмами.

Лабораторная работа № 9

УЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ

При подсчете колоний закрытые чашки Петри просматривают в проходящем свете и с внешней стороны водостойким маркером отмечают колонии. Наиболее точный подсчет получается, если на чашке развивается 50-200 колоний бактерий и актиномицетов и 30-50 колоний грибов.

Если число колоний на чашке превышает 150, то для их подсчета удобно пользоваться темным диском, в котором строго параллельно и

на одинаковом расстоянии друг от друга вырезаны 5 полос. Диск накладывают на дно чашки Петри и подсчитывают колонии микроорганизмов, расположенные внутри полос. Подсчитывают и те колонии, большая часть которых попадает в полосу просчета. При неравномерном расположении колоний их количество подсчитывают в двух взаимно перпендикулярных направлениях, для чего решетку следует повернуть под углом 90°.

Число колоний на чашке вычисляют по формуле

$$n = a \times S,$$

где a - число выросших колоний на площади полос; S - площадь полос, Учет бактерий на МПА проводят, начиная со 2 суток после посева ежедневно в течение 3-5 дней в зависимости от скорости роста.

Учет микрофлоры на КАА производят с 4 суток в течение 7-20 суток. Из общего числа микроорганизмов отдельно учитывают актиномицеты. Учет грибов на кислой среде Чапека проводят на 3-5 сутки.

Во избежание зарастания чашек необходимо учитывать микроорганизмы дважды, а то и трижды.

Просчитав количество колоний на всех параллельных чашках, определяют среднее количество колоний на чашке и затем делают пересчет на 1 г воздушно-сухой или абсолютно сухой почвы по формуле:

$$a = b \times v \times g / d,$$

где a - количество клеток в 1 г почвы; b - среднее количество колоний на чашке; v - разведение, из которого сделан посев; g - количество капель в 1 мл суспензии (только при поверхностном посеве); d - масса воздушно-сухой или абсолютно сухой почвы, взятой для анализа.

Если посев производят из влажной почвы, нужно взять навеску почвы 5-10 г для определения влажности почвы, высушить ее, определить содержание воды в процентах и сделать пересчет количества микроорганизмов на 1 г воздушно-сухой почвы.

В литературе встречается пересчет числа микроорганизмов на 1 г почвенного органического вещества или на 1 г азота, но, поскольку прямой связи между общим содержанием органического вещества или азота и развитием микроорганизмов нет, такие пересчеты делать вряд ли целесообразно.

Лабораторная работа № 10
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ
МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТОДОМ КОМОЧКОВ ОБРАСТАНИЯ

При относительно низкой численности дрожжей в почве метод посева из разведений оказывается малопригодным. В этом случае используют метод почвенных комочков.

Для этого навеску почвы в 10-20 г увлажняют стерильной водой в фарфоровой чашечке до состояния густой пасты и раскладывают в виде 25-50 комочков по 0,05 или 0,1 г (размером примерно со спичечную головку) на 2-3 чашки Петри с заранее разлитой застывшей средой Эшби. Для удобства под чашку подкладывают трафарет с точками. Используют подкисленную при температуре не выше 40°C до pH 4,0 среду Эшби.

При работе с нейтральными почвами лучше использовать стептомицин (80 мг/л). Среду наливают в чашки толстым слоем, чтобы она дольше не пересыхала. Инкубируют в течение 3-4 недель при комнатной температуре (18-22°).

Учет проводят по числу комочков со слизистыми обрастаниями и выражают результаты в процентах. Так как комочки почвы могут обрастать и бактериями, дающими на этой среде слизистый рост, то учет необходимо проводить с микроскопическим контролем. Края слизистых обрастаний просматривают непосредственно на чашке с объективами микроскопа 8× или 10×. При увеличении в 100-120 раз крупные клетки липомицетов хорошо различимы.

При подсчете обрастания на комочках почвы смешанные бактериально-дрожжевые колонии учитывают как дрожжевые.

Важным показателем биологического состояния почвы служит численность (обилие) бактерий рода *Azotobacter*. Они учитываются аналогично вышеописанной процедуре на неподкисленной среде Эшби.

Колонии подсчитывают, в зависимости от температуры, через 5-10 дней комочки почвы, образовавшие вокруг себя слизистые колонии, а затем определяют, какое отношение (в %) они составляют с общим числом комочков почвы (относительная оценка плотности населения учитываемых групп микроорганизмов в почве).

Слизистые обрастания бактерий рода *Azotobacter* отличают от дрожжей, образующих аналогичные обрастания микроскопированием и морфометрически, по коричневому цвету слизи, который появляется через 10-14 дней.

Лабораторная работа № 11

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ БИОМАССЫ В ПОЧВЕ

Количество микроорганизмов обычно пересчитывают на 1 г воздушно-сухой почвы. Если посев проводят из воздушно-сухой почвы, то никаких пересчетов вообще не требуется. Если посев производят из влажной почвы, нужно взять навеску 5-10 г для определения влажности почвы, высушить ее, определить содержание воды в процентах и сделать пересчет количества микроорганизмов на 1 г воздушно-сухой почвы.

Расчет количества микроорганизмов на 1 г почвы не дает возможности вскрыть специфику количественного распределения микроорганизмов по почвенным типам. В этом случае пересчет необходимо вести на весь профиль почвы. Для этого производят пересчет на 1 см² поверхности почвы, учитывая количество микроорганизмов во всех генетических горизонтах, вплоть до почвообразующей породы.

Расчет количества микроорганизмов в определенном слое почвы или генетическом горизонте следует проводить по формуле

$$M = a \cdot b \cdot d,$$

где M – количество микроорганизмов в данном горизонте в расчете на 1 см² поверхности этого горизонта; a - количество микроорганизмов в 1 г почвы; b - мощность генетического горизонта или слоя почвы (в см); d - объемная масса почвы, т.е. удельная масса почвы с ненарушенной структурой.

Затем следует суммировать количество микроорганизмов, определенное в разных горизонтах: $M_{\text{общ.}} = MA + MB + MC$, где MA , MB , MC - количество микроорганизмов в последовательных слоях или почвенных горизонтах.

По данным прямой микроскопии (но не метода учета на питательных средах!) рассчитывают биомассу бактерий, грибов, актиномицетов в 1 г почвы или на 1 га почвы. В последнем случае необходимо иметь данные по содержанию микроорганизмов в разных почвенных горизонтах.

При определении биомассы микроорганизмов следует исходить из следующих предпосылок. Средний размер почвенных бактерий равен 0,1 мкм³, средний диаметр гиф грибов равен 4 мкм, актиномицетов - 0,5 мкм, удельная масса (плотность) всех микроорганизмов равна 1,1

г/см³. Для более точных определений нужно в каждой конкретной почве учитывать средний размер микроорганизмов.

Определяют живую биомассу, содержащую 80% воды, и биомассу сухого вещества, которая равна 1/5 от живой биомассы микроорганизмов.

Соотношение численности (или биомассы) бактерий, актиномицетов и грибов в почве представляет большой интерес и характеризует как особенности почвы, так и особенности ее состояния в данный момент времени.

Лабораторная работа № 12

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ В ПОЧВЕ ПО ДАННЫМ МИКРОСКОПИИ И ПОСЕВА

Параллельное применение методов прямой микроскопии и метода посева почвенной суспензии на плотные питательные среды дает возможность оценить сукцессионные процессы в микробной экосистеме. Для этого определяется отношение численности бактерий по данным микроскопии к численности по посеву:

$$k = M / P$$

где k - коэффициент, отражающий различия между численностью бактерий по микроскопии и по посеву; M - численность бактерий по данным микроскопии; P - численность бактерий по посеву.

Теоретически обосновано, что возрастание k может указывать на «зрелость» экосистемы, а низкие значения k - на «молодость» экосистемы. Вниз по профилю k значительно возрастает.

Лабораторная работа № 13

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИЙ

Бактерии вместе с сине-зелеными водорослями относятся к прокариотам (доядерным) - самой древней форме жизни на Земле. Клетки прокариот не имеют обособленного ядра. Генетический материал (ДНК) прокариот находится прямо в цитоплазме и не окружен ядерной мембраной.

Максимальной численности бактерии достигают в органических средах и почве. В 1 мл парного молока содержится свыше 3 млрд. бактерий, в 1 г чернозема может находиться свыше 10 млрд. бактерий.

Ориентировочная величина видового разнообразия бактерий крайне неопределенна и составляет 10000-1000000 видов. Это следует из очевидных недостатков традиционного подхода, который оценивает разнообразие многих свободноживущих форм бактерий лишь на групповом уровне: аммонификаторы, целлюлозолитические и т.д. Самым главным недостатком является неучитывание организмов, относящихся к некультивируемым.

Большинство бактерий относится к классу истинных бактерий (Eubacteriae). Это, как правило, безъядерные одноклеточные организмы. Размножаются простым делением. Некоторые обладают подвижностью. Клетка истинных бактерий имеет неэластичную оболочку. Бактерии имеют различную форму - круглую (кокки), палочковидную (бациллы), изогнутую. К палочковидным бактериям относятся бактерии рода *Bacillus* - подвижные и неподвижные бактерии, обладающие способностью образовывать споры внутри клеток при неблагоприятных условиях среды.

Из неспорозных палочковидных бактерий в почве чаще всего встречаются представители родов *Pseudomonas* и *Bacterium*. К изогнутым палочковидным бактериям относятся вибрионы (р. *Vibrio*, *Spirillum*, *Spirochaetta*). Специфическими обитателями почв, не обнаруживаемые в других субстратах, являются олиготрофные представители *Pedomicrobium*, *Mettallogenium*, *Seliberua*, *Gallionella*.

Только прокариотные микроорганизмы способны к усвоению газообразного молекулярного азота. Благодаря азотфиксирующей деятельности бактерий в почву ежегодно поступает не менее 30-50 кг связанного азота, а в тропиках - до 100 кг.

Бактерии способны очень быстро размножаться при поступлении свежего органического вещества. Неспороносные формы размножаются быстрее, чем бациллярные. Поэтому бациллы встречаются на более поздних этапах сукцессии. К тому же они обладают более мощным ферментативным аппаратом и могут питаться веществами, недоступными неспороносным бактериям. Большинство почвенных бактерий относится к сапрофитам.

Молодые, примитивные почвы богаче грамположительными бактериями, в том числе коринеморфными, чем более зрелые со сформировавшимся дифференцированным профилем, в котором доминируют грамотрицательные бактерии.

При анализе вертикального распределения бактериальных сообществ в биогеоценозах в ряду: филлоплана растений → подстилка → почвенные горизонты выявлена смена бактериальных ярусных доминантов по схеме: псевдомонады → бациллы → бактерии актиномицетной линии → олиготрофы.

Подобная тенденция с некоторыми особенностями прослежена для всех типов зональных почв. Такая смена доминирующих групп бактерий была установлена при исследовании этапов разложения растительных остатков и в модельных экспериментах.

Выделение из почв на МПА, среде Добровольской и др. средах бактерии дифференцированно учитываются по группам на основании культуральных особенностей (диаметр, форма, консистенция, рисунок колоний, пигменты внутриклеточные и внеклеточные), теста с 3%-ным КОН (для разделения на грамположительные и грамотрицательные) и микроскопии основных типов колоний.

На приведенных выше средах возможен рост, а, следовательно, и выделение многих родов бактерий (50-60). Однако часто бывают ситуации, когда учет той или иной группы бактерий бывает невозможен из-за доминирования в анализируемом субстрате быстро растущих или широко распространяющихся по чашке колоний, препятствующих росту медленно растущих форм бактерий. В таких случаях необходимо использовать приемы селективного ингибирования одних групп бактерий с целью учета других.

Методы и тесты родовой идентификации

Идентифицируемая культура должна быть чистой. Для получения чистой культуры проводят посев биомассы из колонии на подсушенную поверхность той агаризованной среды, на которой была выделена культура из субстрата.

Пигментация бактериальных культур. Внутриклеточные и внеклеточные пигменты - наиболее наглядный признак, позволяющий провести предварительную дифференциацию колоний на чашке. Внутриклеточные пигменты сообщают окраску самой колонии, внеклеточные - диффундируют в среду и окрашивают ее.

Наиболее распространен среди бактерий желтый внутриклеточный пигмент. Он свойствен ряду таксономически различных бактерий: псевдомонадам, ксантобактеру, эрвиниям, флавобактериям, многим представителям коринеподобных бактерий. Оранжево-красные пигменты образуют бактерии группы *Flavobacterium* -

Cytophaga, миксобактерии, коринеподобные бактерии родов *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Micrococcus*. Причем одни культуры способны образовывать оранжевый пигмент (каротиноидный) только на свету (скотохромогенные бактерии), другие - при изменении окислительно-восстановительных условий (пропионово-кислые бактерии), у третьих - наблюдается постепенное появление оранжевой окраски по мере развития культуры (бrevибактерии).

Розово-красные оттенки пигментации свойственны бактериям родов *Serratia*, *Rhodococcus*, *Micrococcus*. Коричневый или черный пигменты образуются многими видами бацилл и азотобактером (при старении культуры).

Внутриклеточный фиолетовый пигмент характерен для культур рода *Chromobacterium* и одного из видов *Pseudomonas*.

Образование внеклеточных флюоресцирующих пигментов служит важным диагностическим признаком при разделении рода *Pseudomonas* на секции. Внеклеточные желто-зеленые флюоресцирующие пигменты могут также выделяться спиралями и азотобактером. Описание условий, в которых выявляются различные пигменты псевдомонад.

Форма, поверхность и консистенция колоний. Культуральные признаки имеют разную таксономическую значимость в разных

группах бактерий. Так, в группе грамотрицательных атипичных бактерий форма, размер и консистенция колоний практически не отличаются у представителей разных родов и имеют, следовательно, низкую диагностическую ценность.

В группе спорообразующих бактерий возможно провести предварительную дифференциацию даже на видовом уровне на основании формы и характера поверхности колонии.

Колонии в виде башен из плотной слизи со складчатой поверхностью, характерные для представителей родов *Beijerinckia* и *Derxia*, сразу привлекают внимание исследователя.

Специфические колонии образуют миксобактерии: либо плоские и тонкие с большим числом концентрических складок или радиальных линий, широко распространяющиеся по поверхности среды, либо складчатые, из плотной слизи, имеющие неправильную форму и растущие в виде языков или отдельных скоплений и струй. Колонии многих видов миксобактерии эродировать агар.

В группе коринеподобных бактерий диагностическую ценность имеет вращение колонии в агар благодаря образованию субстратного мицелия – роды *Promiromonospora* и *Nocardioideae*. Этим же бактериям свойственно образование воздушного мицелия на специфических средах.

Следует отметить также в качестве общей закономерности, что колонии псевдомонад, как правило, плоские непрозрачные в проходящем свете, а большинство колоний коринеподобных бактерий непрозрачные (плотные), выпуклой формы, гладкие или слегка шероховатые.

Рост на плотной среде. Микроорганизмы, развиваясь на поверхности плотных сред, образуют характерные для данного вида колонии. Поэтому описание колоний - один из признаков, который необходим для идентификации исследуемого микроорганизма.

При описании колонии отмечают следующие признаки:

- форму колонии - округлая, амёбовидная, ризоидная, неправильная и т. д.;
- размеры - диаметр в мм; если размеры колонии не превышают 1 мм, то такие колонии называют точечными;
- оптические свойства - прозрачная, полупрозрачная (просвечивает), непрозрачная, блестящая, матовая, флуоресцирующая;

- цвет - отмечают цвет колонии и выделяется или не выделяется пигмент в среду;
- поверхность - гладкая, шероховатая, складчатая, бугристая;
- профиль - плоский, выпуклый, кратерообразный, врастающий в агар и т. д.;
- край колонии - ровный, волнистый, лопастной, ризоидный и др.;
- структуру колонии - однородная, мелко- или крупнозернистая, струйчатая;
- консистенцию - маслянистая, тестообразная, вязкая, пленчатая;
- способность к эмульгированию - равномерная или зернистая суспензия в воде, слабо или совсем не суспендируется в воде.

Край и структуру колонии определяют при малом увеличении микроскопа;

чашку Петри в этом случае помещают на столик микроскопа крышкой вниз. Консистенцию колонии устанавливают прикосновением к ее поверхности микробиологической петлей.

При посеве клеток в толщу плотной питательной среды наряду с поверхностными колониями наблюдается образование глубинных и донных колоний. Глубинные колонии довольно однообразны и чаще всего имеют вид сплюснутых чечевичек.

Лишь у немногих бактерий глубинные колонии напоминают клочки ваты из-за нитевидных выростов в толщу среды. Если микроорганизмы в процессе развития выделяют газы, образование глубинных колоний сопровождается разрывом плотной среды.

Еще менее характерны донные колонии, образующиеся при соприкосновении агаризованной среды с дном чашки Петри. Эти колонии обычно имеют вид довольно крупных, бесцветных прозрачных налетов.

Описание колонии часто дополняют описанием роста микроорганизмов по штриху на поверхности скошенной плотной питательной среды. Отмечают интенсивность роста по штриху: скудный, умеренный, обильный, - и его особенности:

налет сплошной с ровным или волнистым краем, четковидный в виде цепочки изолированных колоний, диффузный, перистый, древоидный или ризоидный. Характеризуют оптические свойства штриха, его цвет, поверхность и консистенцию.

При описании колонии и роста микроорганизмов по штриху обязательно указывают состав среды и возраст культуры, так как колонии одного и того же организма на различных средах могут отличаться рядом признаков.

В определителях обычно приведены описания колоний и роста микроорганизмов по штриху только на мясо-пептонном агаре или на мясо-пептонном агаре и мясо-пептонной желатине.

Рост в жидкой среде. Рост микроорганизмов в жидких питательных средах при стационарных условиях культивирования характеризуется большим единообразием по сравнению с ростом на плотных средах. Он сопровождается помутнением среды, образованием пленки или осадка.

Отмечая особенности роста в жидких средах, указывают, прежде всего, его интенсивность: скудный, умеренный или обильный. Помутнение среды может быть однородным, хлопьевидным или с шелковистой волнистостью. Если образуется пленка, указывают ее особенности: кольцеобразная или сплошная, тонкая или толстая, плотная или рыхлая, гладкая или складчатая, сухая или слизистая, всплывающая или опадающая.

При образовании осадка характеризуют его свойства: скудный или обильный, рыхлый, плотный, хлопьевидный, зернистый или слизистый.

Обычно, для того чтобы охарактеризовать рост в жидкой среде, используют МПБ. Если изучаемый микроорганизм не растет в МПБ, то используют жидкую среду, которая обеспечивает хороший рост этого организма. Рост в МПБ и в жидких средах описывают, используя 4-7-суточные культуры, выращенные в стационарных условиях.

Морфологические признаки клеток бактерий

Размеры клеток определяют в адсорбированных на стекле препаратах при несильном обводнении, с помощью объективного микрометра. У кокков измеряют диаметр, у других форм - длину и ширину клетки. В окуляр микроскопа вставляют окулярную линейку, для чего вывинчивают линзу окуляра, помещают на его диафрагму окулярную линейку и вновь закручивают.

На столик микроскопа кладут препарат, фокусируют объект и определяют, скольким делениям линейки соответствуют длина и ши-

рина клетки при данном увеличении микроскопа. Измеряют 10- 20 клеток. Необходимо определить цену деления окулярного микрометра для данного увеличения с помощью объективного микрометра.

Подвижность клеток определяют, используя молодую 12-24-часовую культуру, лучше всего в препарате “висячая капля”. Если клетки подвижны, то они перемещаются в поле зрения в разных направлениях в отличие от броуновского движения - пассивного перемещения клеток в токе воды в одном направлении.

При добавлении к препарату 0,5%-ного водного раствора фенола собственное движение бактерий прекращается, броуновское - остается. По характеру движения можно предположительно судить о типе жгутикования.

Формы клеток (кокки, палочки, спириллы, вибрионы и др.) должны быть описаны с учетом изменений в цикле развития. В одной и той же культуре можно обнаружить все возможные сочетания клеток.

У палочковидных клеток имеет диагностическое значение форма концов клетки - она может быть округлой, тупой, квадратной, заостренной. При видовой дифференциации бацилл форма концов клетки используется в качестве одного из таксономических признаков.

Дифференциация бактерий по Граму

Для разделения бактерий на грамположительные и грамотрицательные (что коррелирует с особенностями химического состава клеточной стенки этих двух групп бактерий) существует стандартная процедура окрашивания по Граму. С окраской по Граму коррелируют многие свойства бактерий. Например, грамположительные и грамотрицательные бактерии различаются по устойчивости к действию некоторых антибиотиков, лизоцима, кислотности среды.

Способность клеток окрашиваться по Граму зависит от их возраста. Клетки некоторых грамположительных бактерий, например первые генерации клеток *Bacillus subtilis*, после прорастания спор, ведут себя, как грамотрицательные. Известно также, что некоторые бактерии, будучи грамположительными в молодых культурах, в старых неодинаково интенсивно красятся по Граму. Поэтому красить по Граму всегда следует клетки молодых, чаще всего односуточных культур. Одновременно целесообразно окрашивать клетки микроорганизмов, отношение которых к окраске по Граму заранее известно.

На одном обезжиренном стекле делают мазки разных микроорганизмов:

в центре - мазок клеток исследуемой культуры, слева и справа – контрольных микроорганизмов. Клетки одного из контрольных организмов (например, *Bac. mesentericus*) окрашиваются по Граму, а клетки другого (например, *Escherichia coli*) - не окрашиваются.

Мазки должны быть тонкими, чтобы клетки равномерно распределялись по поверхности, стекла и не образовывали скоплений, так как от толщины мазка зависят результаты окрашивания.

Мазки высушивают на воздухе и фиксируют над пламенем горелки. Фиксация химическими соединениями не рекомендуется. I способ.

Мазки окрашивают в течение 1-2 мин карболовым генциановым фиолетовым, затем краситель сливают и, не промывая препарат водой, обрабатывают их 1-2 мин раствором Люголя до почернения. Сливают раствор Люголя и обрабатывают препарат для обесцвечивания 0,5-1,0 мин 96%-ным этиловым спиртом.

При этом спирт наливают на мазки, слегка покачивая стекло, и меняют его несколько раз. Чтобы исключить излишнее обесцвечивание клеток, к спирту добавляют йод (2 мл 10%-ного спиртового раствора йода на 100 мл этанола).

Затем препарат промывают водой и дополнительно окрашивают 1-2 мин водным фуксином. Краситель сливают, препарат промывают водой, высушивают и микроскопируют с иммерсионной системой. При правильном окрашивании грамположительные бактерии имеют сине-фиолетовый цвет, грамотрицательные - красный цвет фуксина.

II способ (модификация Хукера). Мазки окрашивают 1 мин кристаллическим фиолетовым, быстро, в течение 3-4 сек. смывают краситель водой, излишек воды удаляют, а затем препарат окрашивают 1 мин раствором Люголя. После этого Люголь сливают, препарат промывают водой и, так же, как и в первом случае, клетки обесцвечивают 96%-ным этиловым спиртом приблизительно в течение 30 с, нанося спирт на препарат по каплям, пока он не перестанет окрашиваться.

Спирт смывают водой, и препарат обрабатывают раствором сафранина 30 с. Затем краситель смывают, препарат промывают водой, вы-

сушивают и исследуют с иммерсионной системой. При правильном режиме окрашивания грамположительные бактерии имеют синий, а грамотрицательные - красный цвет.

Дифференциация бактерий по Граму без окрашивания

Более быстрый и простой метод для дифференциации по Граму без окрашивания приводится ниже.

Клетки культур (лучше 1-2-суточные) помещают петлей в каплю 3%-ного КОН на предметное стекло, размешивают круговыми движениями и через 5-8 с петлю резко поднимают.

Суспензия грамотрицательных бактерий становится вязкой и тянется за петлей, образуя мукоидные тяжи. Грамположительные бактерии равномерно распределяются в капле щелочи (как в воде). Реакция считается отрицательной, если образования слизистых тяжей не наблюдается в течение 60 с.

Увеличение вязкости вызвано лизисом клеточных стенок грамотрицательных бактерий в растворе щелочи и освобождением ДНК.

Несмотря на высокий процент корреляции между грампринадлежностью известных культур и таковой, определенной вышеописанным методом, бывают исключения. Так, культуры целлюломонад и эрсковий, имеющие строение клеточной стенки, типичное для грамположительных бактерий, проявляют себя в тесте с КОН как грамотрицательные бактерии (образуют тяжи), в то время как грамотрицательные бактерии рода *Flavobacterium*, наоборот, не образуют вязкой массы подобно грамположительным бактериям.

Вероятно, имеются и другие примеры исключений, поэтому метод дифференциации бактерий по Граму без окрашивания следует использовать лишь для предварительной диагностики либо подсчета примерного соотношения колоний грамположительных и грамотрицательных бактерий на чашках.

Лабораторная работа № 14

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИНОМИЦЕТОВ

Согласно определителю Берджи порядок *Actinomycetales* включает бактерии, имеющие тенденцию к образованию ветвящихся гиф, которые у некоторых родов развиваются в мицелий.

Диаметр гиф варьируется в пределах 0,5-2,0 мкм, обычно 1,0 мкм. Актиномицеты широко распространены в природе. Представители порядка могут быть разделены на две группы - актиномицеты с окислительным метаболизмом, характерные для почвы и сопряженных с ней субстратов, и актиномицеты-бродильщики, обитающие преимущественно в теле человека и животных. Большинство актиномицетов - грамположительные аэробные бактерии.

Актиномицеты - особая группа бактерий. Мицелиальный план организации, присущий значительной части представителей порядка, определяет дифференциацию организмов, сложность жизненных циклов, биохимические и физиологические проявления, отличные от истинных бактерий.

Экологическая стратегия актиномицетов подобна более сложно организованным мицелиальным организмам - эукариотам грибам. Тесно связана с актиномицетами группа коринеподобных бактерий.

Актиномицеты играют большую роль в процессах почвообразования и создания плодородия почв. Им приписывают различные функции в оздоровлении почв.

Актиномицеты трансформируют и разрушают сложные органические соединения (целлюлозу, гумус, хитин, лигнин и др.), недоступные многим другим микроорганизмам.

Почти все (или даже все) виды рода *Actinomyces* образуют специфические продукты жизнедеятельности, обладающие антибиотическими свойствами. Некоторые виды являются возбудителями заболеваний растений, животных и человека.

Виды рода *Actinomyces* (*Streptomyces*) имеют хорошо развитый мицелий, нити которого не септированы и не расчленяются с возрастом на палочки и кокки. Диаметр мицелия колеблется в пределах 0,5-1,5 мкм. На плотных агаризованных средах актиномицеты образуют плотные кожистые колонии различной структуры и внешнего строения - гладкие, бугристые, складчатые, бородавчатые, плоские, пленчатоморщинистые.

Колонии срастаются с субстратом при помощи субстратного мицелия - нитей, отходящих от нижней поверхности колонии и развивающихся в толще среды. На поверхности колоний вырастает воздушный мицелий, на концах которого образуются спороносцы со спорами.

Споры служат для размножения. Спороносцы бывают прямые или спирально закрученные.

Спирали имеют разную длину и разное число завитков. Неспиральные спороносцы могут быть очень короткими в виде щетинок, удлиненными, волнистыми или длинными.

Споры формируются одновременно на всем протяжении спороносца и бывают овальными, шаровидными, палочковидными, с округлыми или обрезанными краями. У некоторых видов на спорах образуются выросты (шипы) различной формы.

Культуры актиномицетов пигментированы или бесцветны. Среди пигментированных встречаются синие, фиолетовые, красно-оранжевые, оранжевые, желтые, зеленые, бурые, иногда черные актиномицеты. Неокрашенные виды различаются по цвету воздушного мицелия, который может быть серым, белым, розоватым, голубовато-зеленоватым, коричневым или оливковым.

Актиномицеты относятся к гетеротрофным организмам. В качестве источников углерода используют сахара, спирты, органические кислоты, полисахариды, жиры, аминокислоты, белки и другие соединения. Источником азота для актиномицетов служат нитраты, аммонийные соли, нитриты, мочевины, аминокислоты, пептон, белки. Способность использовать то или иное соединение неодинакова у разных видов и штаммов актиномицетов.

Актиномицеты в подавляющем большинстве - аэробы, но среди них есть микроаэрофилы и небольшое число видов, которые могут жить в анаэробных условиях. Актиномицеты получают энергию при окислении органических веществ.

Преобладающее число актиномицетов относится к мезофилам, термофилы встречаются редко. Для нормального роста большинства актиномицетов требуется нейтральная или слабощелочная реакция среды. Однако в кислых почвах обнаруживаются кислотолубивые актиномицеты, с оптимальным ростом при pH 5,5-6,0 и не развивающиеся при pH около 7,5. Есть и алкалофильные актиномицеты.

Представители почвенных актиномицетов различаются между собой по морфологическим свойствам (тип и стабильность мицелия, число и расположение спор, образование склероциев, спорангиев, об-

разование подвижных элементов), физическим свойствам (теплоустойчивость), химическим свойствам (строение клеточных стенок и целых клеток, тип липидов, изопреноидных хининов и др.).

Разделение актиномицетов на роды проводят согласно морфологическим, физиологическим и хемотаксономическим показателям. Морфологические свойства актиномицетов исследуются микроскопически в поверхностных (растущих на агаровых средах) культурах.

Особое внимание при таком исследовании уделяется способу ветвления, образованию и расположению спор, присутствию или отсутствию спорангиев, наличию подвижных элементов, выявлению специальных структур, таких как склероции. Отдельно обозначается группа актиномицетов, обладающих эндоспорами.

При использовании традиционного метода посева из разведений почвенной суспензии на МПА, КАА, казеин-глицериновый агар (КГА) и др. на чашках Петри вырастают колонии актиномицетов, принадлежащих в большинстве своем к стрептомицетам.

Для выделения из почвы и сопряженных с ней субстратов других представителей порядка Actinomycetales требуются специальные селективные приемы, задерживающие рост банальных форм, прежде всего стрептомицетов.

Видовая идентификация многих родов актиномицетов не разработана, требуется создание простых, общедоступных ключей для определения видов.

Для ограничения роста грибов в питательные среды добавляют антибиотики циклогексимид (актидион) (50-100 мкг/мл), пимарицин и нистатин (по 10-50 мкг/мл); для ограничения роста бактерий - полимиксин (5 мкг/мл) и пенициллин (1 мкг/мл). Добавление в среды пропионата натрия (4 г/л) и красителя бенгальского розового (35 мг/л) также задерживает рост грибов и бактерий.

В качестве селективных источников углерода и азота для выделения актиномицетов из почвы в питательные среды добавляют крахмал, глицерин, казеин и нитраты.

Как говорилось выше, при посеве почвенной суспензии на чашках с перечисленными питательными средами чаще всего вырастают колонии актиномицетов, принадлежащих к родам *Streptomyces*, а также *Streptoverticillium*, *Chainia*.

Представители этих родов являются аэробными, грамположительными прокариотическими организмами. Они образуют разветвленный мицелий, обычно 0,5-2,0 мкм в диаметре, как правило, нефрагментированный, который подразделяется на первичный, или субстратный, и вторичный, или воздушный, мицелий; последний может отсутствовать.

Споры неподвижны, образуются в виде цепочек на специальных спороносящих гифах воздушного мицелия. На поверхности колоний могут образовываться склероции.

Видовую идентификацию актиномицетов родов *Streptomyces*, *Streptoverticillium* и *Chainia* проводят по определителю Гаузе и др., 1983. Согласно ключу Гаузе для определения видов актиномицетов отобраны следующие диагностические признаки: морфологические - форма цепочек спор, характер поверхности оболочки спор; культуральные - окраска воздушного мицелия, окраска субстратного мицелия, наличие растворимых пигментов, наличие меланоидных пигментов.

Для изучения морфологического строения репродуктивных структур культуры актиномицетов выращивают в чашках Петри на средах, наиболее благоприятных для спороношения, обычно на овсяном агаре (г/л): овсяная мука (или геркулес) 20-65; агар - 20; pH 7,2. Тип образования цепочек и характер поверхности спор определяют у зрелых культур обычно на 7-14-й день роста, иногда в более поздние сроки.

Лабораторная работа № 15

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ

Грибы - обширная группа эукариотных организмов. Значительная часть грибов имеет мицелиальное строение. Диаметр гиф вегетативного мицелия колеблется от 5 до 50 и более мкм. Нити часто хорошо видны невооруженным глазом. Грибы размножаются бесполом и половым способами и чрезвычайно разнообразны по строению органов размножения, что является одним из основных критериев их систематики и деления на виды.

Царство *Mycota* объединяет собственно грибы *Eumycota* и слизевиков *Mухомycota*. Истинные грибы *Eumycota* насчитывают более

100000 видов и разделяются на четыре класса: зигоспоровые, аскоспоровые, базидиоспоровые и несовершенные.

В почве находится огромное количество различных грибов, как в виде спор, так и в виде физиологически активного мицелия. Большая часть из них - сапрофиты, которые играют важнейшую роль в процессах почвообразования. Грибы начинают разрушение таких стойких соединений, как гумус, лигнин, хитин, дубильные вещества, клетчатка, делая возможным дальнейшее их использование другими организмами.

Грибы активно участвуют в превращениях соединений азота и способствуют улучшению структуры почвы, агрегируя почвенные частицы. В процессе жизнедеятельности грибы выделяют различные физиологически активные вещества - ферменты, органические кислоты, витамины, антибиотики, токсины, влияющие на развитие других микроорганизмов и высших растений.

Сапротрофные грибы - главные редуценты в экосистемах суши. Грибы являются основными деструкторами таких стойких соединений, как лигнин, хитин, дубильные вещества, целлюлоза, гумус, делая возможным дальнейшее их использование другими организмами. Еще П.А. Костычев в 1885 году установил, что только грибы способны образовать продукты разложения растительных остатков, окрашенные в темный цвет; бактерии этой способностью не обладают. Темная окраска обусловлена накоплением меланиноподобных (черных) пигментов, которые входят в состав гумуса.

Грибы активно участвуют в превращениях соединений азота и способствуют улучшению структуры почвы, агрегируя почвенные частицы. В процессе жизнедеятельности грибы выделяют различные физиологически активные вещества - ферменты, органические кислоты, витамины, антибиотики, токсины, влияющие на развитие других микроорганизмов и высших растений.

Распространение грибов в почве и их высокая активность объясняются их большей по сравнению с другими микроорганизмами устойчивостью к изменяющимся условиям окружающей среды. Так, например, имея неодинаковый оптимум pH для развития, грибы хорошо переносят любые условия кислотности и поэтому встречаются и в кислых, и в щелочных почвах.

Многие виды грибов развиваются в почвах, имеющих рН ниже 4, при котором жизнедеятельность большинства бактерий и актиномицетов не возможна. Многие грибы отличаются большой устойчивостью к высокой концентрации солей и условиям затрудненного водоснабжения.

Однако грибы очень требовательны к условиям аэрации, поэтому богаче представлены в верхних горизонтах почвы.

Общий набор видов, выделяемых из почвы при посевах на среды Чапека, сусло-агар, обычно составляет не менее 60-80 видов. Он может быть увеличен за счет редких и случайных видов даже до нескольких сотен видов.

Специфический же комплекс видов микромицетов, по которому можно характеризовать тип почвы, содержит порядка 15-20 видов. Существуют стенотопные виды грибов, развивающиеся в узких пределах экологических условий – индикаторы определенных процессов или свойств почв. При многократном анализе инкубированного образца удастся выделить в 4-5 раз больше видов грибов, чем при однократном анализе.

Необходимо отметить, что большинство исследований по биологии и экологии почвенных грибов, проводимых почвенными микробиологами, относятся к так называемым микромицетам. В то же время имеются все основания полагать, что в почвах, особенно лесных, определяющая роль в минерализации таких стойких и широко распространенных полимеров как целлюлоза и особенно лигнин играют грибы-макромицеты - высшие базидиальные грибы. Кроме того, именно эти грибы образуют симбиоз с корнями сосудистых растений, большинство из которых (9/10) микосимбиотрофно.

Чаще всего при посевах на традиционные среды из почв выделяются мицелиальные грибы, относящиеся к трем большим группам (классам): фикомицетам, аскомицетам (сумчатым) и несовершенным грибам. На плотных средах мицелиальные грибы образуют мягкие, не врастающие в субстрат, округлые или широко распространяющиеся по поверхности пушистые, нитевидные, паутинообразные, ватоподобные или порошкообразные колонии.

Вегетативный мицелий большинства видов не окрашен, пигментирован только спороносящий мицелий. Поэтому молодые колонии та-

ких грибов - белые или сероватые. По мере развития органов плодоношения колонии приобретают зеленую, желтую, коричневую, красную, малиновую или черную окраску. У некоторых грибов пигмент диффундирует в среду.

Фикомицеты имеют несептированный, многоядерный, сильно разветвленный мицелий, образующий характерный войлочный налет на питательной среде. При образовании органов плодоношения, старении или в неблагоприятных условиях в мицелии может появляться некоторое количество перегородок.

Размножаются фикомицеты либо бесполым путем при помощи эндоспор, образующихся в специальных клетках - спорангиях, либо половым путем в результате конъюгации двух половых клеток - гамет, морфологически различных (у оомицетов) или идентичных (у зигомицетов). В почвах особенно распространены зигомицеты порядка *Mucorales*, у которых спорангии представляют собой как бы вздутия на концах гиф, называемых спорангиеносцами.

Наиболее часто из мукоровых в почвах встречаются виды родов *Miscor*, *Rhizopus*, *Actinomucor*, *Absidia*. К аскомицетам относятся мицелиальные грибы с расчлененным мицелием и основная масса одноклеточных грибов - дрожжей. Аскомицеты, как и фикомицеты, размножаются бесполым и половым способами.

Бесполое размножение мицелиальных аскомицетов осуществляется экзоспорами (конидиями), образующимися на конидиеносцах. Наиболее распространенным способом вегетативного размножения дрожжей является почкование, например видов родов *Saccharomyces* и *Lipomyces*.

При этом у некоторых дрожжей последовательно возникающие клетки могут не отделяться друг от друга, образуя рудиментарный мицелий. Есть дрожжи, размножающиеся вегетативно только делением, например виды рода *Schizosaccharomyces*. У ряда дрожжей наблюдается так называемое почкующееся деление, которое имеет сходство с почкованием и делением. Половое размножение аскомицетов осуществляется аскоспорами, возникающими после слияния двух ядер в одной клетке - сумке (аске).

Благодаря мейозу число аскоспор в аске обычно строго определено и кратно двум — чаще всего их восемь. Из мицелиальных аско-

мицетов в почвах чаще всего встречаются виды родов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Chaetomium*. Представители рода *Penicillium* составляют обычно около половины всех грибов, выделяемых из почвы.

Виды рода *Aspergillus* обильнее представлены в почвах юга, виды *Chaetomium* широко распространены в различных почвах, но особенно их много в навозе и гниющих остатках. Конидиеносцы пенициллов двукратно кистевидно ветвятся.

На конечных разветвлениях конидиеносцев - стеригмах-отшнуровываются конидии, образуя цепочки. Конидиеносцы аспергиллов на концах вздуты в форме головки. На ней развиваются выросты - стеригмы, отшнуровывающие на свободных концах цепочки конидий. Мицелий у видов *Penicillium* и *Aspergillus* не окрашен, а конидии имеют различную окраску: чаще всего серовато-зеленую или сине-зеленую.

Встречаются виды с песочной, коричневой и черной окраской. Виды рода *Chaetomium* характеризуются тем, что сумки у них объединены в особые сплетения мицелия - плодовые тела. Последние имеют форму перитециев, обычно темноокрашенных, покрытых волосками и снабженных на вершине отверстием, нередко оттянутым в форме клювика.

К несовершенным грибам относятся мицелиальные грибы и дрожжи, половой процесс, у которых не выявлен. Они размножаются исключительно бесполым путем. Мицелиальные грибы имеют септированный мицелий. Конидии образуются на изолированных или расположенных группами конидиеносцах или в специальных структурах, названных пикпидами. Дрожжи размножаются почкованием и делением.

В класс несовершенных грибов входит наибольшее число видов мицелиальных грибов, обнаруживаемых в почве. Это представители родов *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Mycogone*, *Stachybotrys*, *Stemphylium*, *Verticillium*, *Oospora*, *Cephalosporium*, *Phoma*, *Botrytis*. Из них наиболее часто встречаются виды родов *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria* и *Fusarium*. Грибы рода *Trichoderma* имеют бесцветный мицелий, ветвящиеся конидиеносцы, на концах которых развиваются округлые головки зеленоватых спор, оклеенные слизью.

Виды родов *Cladosporium* и *Alternaria* в отличие от многих других имеют темноокрашенный мицелий, у представителей рода *Cladosporium* мицелий и конидии окрашены в темно-оливковый цвет, конидиеносцы прямостоящие, слегка бугристые, на них развиваются быстро опадающие споры разнообразной формы: округлые, овальные или вытянутые, с одной или несколькими перегородками или без них.

У *Alternaria* споры многоклеточные, булабовидные, с продольными и поперечными перегородками. У видов рода *Fusarium* конидиеносцы образуются на поверхности более или менее рыхлых подушечек. Конидии серповидно изогнуты, заострены с концов и имеют одну или чаще несколько перегородок.

Выделение микроскопических грибов различных экологотрофических групп

При учете почвенных грибов ультразвуковая обработка оказывает явно отрицательное действие. Известно, что чем крупнее клетка, тем больше она повреждается ультразвуком. Крупные клетки грибов повреждаются ультразвуком сильнее, чем мелкие клетки бактерий.

Учет мицелиальных организмов - грибов и актиномицетов - на питательных средах имеет более условный характер по сравнению с учетом бактерий, так как здесь более неопределенной является величина и характер зародыша, давшего колонию. Это могут быть различные генеративные образования, фрагменты гиф, разнообразные мицелиальные структуры.

Предварительная обработка дает возможность разбить гифы на куски примерно одинаковой величины, и, хотя размер учитываемых зачатков продолжает различаться в несколько раз, он уже не различается в десятки раз, как это было до диспергирования почвы.

Для проведения посевов на агаровые питательные среды рекомендуется брать навеску почвы 10 г и использовать разведения 10-1-10-4 в зависимости от содержания грибов в почве. Последнее разведение в основном используется для лесных подстилок. Для большинства почв оптимальным является разведение в интервале 10-2-10-3. Необходимо, чтобы на каждой чашке Петри выросло в среднем 15-30 колоний микроскопических грибов.

Оптимальная температура инкубации большинства грибов 24-26 °С. В случае специального выделения психрофилов или термофилов температуру инкубации меняют в соответствии с оптимумами для этих

групп грибов. При выделении микроскопических грибов из почвы подавление различных бактерий достигается установлением кислой реакции среды (рН 4,2-4,5).

Для подкисления сред употребляют различные кислоты. В среднем на 1 л агаризованной среды добавляют 15-20 мл 0,1 н. раствора серной или соляной кислоты.

Молочную кислоту обычно применяют концентрированную в количестве 4 мл на 1 л среды (лимонную в виде 50 % раствора - 10 мл на 1 л среды).

Прибавление кислот к агаровым средам (до рН 4,0) не оказывает отрицательного влияния на их способность к переходу в твердое состояние при остывании. Концентрированные кислоты стерилизовать не надо, 0,1 н. растворы серной и соляной кислот следует стерилизовать отдельно. Наиболее часто при проведении посевов из почвы используют молочную или лимонную кислоты.

При необходимости выделить грибы, которые не могут развиваться на кислых средах, и изучении состава грибов в почвах с нейтральной и щелочной реакцией среды в качестве ингибиторов бактерий применяют роданистый натрий - 0,25-0,4 моль/л, краситель бенгальский розовый - 70 мг/л, антибиотики: стрептомицинсульфат - 40-50 мг/л, тетрациклин, окситетрациклин, хлортетрациклин - 2-5 мг/л, пенициллин, неомицин, полимиксин, бацитрацин - 50 мг/л среды

Добавление кислот и других ингибиторов бактерий производится асептически в стерильные, охлажденные до 40-45° С питательные агаровые среды.

Засеянные суспензией чашки Петри периодически просматривают, обычно начиная с 3 суток, и отдельные колонии грибов, в случае угрозы зарастания агара мицелием быстрорастущих микромицетов, отсевают в пробирки на агаризованную питательную среду. Окончательный учет производится в зависимости от среды выделения: на сусло-агаре и синтетических средах с простыми углеводами на 6-10-й день, на средах с целлюлозой, КМЦ, лигнином через 2-3 недели, на голодном и почвенном агаре через 3-4 недели.

Полученные методом посева данные о численности грибных зачатков (диаспор) позволяют составить относительное представление о степени заселенности исследуемой почвы микроскопическими грибами и содержания в ней отдельных видов.

Состав комплекса почвенных грибов-микровицетов зависит от формы поступающего в почву субстрата, ее гетерогенности, физико-химических условий, конкурентоспособности и ростовых характеристик организмов. Известно, что грибы в почве представлены разнообразными по систематическому положению и пищевым потребностям формами.

Поэтому для выделения их и всех других групп микроорганизмов не может быть одной универсальной среды. Сапротрофные почвенные микровицеты по способности усваивать те или иные субстраты объединяются в различные пищевые группы: сахаролитические грибы; грибы, разлагающие целлюлозу, лигнин, кератин, хитин и т.д.

Не отрицая наличие существенных физиологических различий среди сапротрофных микровицетов, известно, что деление на специфические трофические группы грибов во многом условно. Известно, что вообще нет микроорганизмов, которые не содержали бы гидролаз.

Поэтому наряду с использованием сахаров и других мономерных органических соединений так называемые “сахарные” грибы могут потреблять и полимеры, особенно крахмал, белки и т. д. В то же время микроорганизмы, которые обладают специфическими гидролазами, вполне могут использовать ряд мономеров.

Грибы, которые не выдерживают конкуренции за моносахара при высоких их концентрациях в среде, выделяют на “голодные” среды - водный агар, агар с почвенной вытяжкой, агар с разведенным в 8-10 раз суслом. На этих средах большинство микровицетов развивается медленно, образует мелкие (2-3 мм в диаметре) колонии, хорошо отделенные друг от друга, что благоприятствует выделению грибов в чистые культуры.

Для выделения фитопатогенных грибов из почвы используют среды, селективность которых задается введением антигрибных антибиотиков. Наиболее часто применяют полиеновые антибиотики (эндомицин, нистатин, пимарицин) и циклогексимид, обладающие широким фунгицидным действием, но вместе с тем не подавляющие рост и развитие отдельных видов фитопатогенных микровицетов.

Широко используются для этих целей и такие химические соединения, как красители (бенгальский розовый, кристалл- и генциан-виолет, малахитовый зеленый), спирты, хлораты, фенолы, коммерческие фунгициды (каптан, пентахлорнитробензол, ботран и другие).

Бенгальский розовый применяют для ограничения роста быстрорастущих форм микромицетов, фундазол - для подавления грибов *Penicillium*.

Для выделения микроскопических грибов из почвы с целью последующей характеристики структуры комплекса сапротрофных микромицетов наиболее часто используют подкисленные молочной кислотой (4 мл/л) синтетические среды с простыми углеводами, например среду Чапека, сусло-агар, среда Сабуро и др.

Применение среды Чапека существенно упрощает анализ посева, так как культурально-морфологические признаки грибов на ней близки тем, которые имеют микромицеты на среде Чапека-Докса, используемой для идентификации многих видов грибов. Поэтому выделение микромицетов для видового определения можно проводить из одной или группы одинаковых колоний, а не из почти всех подряд, как при посевах на ряд других сред,

Выделение штаммов почвенных грибов для видовой идентификации осуществляют на среды Чапека-Докса, сусло-агар или другие в соответствии с систематической принадлежностью организма. Каждый штамм нумеруют, записывают в лабораторный журнал принадлежность его к определенному образцу и варианту опыта, что необходимо для дальнейшей обработки данных.

Указывают, какие колонии встречаются наиболее часто. Каждую из описанных колоний рассматривают в микроскоп с объективом 8× непосредственно на чашке Петри. Кроме того, готовят препараты «раздавленная капля».

На предметном стекле смешивают каплю воды и уксусной кислоты или этиловый спирт 1:1. Их добавляют потому, что конидии грибов плохо смачиваются водой. Препаровальной иглой захватывают участок колонии без агара, помещают его в каплю, осторожно расправляют мицелий, закрывают покровным стеклом и просматривают препарат, используя объективы 8× и 40×.

Для приготовления микроскопических препаратов грибов используют специальную жидкость следующего состава: карболовая кислота кристаллическая (фенол) - 20 г, глицерин - 40 мл, дистиллированная вода - 20 мл.

Для прижизненной окраски грибов используют различные красители в концентрациях 1:500, 1:1000, 1:10000: генциан фиолетовый,

метиленовый синий, сафранин, нейтральный красный, метиленовый фиолетовый, эритрозин.

При микроскопировании колоний и препаратов обращают внимание на расчлененность мицелия, строение спорангиев и конидиеносцев, форму спор; определяют диаметр мицелия.

Идентификация микромицетов

Почвенные грибы, которые можно выделить методами, описанными в предыдущем разделе, относятся к следующим таксономическим группам:

Класс: Oomycetes, Zygomycetes, Ascomycetes, Deuteromycetes

Порядок: Peronosporales, Mucorales, Eurotiales, Sphaeriales Hyphomycetales, Sphaeropsidales Melanconiales

Идентификация микроскопических грибов основывается преимущественно на морфологических признаках, главным образом на строении и способах развития репродуктивных структур как наиболее таксономически значимых.

Принадлежность к классу и роду устанавливают по Атласу родов почвенных грибов. Определение класса производят по характерным чертам строения и способам образования в первую очередь половых структур, но также в некоторых случаях используют характеристику бесполой спороношения и строения мицелия, например, для дифференциации классов Chytridiomycetes и Oomycetes.

Для выделения порядков и семейств внутри классов также используют некоторые детали строения половых и бесполой спороношений, строение и степень развития мицелия (зачаточный ризомицелий, хорошо развитый несептированный или септированный).

Для дифференциации родов внутри семейств служат разнообразные морфологические признаки. Большое значение для дифференциации родов в классе Deuteromycetes имеет тип конидиогенеза. В качестве видовых дифференцирующих признаков помимо морфологических с применением электронной микроскопии используются культуральные признаки, особенно для родов *Penicillium* и *Aspergillus*. Часто для дифференциации не только видов, но и групп видов (например, групп видов *Rhizopus*), важно точное измерение скорости роста культуры при разных температурах.

Чтобы приступить к определению, нужно предварительно высевать культуру, подлежащую определению, на плотную питательную

среду, наиболее благоприятную для образования репродуктивных структур в чашки Петри.

Посев проводят нанесением небольшого количества посевного материала (спор или мицелия) специальной иглой в виде крючка на питательную среду.

Чашку при этом держат средой вниз и посев проводят прикосновением иглы к поверхности среды с посевным материалом снизу в трех местах - так, чтобы образовались три четко обособленные друг от друга колонии. Быстрорастущие грибы (например, мукоровые) можно сеять одной колонией в центре чашки.

Поверхность колонии (шероховатая или гладкая). Характер строения конидиеносца служит основанием для выделения секций, которых в настоящее время насчитывается 10. Диагностирующим признаком для видов является наличие или отсутствие колонки, образованной из цепочек конидий, отходящих от фиалид (развиваются цепочки строго параллельно или расходятся и переплетаются), связь конидиеносца с субстратом (прикреплен конидиеносец к субстратному или воздушному мицелию), форма конидий (округлая, цилиндрическая, эллиптическая), поверхность (гладкая, шероховатая, шиповатая), размеры.

Для рода *Aspergillus* помимо ветвления отмечают цвет конидиеносца, так как он может быть бесцветным или окрашенным, форма головки вместе с цепочками конидий (сферическая, с радиально расходящимися цепочками конидий, или булавовидная), форма вздутия на вершине конидиеносца (округлая, овальная булавовидная).

Культуральные признаки наибольшее значение имеют для родов *Penicillium* и *Aspergillus*, поэтому описание культуральных признаков дается для этих родов.

Отмечают скорость роста колонии, желательно при трех температурах: +5, +25, +37°C; внешний вид колонии, ее текстуру (бархатистая, пушистая, шерстистая, шероховатая). Бархатистость колонии определяется плотнорастущими спороношениями, отходящими непосредственно от субстратного мицелия, пушистость - обильно развитым воздушным мицелием, на котором могут образовываться спороношения, шерстистость - за счет большого количества тяжей, шероховатая гранулированная поверхность возникает в результате обильного обра-

зования коремий, т.е. структур, представляющих собой плотное объединение нескольких конидиеносцев в пучки. Отмечают форму и цвет края колонии.

Описывают окраску спороносящей части и стерильного мицелия, изменения окраски во времени (сохраняется ли первоначальная окраска или она меняется). Отдельно отмечают окраску обратной стороны колонии и диффузию пигмента в агар, определяющую окраску окружающего агара. Отмечают зональность колонии, появление зональности по мере роста, складчатость, наличие экссудата, его цвет, запах культуры.

Фиксируют наличие или отсутствие склероциев - жестких структур, образованных плотным переплетением мицелия, по внешнему виду напоминающих плодовые тела - клейстотеции, но не образующих сумок, остающихся стерильными. Описывают их форму, текстуру, цвет, размеры.

Дифференцирующими признаками для семейств класса дейтеромицетов служат способ агрегации конидиеносцев (свободные, в коремиях, спородохиях). Для дифференциации родов или групп родов - тип конидиогенеза и строение конидий. Для видовой дифференциации используют форму и размеры конидий и некоторые культуральные признаки.

В пределах рода *Penicillium* выделяют еще секции или подроды по строению конидиеносца и подсекции по морфологии конидиеносца и поверхности колонии.

В роде *Aspergillus* выделяют две секции по наличию или отсутствию профиалид. Далее используют определители

Лабораторная работа № 16 **ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ**

Численность дрожжей в почве обычно ниже, чем бактерий, актиномицетов и мицелиальных грибов. Дрожжи обнаруживаются в почвах с высоким содержанием свежих растительных остатков, умеренным водно-температурным режимом и низким значением pH. Чаше других в почвах встречаются представители рода *Lipomyces* (аскомицеты), а также виды *Torulopsis*, *Cryptococcus* и *Candida*, у которых спорообразование не известно.

На плотных питательных средах дрожжи растут в виде четко оформленных, округлых или лопастных, выпуклых, гладких или складчатых, бесцветных, беловатых, желтовато-оранжевых или ярко-розовых колоний, заметно отличающихся от колоний мицелиальных грибов. Клетки разных видов дрожжей по форме довольно разнообразны. Они бывают округлыми, овальными, удлинёнными, лимоновидными, треугольными, серповидными. Диаметр округлых форм колеблется в среднем от 4 до 12 мкм.

Методы количественной оценки содержания дрожжей в почве отличаются от общепринятых в почвенной микологии приемов учета мицелиальных грибов. Благодаря своей одноклеточной природе дрожжи могут быть, как и другие одноклеточные микроорганизмы, учтены по числу вырастающих на плотных средах колоний при посеве из суспензии с последующим пересчетом числа клеток и их биомассы на грамм исходного субстрата. Исследование дрожжей проводят из отобранных в течение ближайших 1-2 суток образцов с их сохранением при комнатной температуре в стерильных емкостях (пакетах, пробирках, флаконах).

Длительная вынужденная задержка анализа предполагает временную консервацию проб с целью сохранения естественной численности дрожжей и соотношения популяций разных видов. Такая консервация может быть достигнута разными способами: высушиванием, быстрым замораживанием, снижением температуры хранения и др. Экспериментально было показано, что высушивание образцов почв приводит к значительному снижению как общей численности дрожжей, так и изменению пропорции отдельных популяций. Особенно чувствительны к высушиванию дрожжи, обитающие в постоянно влажных почвах - луговых, болотных.

Сильно снижается при подсушивании почв уровень плотности популяции липомицетов, что связано, не только с гибелью части вегетативных клеток, но и с повышением прочности их связи с почвой. Адсорбция, обусловленная в данном случае наличием полисахаридных капсул, повышается в процессе дегидратации.

Хранение образцов почв при низкой положительной температуре приводит к увеличению численности дрожжей, которая за 2,5 месяца возрастает в 4,5-5 раз, главным образом за счет развития популяций психрофильных и психротрофных видов. Наилучшим способом

консервации следует считать быстрое замораживание проб в сухом льду, что позволяет сохранять неизменным их микробный состав в течение месяца после сбора.

В почве можно обнаружить дрожжи разных таксономических и экологических групп: 1 - собственно почвенные, или автохтонные, постоянное местообитание которых не выходит за пределы почвы; 2 - зимогенные, ассоциированные с органическими остатками; 3 - случайные, или аллохтонные, попадающие в почву спорадически из других местообитаний, непосредственно с почвой не связанных.

При учете дрожжей методом посева из почвенной суспензии используют низкие разведения - от 1 : 5 до 1 : 50 для образцов из минеральных горизонтов почв и от 1 : 100 до 1 : 1000-для лесной подстилки, торфа или дерна.

Лучшей естественной средой для учета дрожжей служит сусло-агар 6-7° Баллинга, подкисленный молочной кислотой (4 мл/л). Сусло, хотя и является полноценной питательной средой для дрожжей, так как содержит хорошо утилизируемые источники углерода и азота, аминокислоты и витамины, все же обладает и некоторыми нежелательными качествами. Во-первых, это не стандартная среда, и разные партии сусла могут отличаться по составу. Во-вторых, основным источником углерода в сусле служит мальтоза, которую некоторые дрожжи не используют, а у других может происходить адаптация к этому сахару.

Для учета дрожжей в почве применяют и синтетические среды:

Глюкозо-пептонный агар (г/л): глюкоза - 40; пептон - 10; агар - 20; подкислить раствором HCl после стерилизации до pH - 4,5.

Глюкозо-минеральная среда (г/л): глюкоза - 20; (NH₄)₂SO₄ - 5,0; KNaPO₄ - 0,85; K₂HPO₄ - 0,15; MgSO₄·7H₂O - 0,5; NaCl - 0,1; агар - 20; подкислить после стерилизации до pH 4,5.

Для повышения селективности синтетических сред помимо их подкисления применяют антибиотики широкого спектра действия против бактерий и грибов.

Антибиотики применяют как порознь, так и в комплексах. В смеси применяют антибиотики стрептомицин-сульфат (20 мг/л) с левомицетином (20 мг/л) и хлортетрациклином солянокислым (100 мг/л). Рост грибов подавляется актидионом, однако, к этому антибиотику чувствительны и многие дрожжи.

Поэтому для подавления роста грибов используют другие ингибиторы, например дифенил (0,005-0,01 %), красители подкислить бенгальский розовый (0,003%), кристаллический фиолетовый (0,001 %), бромкрезол-пурпуровый (0,002%).

Эффективным ингибитором роста микромицетов служит пропионат натрия в концентрации 0,15-0,25%. Однако, при такой концентрации подавляется рост и некоторых дрожжей, особенно представителей рода *Rhadorula*. Поэтому при анализе материалов, где может быть много красных дрожжей, например подстилок, торфа или дерна, этот ингибитор применять не рекомендуется.

Олигонитрофильные дрожжи, относящиеся главным образом к роду *Lipomyces*, учитывают на среде Эшби или других безазотистых средах, которые предложены для выделения из почв азотобактера и бактерий-олигонитрофилов.

Посевы выращивают при комнатной температуре. Низкие температуры задерживают рост микромицетов, и дрожжи легче выявляются, хотя сроки учета при этом значительно удлиняются. Подсчет колоний проводят по мере их появления, обычно через 7-10 сут. Учет лучше вести дробно, т. е. подсчитать и отметить с нижней стороны чашки все появившиеся в первый срок просмотра колонии, а затем оставить чашки еще на несколько дней для подращивания медленно развивающихся колоний.

При расчете численности и биомассы липомицетов нужно учитывать следующее. Использование метода посева из суспензии почвы дает заниженные на два порядка числа, а подсчет процента обросших комочков почвы соответствует приблизительно таким показателям (табл.6)

Таблица 6

Оценка степени заселенности почвы

степень заселенности почвы	% обрастания на 15-е сут.	уровень плотности популяции
низкая	<25	102
средняя	20-50	103
высокая	50-75	104
очень высокая	75-100	105 и больше

Для расчета биомассы используется показатель удельной плотности клеток липомицетов, который имеет наименьшую величину ($d=1,06$) из всех дрожжей.

Лабораторная работа № 17

ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ

Размеры образуемой водорослями биомассы различны в зависимости от растительности и типа почвы, достигая сотен килограммов сырой массы на гектар.

Однако показатели биомассы водорослей не дают полного представления о роли их в качестве продуцентов. Известна высокая «оборачиваемость» микробной биомассы в почве. Продукция почвенных водорослей в несколько раз превышает их биомассу. Этим водоросли отличаются от остальных продуцентов наземных биогеоценозов.

В составе почвенной биоты всегда содержатся водоросли. Существование водорослей в почве столь же обычно, как и обитание их в водоемах. Однако методы изучения почвенных водорослей существенно отличаются от методов изучения большинства групп почвенного населения. Водоросли можно определить как низшие (преимущественно микроскопические) растения, способные к фотосинтезу.

Фототрофное питание водорослей определяет единообразие их физиологических свойств и разнообразие морфологии, включая строение тела и способы размножения. Ныне живущие водоросли не являются монолитной группой организмов, объединенных единством строения и происхождения. Водоросли представляют собой совокупность нескольких обособленных отделов растений, самостоятельных по своему происхождению и эволюции.

Под термином «почвенные водоросли» обычно понимают совокупность нескольких экологических группировок водорослей, включающую наземные водоросли, которые лишь при благоприятных условиях разрастаются в массовых количествах на поверхности почвы, водно-наземные, разрастающиеся на поверхности постоянно влажной почвы, и собственно почвенные водоросли, населяющие толщу почвенного слоя. Согласно классификации ценозов водорослей понятие почвенные водоросли совпадает с понятием эдафильные ценозы.

По данным Э.А. Штины в почвах бывшего СССР обнаружено более 1500 видов, включающих значительное число внутривидовых

таксонов. Большая часть их относится к четырём отделам. На долю зеленых водорослей приходится 624 вида, сине-зеленых - 429, диатомовых - 255, желто-зеленых - 189. Кроме того, найдено 19 видов эвгленовых, 5 пирифитовых, 5 золотистых и один вид красных водорослей. Несмотря на кажущееся разнообразие диатомовых водорослей, в каждой почвенной пробе их встречается немного. Обычно преобладают по числу видов зеленые, сине-зеленые и желто-зеленые водоросли.

Отделы водорослей различаются как по морфологическим признакам (организация клетки, структура тела), так и по биохимическим (состав пигментов и продуктов ассимиляции, состав и строение клеточной оболочки).

Тело водорослей представлено талломом, или слоевищем. Талломы характеризуются большим разнообразием. Выделяются различные типы морфологической структуры талломов, повторяющиеся в разных отделах водорослей.

Методы изучения видового состава почвенных водорослей

При отборе почвенных образцов для исследования состава альгофлоры необходимо выполнять общие правила микробиологических анализов почвы: правильно отбирать среднюю пробу, соблюдать стерильность, правила этикетирования и хранения образцов, проводить сопутствующие анализы почвы и растительного покрова.

В случае присутствия поверхностных разрастаний водорослей в виде общего позеленения почвы, зеленых, сине-зеленых или коричневых налетов, пленок и корочек, собирают поверхностный слой почвы с водорослями на участке, размеры которого могут быть различными в зависимости от однородности и компактности водорослевого налета - от 1 дм² до 1 м².

Для выявления водорослей в толще целинной почвы берут индивидуальные пробы весом 20-50 г, приуроченные к определенным растительным ассоциациям и определенному почвенному горизонту.

В окультуренных почвах берут смешанный образец весом 20-50 г, составленный из 5-10 исходных. Образцы почв отбирают в конверты из плотной бумаги. Образцы исследуют в свежем виде или хранят в воздушно-сухом состоянии для последующего культивирования.

Культуральные методы исследования состава почвенных водорослей. При выявлении видового состава водорослей используются разные варианты

культурального метода. При постановке культур почвенных водорослей применяют общепринятые приемы микробиологической техники, касающиеся стерильности посуды, питательных сред, воды и инструментов. Инкубацию культур проводят обязательно на свету.

Наиболее простым методом для выявления состава почвенной альгофлоры является метод «стекла обрастания». Исследуемую почву, до возможности в ненарушенном состоянии, помещают в стерильные чашки Петри и в увлажненном состоянии выдерживают на свету. Для увлажнения применяют дистиллированную воду или минеральную среду.

На поверхность почвы (одновременно с постановкой культуры или на следующий день) раскладывают стерильные покровные стекла в количестве 4-8 на чашку. Поверхность почвы в чашке должна быть в мелких неровностях, ее не следует уплотнять и заглаживать. Между стеклами и почвой должны оставаться небольшие свободные пространства - «влажные камеры». Почву периодически увлажняют до 80% от полной влагоемкости. На нижней поверхности «стекла обрастания» начинается развитие водорослей, преобладающих в данной почве.

Обычно уже через 4-5 дней можно начинать просмотр стекол под микроскопом. Для этого покровное стекло снимают с поверхности почвы пинцетом и, удалив с него крупные частички почвы, кладут на предметное стекло в каплю воды. Целесообразно просматривать не все стекла одновременно, а последовательно, с промежутками в 3-5 дней. Для полного выявления видового состава водорослей в почве достаточно 3-6 недель инкубации. К этому сроку стекла так интенсивно зарастают водорослями, что поселение каких-либо новых видов оказывается невозможным.

На стеклах обрастания быстро размножаются диатомеи, и стекла можно без дополнительных процедур использовать для приготовления постоянных препаратов.

Для приготовления водных культур используют питательные среды, содержащие все необходимые для роста водорослей элементы.

Для посева обычно берут 1-2 г почвы. Желательно применять принцип средней пробы из каждого данного образца и 2-3-кратную повторность культур. Можно засеивать воздушно-сухую почву.

Развитие водорослей в водных культурах обычно становится заметным после 2-3 недель инкубации на свету. Наблюдается последовательность появления и исчезновения видов в культурах, что определяет необходимость многократного просмотра водорослей по мере их развития, начиная с трех недель и кончая 3-4 мес.

Для приготовления препаратов при изучении водорослей берут на предметное стекло пробы налетов и пленок со дна и стенок колб, о поверхности и из толщи раствора, соблюдая обычные приемы стерильности.

Агаровые культуры. Питательные среды с 1,5-2% агара применяются как для поддержания чистых культур, так и для выделения водорослей из почвы. На агаре хорошо разрастаются диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли, в том числе спорообразующие формы, медленно растущие на стеклах. Поскольку вокруг каждой мелкой почвенной частицы вырастает немного видов водорослей, а иногда только один вид, то с агаровых культур легко выделить альгологически чистые культуры. Инкубация всех культур проводится на свету. Чаще всего для инкубации служат различной конструкции люминостаты.

Разные виды культур имеют свои достоинства и недостатки. Так, водные культуры, хорошо выявляя общий состав обитающих в почве водорослей, могут дать неправильное представление о количественных соотношениях между видами и о доминирующих формах.

Коррективы в эти представления вносят почвенные культуры со «стеклами обрастания», выявляющие, в первую очередь, массовые и жизнедеятельные формы, или прямые наблюдения свежевзятой почвы. Необходимо учитывать, что во всех описанных культурах, особенно в почвенных, наряду с водорослями, хорошо развиваются протонема мхов, а иногда и заростки папоротников из спор, находящихся в почве.

Идентификация почвенных водорослей. Для идентификации почвенных водорослей нет специального определителя, и приходится пользоваться многотомными определителями пресноводных водорослей. Не исключено, что при выделении из почвы могут встретиться водоросли, не описанные в таблицах. Вначале дается идентификация отделов, затем родов, по отделам.

Для зеленых водорослей, наиболее разнообразных в почве, дано также и разделение по порядкам. В разных отделах водорослей основ-

ные систематические признаки различны. Так, для сине-зеленого основного критерия является строение теларазмеры, наличие влагалищ (чехлов), у нитчатых форм - ветвление и т.п. Определение диатомовых ведется по пустым панцирям, для рассмотрения которых покровное стекло с водорослями прокаливается и препарат заполняется особой средой (или канадским бальзамом).

При определении зеленых и желто-зеленых водорослей большое значение имеют способы размножения, в частности образование подвижных зооспор или неподвижных автоспор. Обычно размножение интенсивно происходит в водных культурах. Выяснение способов размножения требует наблюдательности, чтобы в накопительных культурах не спутать зооспоры и автоспоры с клетками водоросли. Многие водоросли размножаются с наступлением темноты, поэтому существуют приемы затемнения культур перед просмотром. Нередко идентификация до рода возможна только после выделения водоросли в аэрологически чистую культуру.

Количественные методы изучения почвенных водорослей

Количество почвенных водорослей подвержено резким колебаниям и за короткий промежуток времени изменяется в значительных пределах, поэтому для установления количественных характеристик водорослевых группировок необходимы многократные учеты.

Отбор почвенных образцов производят обычно с глубины 0-10 см, поскольку водоросли населяют преимущественно самый верхний слой почвы.

Для определения массы микроскопических водорослей в поверхностных разрастаниях берут пробы с единицы площади и глубиной 0,5-1 см и в дальнейшем рассчитывают данные не на вес, а на площадь почвы.

При подготовке к количественному анализу необходимо добиться относительно равномерного распределения клеток в объеме почвенного образца. Навески в 1 г помещают в пробирки или пенициллиновые склянки. Определяют влажность почвы. Повторность проб от 3 до 5.

Для очень влажных и медленно высыхающих образцов подбирают способы усреднения без высушивания (например, образцы тундровой почвы тщательно размешивают в воде), чтобы избежать гибели клеток водорослей.

Ф.Х. Хазиев и Р.Р. Кабиров предлагают проводить гомогенизацию образцов без предварительного высушивания путем приготовления суспензии из расчета 1 г почвы на 4-5 частей воды.

Счет водорослей проводят с помощью микроскопа, используя свежую почву (допустимо хранение в холодильнике при 5° увлажненной почвы в течение нескольких суток). Если немедленная обработка невозможна, образец почвы для счета водорослей можно сохранить в течение длительного времени.

Для этого пробы для счета водорослей помещают в пробирки или невысокие пузырьки и фиксируют 4%-ным формалином (объем 4-5 мл). Если за единицу почвы принимают 1 г, то навеску из средней пробы берут немедленно после доведения почвы до воздушно-сухого состояния, так как при длительном ее высушивании клетки водорослей деформируются и трудно выявляются при микроскопировании. Если за единицу принимается 1 см³, то этот объем почвы, взятый из средней пробы, заливают формалином без предварительного высушивания.

Можно фиксировать 1 г невысушенной почвы, но в этом случае надо определить ее полевую влажность для последующего пересчета. В этикетке, вложенной в склянку, должно быть точно указано место и глубина взятия пробы, ее размер, дата.

Прямые методы количественного учета почвенных водорослей. Навеску почвы растирают в склянке с добавлением небольшого количества воды (если счет ведется в свежевзятой почве) или в том объеме формалина, в котором была зафиксирована почва.

Для растирания используют пестик, изготовленный из препаровальной иглы с резиновым наконечником, вырезанным пробочным сверлом. Затем добавляют воду, доводя объем суспензии до 4 мл, и тщательно взбалтывают в течение 2 мин.

После полуминутного отстаивания взвесь над осадком сливают в центрифужную пробирку. К осадку добавляют 3 мл воды, взбалтывают 1 мин, отстаивают 30 сек. и взвесь сливают в ту же центрифужную пробирку.

Процедуру повторяют еще раз. После этого осадок отбрасывают. В зависимости от механического состава почвы и особенностей распределения в ней водорослей время растирания, взбалтывания и отстаивания можно менять, добиваясь, чтобы осадок не содержал водорослей.

Суспензию, слитую в центрифужную пробирку, разливают по нескольким пробиркам и центрифугируют 1 мин 500 об./мин. Осадок доводят до объема 10 или 20 мл, иногда до 40 мл в зависимости от густоты суспензии.

Каплю суспензии, после тщательного перемешивания в пробирке (не менее 1 мин), помещают на предметное стекло. Для отбора капли используют мерные пипетки со слегка подточенным носиком. Следует нанести на предметное стекло одну из первых капель, пока не нарушена гомогенность суспензии.

Нанося каплю суспензии, подсчитывают число капель в одном мл и определяют таким образом ее объем. Для замедления подсыхания препарата в каплю суспензии можно добавить каплю глицерина, перемешивая смесь краем покровного стекла и добиваясь равномерного распределения водорослей в препарате. Каплю закрывают покровным стеклом. Препарат готов для микроскопирования.

Приготовленный к счету препарат просматривают: при люминесцентном освещении, если почва свежая, или при обычном освещении микроскопа, если почва фиксирована формалином. Можно считать водоросли не во всей капле, а только в части ее, просматривая, например, каждую вторую или каждую пятую полосу, равную по ширине диаметру поля зрения.

Число просчитываемых полос устанавливается эмпирически в зависимости от разведения суспензии и количества водорослей в ней. Отмечают число встреченных в препарате водорослей, отдельно по систематическим группам: сине-зеленые (цианобактерии), зеленые и желтозеленые (вместе), диатомовые.

При наличии многоклеточных форм указывают число особей и число клеток. Можно сразу измерять обнаруженные клетки и нити для последующего определения их объема и расчета биомассы. Для этого используют окуляр-микрометр. Цену линейки определяют с помощью объектмикрометра.

Люминесцентный метод учета клеток водорослей. При просмотре почвенной суспензии под люминесцентным микроскопом водорослевые клетки выявляются за счет красного (на черном поле) свечения, обусловленного естественной флуоресценцией хлорофилла.

Используются люминесцентные микроскопы. Наблюдения проводят в отраженном свете при максимально открытых полевой и апертурной диафрагмах. Для возбуждения флуоресценции используют свет с максимумом 365 нм. Разграничение водорослей по группам достигается просмотром препарата под микроскопом при переключении света люминесценции на проходящий свет.

Используя люминесцентный микроскоп, можно упростить процедуру подготовки почвенной пробы к счету, в частности, исключить процедуры отмучивания и центрифугирования.

Предложен другой метод приготовления препаратов для люминесцентной микроскопии. Почвенную суспензию (1:10) обрабатывают на ультразвуковом диспергаторе (2 кГц, 44 А, 2 мин), наносят на тщательно обезжиренное предметное стекло (0,01 мл на препарат) и равномерно распределяют по площади 4 см² (квадрат 2×2 см). При данной площади на каждом стекле можно приготовить 3 препарата. Препараты высушивают на воздухе при комнатной температуре, фиксируют их легким нагреванием и микроскопируют. Число водорослей в 1 г почвы рассчитывают по формуле

$$N=(a \cdot n \cdot S) / p$$

где а - среднее число клеток в поле зрения; р - площадь поля зрения (мкм²); n - показатель разведения; S - площадь мазка.

В данном случае площадь мазка 4 см². Тогда формула имеет вид $N=(a \cdot 40)/p$

При отсутствии люминесцентного микроскопа можно использовать люминесцентные приставки. Хорошее свечение клеток наблюдается при использовании светофильтров СФ-1, теплозащитного СЗЗ-7, запирающего КС-18. Нельзя использовать для счета в люминесцентном микроскопе пробы, зафиксированные формалином, так как формалин «гасит» естественную флуоресценцию клеток водорослей.

Культуральные методы учета водорослей. Несмотря на простоту прямых методов количественного учета, до сих пор применяются и культуральные методы, основанные на последовательном разбавлении почвенной суспензии и засеве ее в питательные среды.

Культуральные методы имеют ряд недостатков, обусловленных неодинаковой скоростью роста разных видов, трудностью подбора сред, одинаково подходящих для всех групп водорослей, неравномерностью распределения водорослей в суспензии.

Лабораторная работа № 18

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Жизнеспособность указывает на живое состояние исследуемого объекта и содержит оценки, характеризующие его генетическую и фенотипическую полноценность, способность нормально функционировать в различных условиях. В случае популяций одноклеточных делящихся микроорганизмов понятие "жизнеспособность" используют для обозначения соотношения содержащихся в них живых и мертвых клеток.

Сущность метода с использованием витальных красителей в проникновении через поврежденную оболочку мертвых клеток некоторых видов красителей и окрашивание клеточной цитоплазмы. Живые клетки (с ненарушенной избирательной проницаемостью мембраны) не пропускают краситель и остаются бесцветными.

Использование флуоресцентной микроскопии в проходящем и, особенно, отраженном свете значительно увеличило возможности изучения микроорганизмов в их природных местообитаниях, позволило учитывать не только свободные, но и адсорбированные клетки (менее 0,1 мкм), дало возможность надежнее дифференцировать клетки микроорганизмов и почвенные частицы. Этот вид микроскопии применяется для определения первичной флуоресценции (автофлуоресценции) клеток, исследования вторичной флуоресценции после окрашивания флуорохромами или мечеными ферментами (лизоцим меченный родамином), а также позволяет использовать специфически меченые антитела.

Ограничения всех этих методик связаны с собственной флуоресценцией минералов и органического вещества в природных средах. Использование правильно подобранных красителей и времени окрашивания позволяет снять эти ограничения. Автофлуоресценция используется при изучении эукариотных микроводорослей, цианобактерий, фотосинтезирующих бактерий, метанобразующих бактерий.

В настоящее время люминесцентно-микроскопический метод учета численности бактерий, с окрашиванием различными флуорохромами (вторичная люминесценция), пользуется широким признанием, как обеспечивающий высокую полноту учета и хорошую сопоставимость результатов, получаемых в разных лабораториях.

Принцип люминесцентно-микроскопического метода не отличается от вышеизложенного. Различие заключается лишь в технике исполнения. Обычные витальные красители заменены флуорохромами, а наблюдение проводится с помощью люминесцентного микроскопа. Впервые этот метод для выявления жизнеспособных микробных клеток был применен Штруггером.

В качестве люминесцирующего красителя им был использован акридин оранжевый, обладающий люминесцентной метакромазией (изменение цвета в зависимости от концентрации и других физико-химических условий). При окрашивании микробной взвеси акридином оранжевым мертвые клетки приобретают красное свечение, а живые - зеленое.

В последнее время показано, что характер свечения окрашенной акридином оранжевым бактериальной клетки может изменяться в зависимости от накопления в ней нуклеотидов (главным образом РНК). Так, непосредственно перед делением, большинство бактериальных клеток приобретают красную люминесценцию. Поэтому следует более осторожно подходить к использованию акридина оранжевого для дифференциации живых и мертвых бактериальных клеток.

В настоящее время применяются флуоресцеин изотиоционат (ФИТЦ), диацетат флуоресцеина (FDA), дибутират флуоресцеина (FDB) примулин, 4,6-диамидино-2-фенилиндол (DAPI) и Hoechst краситель N 33258. Яркость изображения зависит от источника света, комбинации фильтров, апертуры объектива, типа мембраны, флуорохрома и его концентрации.

Клетки бактерий, окрашенные DAPI, флуоресцируют темно-синим цветом, а остатки органических веществ окрашиваются в слабо-желтый цвет. Это специфический краситель на ДНК. При длине волны 365 нм комплекс ДНК-D API окрашивается в темно-синий цвет, несвязанный DAPI и DAPI, связанный не с ДНК, светится желтым цветом, поэтому бактерии могут быть легко определены. Его целесообразно применять для местообитаний с большим количеством частиц. Кроме всего, DAPI дает более яркую флуоресценцию и не выцветает так быстро, как акридин оранжевый.

Профлавин используют при дифференциации фотосинтезирующих и нефотосинтезирующих водорослей, так как автофлуоресценция

хлорофилла не маскируется свечением флуорохрома, как в случае с акридином оранжевым.

Красители диацетат флуоресцеина (FDA) и дибутират флуоресцеина (FDB) являются не флуоресцирующими субстратами, которые в клетках гидролизуются во флуоресцеин неспецифическими эстеразами, присутствующими во всех живых клетках, что позволяет дифференцировать "живые" и "неживые" клетки бактерий, дрожжей, грибов.

Наиболее перспективными нам представляются методы окраски флуоресцирующими красителями (DAPI, флуорескаминол) и молекулярными зондами («метод флуоресцентной *in situ* гибридизации» – FISH) с привлечением компьютерного имидж-анализа получаемых при микроскопировании изображений. О значимости новых подходов говорит тот факт, что получаемые с помощью этих методов результаты иногда превышают в 1000-10000 раз цифры, полученные традиционными культивационными методами.

Другое преимущество молекулярно-биологических методов заключается в том, что при их использовании отпадает необходимость предварительного получения накопительных и чистых культур, во время которого теряется часть микроорганизмов, относящаяся к трудно культивируемым и медленно растущим видам.

Матрицей для создания молекулярного зонда является определенный участок последовательности 16-S рРНК, специфичный для определенного вида или группы бактерий, что позволяет провести прямую микроскопическую идентификацию отдельных клеток данного вида или группы. Этот метод имеет преимущество так же и перед серологическими методами, так как позволяет конструировать зонды, выявляющие некультивируемые микроорганизмы.

Методика окраски методом FISH достаточно проста и включает в себя несколько этапов:

1. Фиксация образца 96%-ным этанолом (1:1) и хранение при -18°C.
2. Нанесение образца или его разведений на предметные черные (нефлуоресцирующие) стекла.
3. Высушивание на воздухе и дробная фиксация разведениями этанола.

4. Обработка раствором лизоцима для улучшения проницаемости мембран для молекулярных зондов.

5. Собственно гибридизация, включающая в себя нанесение последовательно нескольких реактивов и флюоресцирующего молекулярного зонда, выдерживание в термостате и стадии промывки.

6. Покраска раствором 4',6'-диамидино-2-фенилиндола (DAPI) для подсчета общей численности микроорганизмов.

7. Подсчет светящихся клеток в люминесцентном микроскопе. Использование двух разных светофильтров в микроскопе позволяет подсчитать в одном и том же поле зрения общее микробное число (окраска DAPI) и число бактерий определенного вида или группы (окраска молекулярным зондом).

При необходимости проводить только подсчет общего числа клеток микроорганизмов данная методика используется в укороченном варианте, в котором опускаются стадии обработки лизоцимом и гибридизации с молекулярными зондами.

Однако молекулярно-биологические методы не могут целиком заместить классические методы микробиологии, так как имеют и ряд ограничений. Например, при использовании метода FISH возможен недоучет клеток неизвестных к настоящему времени видов микроорганизмов, а также недоучет покоящихся форм.

Существует также риск неспецифической детекции и недостаточной чувствительности. Кроме того, метод окраски флуоресцирующим красителем DAPI учитывает как живые, так и мертвые клетки, что может привести к завышению результатов анализа.

Лабораторная работа № 19

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОЧВЕ. РЕГИДРАТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ МИКРООРГАНИЗМОВ

Регидратационный метод основан на биоцидной обработке простым высушиванием почвы при умеренно высокой температуре (65-70°, 24 ч.). В ходе высушивания нарушается барьер проницаемости клеток вследствие денатурации цитоплазматических мембран, при этом мертвое органическое вещество не разрушается.

Последующая регидратация (встряхивание высушенной почвы с водой или разбавленным солевым раствором) приводит к высвобождению внутриклеточного содержимого микроорганизмов в жидкую фазу. Биомассу микроорганизмов определяют по приросту содержания водорастворимых соединений в высушенной почве по сравнению с контрольной свежей почвой.

Концентрацию органических веществ измеряют методом бихроматного окисления. Недостатком регидратационного метода является его трудоемкость, особенно при определении пересчетного коэффициента в каждом анализируемом образце.

РЕАКТИВЫ: экстрагент (вода или 0,5 н. K_2SO_4 , готовят, растворяя 42,6 г соли в 1 л воды), сернохромовая смесь (готовят, растворяя 23,2 г $K_2Cr_2O_7$ в 400 мл воды, затем осторожно приливают 2 л конц. H_2SO_4 с плотностью 1,84 г/см³).

ОБОРУДОВАНИЕ: ФЭК, центрифуга, термостат.

ХОД АНАЛИЗА: 50 г свежей почвы, предварительно просеянной через сито с ячейками 1-3 мм и освобожденной от корней растений, помещают в коническую колбу емкостью 300 мл и высушивают в сушильном шкафу при 70°C в течение 18-24 ч. Параллельно определяют содержание влаги в свежем образце почвы.

Одновременно контрольный образец (без прогрева) заливают 0,5 н. раствором K_2SO_4 (соотношение почва : раствор K_2SO_4 = 1 : 2) и взбалтывают на качалке в течение 30 мин. Затем суспензию фильтруют через двойной складчатый крупнопористый фильтр или центрифугируют. Вытяжку хранят до анализа в холодильнике при 4°C в течение 18-24 ч. Из высушенной почвы вытяжку готовят аналогичным образом.

При этом необходимо учесть ту влагу, которая содержалась в свежей почве и испарилась при высушивании. Легче всего это сделать путем увлажнения высушенной почвы до исходного состояния перед приготовлением вытяжки. В пробирки отбирают по 1,6 мл вытяжки из контрольного и опытного образцов, добавляют по 2,4 мл сернохромовой смеси и перемешивают.

Инкубационную смесь прогревают при 140°C в течение 20 мин., охлаждают и измеряют оптическую плотность при 590 нм. Параллельно ставят холостую пробу на реактивы (вместо надосадочной жидкости используют соответственно раствор K_2SO_4 или дистиллированную воду).

Следует помнить, что во избежание выпаривания при прогревании инкубационной смеси пробирки необходимо закрывать крышками (стеклянными или из фольги).

Применение ватных или резиновых пробок недопустимо, поскольку содержащиеся в них органические вещества могут исказить результаты анализов.

Расчет концентрации углерода в вытяжках производят по формулам:

$$C_v = (D_v - D_k) V / k \times a;$$

$$C_k = (D_c - D_k) V / k \times a$$

где C_v - содержание органических веществ в высушенной почве (мкг С/г); C_k - содержание органических веществ в контрольной (без высушивания) почве (мкг

С/г); V - объем вытяжки (мл); a - масса почвы, взятой для анализа (г); D_v - оптическая плотность пробы из высушенной почвы; D_c - оптическая плотность пробы из свежей (контрольной) почвы; D_k - оптическая плотность холостой пробы; k - пересчетный коэффициент от оптической плотности к концентрации (мл/мкг С).

Пересчетный коэффициент k определяют по калибровочному графику с серией растворов глюкозы (50-500 мкг С/мл, что соответствует 125-1250 мкг глюкозы/мл). k рассчитывают по тангенсу угла наклона градуировочной шкалы к оси абсцисс.

Если концентрация органических веществ в вытяжке низкая, то используют более чувствительную модификацию бихроматного метода: в составе сернохромовой смеси количество $K_2Cr_2O_7$ снижают с 23,2 до 1,26 г, а спектрофотометрию продуктов окисления осуществляют при 340 нм в кварцевых кюветах. Остальные операции остаются в неизменном виде.

В области 340 нм находится максимум поглощения $Cr_2O_7^{2-}$, поэтому о количестве органических веществ судят по снижению оптической плотности реакционной смеси по сравнению с холостой пробой.

Нахождение пересчетного коэффициента и расчет биомассы. Биомассу микроорганизмов рассчитывают по формуле

$$X = (C_v - C_k) / k,$$

где x - биомасса (мкг С/г почвы); C_v и C_k - содержание растворимых органических веществ соответственно в высушенной и контрольной почве (мкг С/г почвы);

k - пересчетный коэффициент, который по своему смыслу есть доля клеточных компонентов, переходящих в раствор в результате высушивания-регидратации.

Для прямого нахождения величины k почвенный образец инкубируют с известным количеством глюкозы (1-5 мг/г почвы), определяя в динамике потребление субстрата бихроматным методом в водных вытяжках и выделение CO₂ методом газовой хроматографии. Прирост углерода микробной биомассы Δx рассчитывают по уравнению материального баланса $\Delta x = s_0 - s - \Delta p$,

где s_0 - доза субстратного обогащения почвы (мкг С глюкозы/г почвы); s - остаточное количество глюкозы (мкг С/г почвы); Δp - выделившийся CO₂ в избытке по сравнению с контролем (необогаченной почвой; мкг С/г почвы). Параллельно определяют количество органических веществ в вытяжках из почвы после высушивания-регидратации. Аналогичные определения проводят для необогаченной почвы.

Коэффициент пересчета k находят для каждого срока инкубации по формуле

$$K = ((C_{вг} - C_{г}) - (C_{вк} - C_{к}))/\Delta x,$$

где $C_{в}$ и C - количество углерода растворимых органических соединений в почве после высушивания-регидратации и в почве без обработки соответственно, индекс "г" обозначает почву, обогащенную глюкозой, а индекс "к" - контрольную почву без субстратного обогащения. Обычно коэффициент k составляет примерно 0,25.

Лабораторная работа № 20

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ МЕТОДОМ ФУМИГАЦИИ-ЭКСТРАКЦИИ

Прямое измерение массы почвенных микроорганизмов требует много времени и является узкоспециализированным научным исследованием. Диспергирование почвы в воде и изучение тонких пленок этой дисперсной системы под микроскопом - основной метод определения объема организмов. Чтобы перейти от объема к массе, необходимо знать плотность основных групп организмов, выражаемую как отношение массы к объему. Она варьирует от 1,1 до 1,5 г/см³.

Разработаны более удобные косвенные методы, но только недавно были приняты стандартные методы определения микробной биомассы, для усовершенствования которых до сих пор проводятся

научные исследования. Рассмотренный здесь метод фумигации - экстракции наиболее прост и надежен в исполнении

ПРИНЦИПЫ. При помещении влажной почвы в атмосферу, содержащую пары хлороформа, микроорганизмы погибают. Содержимое клеток микроорганизмов становится растворимым и может быть экстрагировано из почвы раствором хлорида калия. Азот (N), выделенный таким образом в виде аминокислот и аммония, определяют реакцией с нингидрином и измеряют фотометрически в виде темнокрасного комплекса.

Количество определяемого N прямо пропорционально биомассе микроорганизмов, первоначально существующей в почве: около четверти N из микробной биомассы высвобождается, но эта доля примерно постоянна для разных почв (при соблюдении стандартных условий).

Константу пропорциональности устанавливают сравнением количества N, реагирующего с нингидрином, с результатами определения биомассы другими методами, в первую очередь методом фумигации - инкубации.

РЕАКТИВЫ.

Реактив нингидрина. Растворяют 0,8 г нингидрина и 0,12 г гидриндантина в 30 мл диметилсульфоксида. Добавляют 10 мл литий-ацетатного буфера. Реактив готовят, как правило, в день использования, однако раствор можно хранить несколько дней, если пропустить через него (в течение 30 мин) газообразный азот, не содержащий кислорода, и хранить герметически закрытым.

Литий-ацетатный буфер. К 500 мл воды добавляют 168 г гидроксида лития $\text{LiOH} \times \text{H}_2\text{O}$. Перемешивают до тех пор, пока около половины его не растворится.

Добавляют 293 мл ледяной уксусной кислоты (CH_3COOH) и доводят объем почти до 1 л. Разбавляют 5 мл этого раствора 10 мл воды и измеряют pH. Если pH не равен $5,2 \pm 0,05$, добавляют в основную часть раствора уксусную кислоту или гидроксид лития: 1 мл или 1 г соответственно будут изменять pH примерно на 0,01.

Закрывают раствор и оставляют охлаждаться на ночь. Затем доводят до 1 л и фильтруют, если раствор непрозрачный.

Водный раствор этанола. Разбавляют этанол (95%-ный по объему) равным объемом воды.

Стандартные растворы, содержащие азот. Растворяют 0,469 г лейцина в воде и доводят до 1 л. Такой раствор содержит 50 мкг N в 1 мл. В мерные колбы на 100 мл отбирают пипеткой 0, 5, 10, 15, 20 и 30 мл этого раствора, добавляют в каждую 50 мл 4 М KCl и доводят объем до метки. Эти растворы содержат 0; 2,5; 5; 7,5; 10 и 15 мкг N в 1 мл.

Раствор хлорида калия. Растворяют 289 г KCl в воде и доводят объем до 1 л, получая 4 М KCl. Разбавляют равным объемом воды, чтобы получить экстрагирующий раствор (2 М KCl). Хлороформ.

ОБОРУДОВАНИЕ. 1) Стеклянные флаконы вместимостью 150 мл. 2) Спектрофотометр и 1-сантиметровые кюветы. 3) Водяная баня, 100 °C.

ХОД АНАЛИЗА.

1. Подготовка почвы. Почва должна быть взята с полевой влажностью и просеяна через сито с отверстиями диаметром 2 мм. Для облегчения измельчения и просеивания ее можно предварительно слегка подсушить. Можно использовать и воздушно-сухую почву, хотя в процессе высушивания на воздухе, хранения и повторного увлажнения существенная часть микроорганизмов погибает.

Воздушно-сухую почву просеивают и увлажняют до 40%-ной влагоемкости.

Четыре пробы по 25 г помещают в незакупоренные стеклянные флаконы и инкубируют в течение 2 недель в большом закрытом контейнере (для этой цели пригоден эксикатор). В контейнер помещают влажную фильтровальную бумагу для предохранения почвы от высыхания и открывают каждый день для поддержания соответствующей аэрации. Поддержание таких условий позволяет достичь стабильного уровня биомассы.

2. Фумигация. Две пробы равной массы, взятые из одного и того же образца, помещают в вакуумный эксикатор вместе со стаканчиком, содержащим 25 мл хлороформа, после чего откачивают воздух до достижения интенсивного кипения хлороформа в течение 2 мин. В результате этого пары хлороформа пропитывают почву, и содержащиеся в ней микроорганизмы погибают.

Почву оставляют под воздействием паров хлороформа на 24 ч и затем удаляют стаканчик с ним из эксикатора. Пары хлороформа опасны, необходимо работать в перчатках и проводить испарение в вытяжном шкафу.

Эксикатор оставляют открытым на несколько минут, затем закрывают и откачивают воздух, чтобы удалить пары хлороформа из почвы. Затем эксикатор снова открывают на некоторое время, закрывают и повторяют откачивание.

3.Экстракция. В четыре флакона с почвой (два с фумигированной и два с нефумигированной) добавляют по 100 мл раствора 2 М КСl, закрывают крышкой и встряхивают в течение 30 мин. Далее содержимое отфильтровывают через бумажный фильтр в пробирку. Для определения азота нингидринным реактивом требуется 2 мл полученного фильтрата.

4.Определение азота нингидринным реактивом.

Калибровка. В пробирки на 50 мл вносят пипеткой 2 мл стандартного раствора лейцина. Медленно добавляют 1 мл нингидринового реактива и тщательно перемешивают. Помещают пробирки на 25 мин в кипящую водяную баню, после чего охлаждают до комнатной температуры.

Затем добавляют 20 мл водного раствора этанола, тщательно перемешивают и измеряют оптическую плотность на спектрофотометре при длине волны 570 нм, используя 1-сантиметровую кювету. В контрольную кювету наливают воду. По полученным результатам строят калибровочную кривую, отражающую зависимость оптической плотности от концентрации азота.

Экстракты. Проявляют окраску, следуя приведенному выше методу, используя по 2 мл каждого экстракта, и определяют концентрацию азота по калибровочной кривой.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В литературе нет точных данных о коэффициенте, используемом для вычисления микробной биомассы по количеству азота, реагирующего с нингидрином. Трудности связаны с невозможностью добиться истинного измерения микробной биомассы для проведения калибровки метода. В Ротамстеде используют следующие коэффициенты (при этом все величины выражаются в микрограммах на грамм абсолютно сухой почвы):

Углерод микробной биомассы = $31 \times \text{Нингидрин-N}$

Азот микробной биомассы = $4,6 \times \text{Нингидрин-N}$

В среднем 50 % сухой биомассы составляет углерод, поэтому для нее, повидимому, пригодно следующее соотношение:

Микробная биомасса (сухое вещество) = $62 \times \text{Нингидрин-N}$.

Внутри данного эксперимента эффекты обработок можно сравнивать, не подвергая сомнению выводы, однако метод не дает абсолютных значений, поэтому результаты следует интерпретировать с осторожностью.

Метод дает общее представление об определении микробной биомассы методом фумигации-инкубации. В нем предусмотрено применение хлороформа, свободного от этанола, потому что в противном случае в почве будет оставаться этанол, который служит источником углерода, используемого микроорганизмами для увеличения интенсивности дыхания.

Другие методы включают определение общего углерода или общего азота в KCl-экстракте после фумигации. Однако они присутствуют в малых количествах, что затрудняет их определение.

Лабораторная работа № 21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ.

ПОКАЗАТЕЛИ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ

ПО ДАННЫМ МЕТОДА ПОСЕВА

Бактериальное разнообразие почв, определенное на основании молекулярногенетических методов, значительно более неопределенно и неконкретно, чем то, которое определяется обычными методами посева. При этом при генетическом подходе пока невозможно выявить физиологические особенности и экологические функции бактерий, определяемых в почве.

На этом основании Т.Г Добровольская с соавт. предлагают выявление бактериального разнообразия с использованием разработанных ими на кафедре биологии почв МГУ подходов и показателей.

В их основе лежит идентификация выявленных при посеве бактерий до рода по простым фенотипическим признакам. При этом не следует стремиться описать все разнообразие бактерий, что практически невозможно, а выбрать в качестве модельной одну из групп бактерий, все представители которой способны расти на одной и той же питательной среде. На ней определяют синэкологические показатели: доли разных таксонов бактерий, доминанты, субдоминанты и минорные группы.

В качестве модельных групп выбран комплекс аэробных и факультативноанаэробных бактерий, включающий более 50 родов (теоретически до 80), выделяемых из почвы и сопряженных субстратов и способных расти на модифицированной пептонно-глюкозо-дрожжевой среде, а также актиномицеты, выделяемые на казеин-глицериновом агаре и среде с пропионатом натрия.

После 2-3 недельной инкубации при 20-24°C подсчитывают общее количество выросших колоний и определяют общую численность в колониобразующих единицах (КОЕ) на грамм.

После проводят дифференцирующий учет колоний разных таксонов. Для этого сначала на каждой чашке выделяют макроморфологические типы колоний и подсчитывают количество колоний каждого типа. По 3-5 представителей каждого типа колоний выделяют в чистую культуру и идентифицируют по определителям Берджи на основании микроморфологических и физиологобиохимических признаков.

Последние включают определение состава дифференцирующих сахаров и аминокислот, наличия L- или мезо-диаминопимелиновой кислоты в гидролизатах целых клеток. По результатам дифференцирующего учета для образца рассчитывают относительное обилие каждой таксономической группы. Затем по полученным данным рассчитывают синэкологические показатели структуры бактериальных обществ.

В результате исследований установлено, что наименее изменчивы валовые и усредненные показатели: уровень общей численности, видовая насыщенность и общее обилие таксонов, инвентаризационное разнообразие (общее количество обнаруженных таксонов).

Наиболее изменчивыми и информационными являются показатели, характеризующие иерархическую и синтипологическую структуру бактериальных сообществ: спектры потенциальных доминантов, уровень дифференцирующего разнообразия (отражает разнородность отдельных групп бактерий по их таксономической структуре), характер ярусной структуры, соотношения экологических групп (копиотрофов, олиготрофов, гидролитиков и т.д.).

Показатели бактериальных сообществ:

1.Общее обилие: численность КОЕ/г (средняя, пределы колебаний); тип пространственной организации.

2.Таксономическая структура: число обнаруженных таксонов; среднее количество таксонов в образце; α -разнообразие (индекс Шеннона): средняя, пределы колебаний; β -разнообразие: индекс Уилсона и Шмиды, среднее сходство образцов, %; число потенциальных доминантов; грамположительные/грамотрицательные.

3.Экологическая структура: доминирующие трофические группы; доля гидролитиков.

4.Типичные адаптивные признаки популяций: жизненный цикл; морфологическая дифференциация; подвижность; пигментация; устойчивость к высушиванию; нуклеотидный состав ДНК; тип стратегии.

Этот метод посева с последующей идентификацией бактерий до рода также имеет существенные недостатки: выявляется не более 50 (до 80) родов гетеротрофных аэробных и факультативно анаэробных бактерий, требуются высококлассные специалисты в области систематики бактерий, имеющих многолетний опыт идентификации бактерий; практически невозможно исследовать бактериальное разнообразие до вида.

При экологических исследованиях с определением большого массива штаммов проведение молекулярно-биологических и хемотаксономических методов идентификации практически невозможно.

Лабораторная работа № 22

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ПОЧВЕННЫХ ГРИБОВ И АКТИНОМИЦЕТОВ ПО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РОСТА

Видовой и кинетический способы описания структуры комплекса почвенных микромицетов тождественны, что позволяет выделять структурные изменения по радиальной скорости роста колоний без определения видов.

Посев производят на КАА для актиномицетов и на среду Чапека для грибов.

Разведение подбирают таким образом, чтобы на чашке Петри выросло не более 3-5 колоний грибов и 5-10 колоний актиномицетов. После 36 ч. инкубирования в термостате при 28°C измеряют диаметр выросших на чашках колоний при помощи микроскопа МБС-9. Эту операцию повторяют трижды через 12-24 ч.

За диаметр отдельной колонии в данный момент времени принимают среднее арифметическое измерение, выполненное в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Вычисление радиальной скорости роста проводят по формуле:

$$K_r = (r - r_0) / (t - t_0) ,$$

где K_r - радиальная скорость роста; r_0 - радиус колоний в начальный момент времени t_0 ; r - радиус колоний в момент времени t . Значение K_r определяется для каждой колонии, затем вычисляют среднюю величину $K_{r\text{ср}}$ для всех колоний, выросших при посеве.

Более детальное представление о перестройках структуры комплекса почвенных грибов и актиномицетов дает анализ распределения по классам с различной радиальной скоростью роста.

Для изучения распределения актиномицетов и грибов по скоростям роста выбирают классы значений радиальной скорости роста, которые захватывают весь диапазон встретившихся в опыте K_r индивидуальных колоний, причем для верхней границы отдельного класса справедливо $K_{r\text{верх}} = A + B (n - 1) ,$

где A - K_r нижней границы класса; B - ширина класса; n - номер класса. Следовательно, класс объединяет в себе актиномицеты (грибы) с близкими значениями радиальных скоростей роста.

Оценку разнообразия сообщества проводят с помощью индекса разнообразия Шеннона по формуле

$$D = (\sum p_n \lg p_n) / \lg 2 ,$$

где D - индекс разнообразия Шеннона; $p_n = N_n / \sum N_n$; N_n - доля актиномицетов (грибов) n -го класса в %.

$K_{r\text{ср}}$ и индекс Шеннона следует рассчитывать по выборке из 30-40 колоний для грибов и 70-100 колоний для актиномицетов.

Лабораторная работа № 23

АНТАГОНИЗМ МИКРООРГАНИЗМОВ

Для выявления микробов-антагонистов и изучения их антибиотической активности существуют методы, основанные на способности антибиотиков диффундировать в агаризованную среду.

Метод агаровых блоков заключается в следующем. Поверхность питательного агара, пригодного для развития испытуемого организма и образования антибиотического вещества, засевают сплошным "газоном" антагониста. После того, как организм хорошо разовьется и

образует антибиотическое вещество, которое диффундирует в толщу агара (для бактерий - 4-5 суток, для грибов - 6-8, для актиномицетов - 8-10 суток), стерильным пробочным сверлом вырезают агаровые блоки и переносят их на поверхность другой агаровой пластинки в чашке Петри, предварительно засеянной тест-организмом.

После инкубации в термостате (время инкубации зависит от скорости роста тест-культуры) вокруг агаровых блоков образуются зоны отсутствия роста тест-организма в том случае, если антибиотическое вещество, выделяемое исследуемым организмом, угнетает рост тест-микроба. По диаметру зон судят об антибиотической активности изучаемого организма.

Спектр антимикробного действия антагониста удобно определять с помощью следующих методов. На питательный агар в чашки Петри высевают в виде штриха испытуемый организм. К выросшему микроорганизму подсевают перпендикулярно или в виде окружности тест-организмы.

По другой модификации вырезают большой блок среды с культурой испытуемого антагониста и ставят в центр агаровой пластинки на чашке Петри. Тест-микробы подсевают штрихами по радиусам к блоку испытуемой культуры. Чашки инкубируют в термостате в течение 3-7 суток при 28-30°.

Максимальное действие антибиотика проявляется на том организме, развитие которого начинается на большем расстоянии от блока.

Лабораторная работа № 24

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Старыми методами микробиологии установили лишь 1-5 % почвенных бактерий (Rondon, Goodman, Handelsman, 1999). Поэтому бурно развиваются новые методы идентификации бактерий: метод мультисубстратного тестирования (метаболический потенциал сообщества), анализ профилей метиловых эфиров жирных кислот, разные модификации молекулярно-биологических методов.

Преимущества молекулярно-биологических методов по сравнению с традиционным методом посева: облегчается трудоемкая процедура посева, культивирования и выделения чистых культур микроорганизмов, разнообразие выделенных бактерий повышается в сотни и

более раз, учет «некультивируемых форм» бактерий, обнаружение новых эволюционных линий.

Определение ДНК-ДНК гомологии основано на аналитическом определении сходства ДНК двух организмов. Принимается, что организмы, различающиеся по ДНК-ДНК гомологии менее чем на 30 %, принадлежат к одному виду. О свойствах организмов эти данные ничего не говорят, но надежно устанавливают эквивалентность, а особенно идентичность сравниваемых объектов.

Новый метод молекулярной биологии классификации организмов основан на сравнении последовательности нуклеотидов в гене 16S рРНК. Этот ген выбран по нескольким причинам. Он наиболее удален от функциональных зависимостей, связанных с условиями обитания. Он технически удобен, поскольку содержит 1500 пар оснований. Такого рода анализ последовательности нуклеотидов при фактическом отсутствии организма дает «номер паспорта».

Полученные записи результатов сравнения в виде графов внешне сходны с дихотомическими деревьями определительных ключей. В настоящее время проанализированы последовательности 16S рРНК почти 5 тысяч видов бактерий. Принято, что при различии более 5% в последовательности нуклеотидов в гене 16S рРНК организмы принадлежат к разным родам.

Полное сравнение генома требует в отличие от исследования 16S рРНК - одного гена со специальной функцией в синтезе белка, анализа около 4 млн. пар оснований в ДНК, поэтому до сих пор неприемлемо.

Исследование биоразнообразия в природе проводится на основе экстракции суммарной ДНК из образца, очистки, амплификации, получения генов рРНК, их секвестирования и сопоставления с имеющимся компьютерным банком данных.

Другой прием заключается в применении генных проб, позволяющих сразу же установить принадлежность организмов к той или иной ветви.

1.Изучение экстрактов ДНК из почвы при помощи метода реассоциации или дифференцированного центрифугирования в градиенте CsCl

Изучение экстрагированной из почвы ДНК методом реассоциации основано на связи гетерогенности препарата бактериальной ДНК со скоростью ее реассоциации.

Гетерогенность ДНК определяется как общая длина различных ДНК последовательностей. Определяемое количество пар оснований в негомологичной ДНК эквивалентно размеру генома в целом и может использоваться для характеристики разнообразия бактериальных сообществ. Недостатки метода слабая экстракция ДНК из почвы (около 20%), сложность очистки от гумусовых веществ, длительность реассоциации (до 2 недель).

Дифференцированное центрифугирование в градиенте CsCl очищенного экстракта ДНК позволяет разделить тотальный препарат ДНК на фракции с разной плавучей плотностью, которая связана соответствующей формулой с мол.% Г+Ц.

Полученные данные могут быть дальше более детально изучены другими молекулярными методами - гибридизация, фингерпринт и т.д. Этот простой метод имеет такие же недостатки, кроме того, он недостаточно чувствителен к изменениям в бактериальном сообществе.

2.Экстракция из почвы нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) с последующей амплификацией фрагментов гена 16S рРНК при помощи полимеразной цепной реакции (ПЦР) и детальное изучение амплифицированных фрагментов разнообразными молекулярно-генетическими методами

Большинство современных исследований выполнено методом экстракции из почвы нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) с последующей амплификацией фрагментов гена 16S рРНК при помощи полимеразной цепной реакции (ПЦР) и детальным изучением полученных фрагментов.

ХОД АНАЛИЗА:

1.Экстракция ДНК из почвы.

2.Амплификация фрагментов последовательностей ДНК, кодирующих 16S рРНК при помощи ПЦР с универсальными или специфическими праймерами.

3.Клонирование полученных амплификантов путем введения соответствующих векторов в геном *E. coli* и создание так называемой «библиотеки почвенных клонов».

4. Изучение амплифицированных последовательностей «почвенных клонов» различными молекулярно-генетическими методами: прямого секвенирования, гибридизации с реперными последовательностями, разнообразными модификациями рестрикционного анализа с использованием различных приемов гелелектрофореза.

5. Анализ полученной информации о последовательностях путем сравнения с базами данных о последовательностях. В настоящее время в Рибосомальной базе данных (RDB) содержатся сведения о почти 10000 тысячах полных или частичных последовательностях коллекционных культур и «почвенных клонов», причем база все время пополняется.

В результате идентификации по 16S рРНК природных популяций показало, что «в природе есть множество объектов, которые не могут быть сопоставлены с известными, организмы, выделенные в чистую культуру, в природе немногочисленны.

Следовательно, культуральные методы вносят систематическую ошибку в познание биоразнообразия микробного мира, и вся концепция валидации на основе тезиса «чистая культура в признанной коллекции» потерпела крах: можно сказать и трудно опровергнуть, что существующая таксономия бактерий, как она представлена в определителях Берджи на основании узаконенных в соответствии с Кодексом номенклатуры бактерий, есть «классификация артефактов». ... Выход из кризиса состоит в необходимости перехода от геномных характеристик к функциональным».

Обладая множеством достоинств, метод идентификации по 16S рРНК природных популяций дает лишь ответ на вопрос о присутствии или отсутствии в образце фрагментов последовательностей, характерных для определенного таксона и их близости к последовательности реперных штаммов из доступных баз данных, а не об относительном количестве его в сообществе.

Метод сложен, многоступенчат и на каждом этапе могут быть ошибки, искажающие результаты анализа. Согласно исследованиям, проведенным этим методом, в почве преобладают грамотрицательные формы бактерий, в то время как традиционный посев выявляет доминирование грамположительной микрофлоры.

Т.Г. Добровольская с соавт. объясняет это более легким лизисом грамотрицательных бактерий.

3.Изучение бактериальных популяций почвы in situ методом гибридизации с олигонуклеотидными маркерами (ДНК- и РНК-зондами), меченными флуоресцентными красителями

Изучение бактериальных популяций почвы in situ методом гибридизации с олигонуклеотидными маркерами (ДНК- и РНК-зондами), меченными флуоресцентными красителями позволяет получить количественную информацию о метаболически активных или численно доминирующих популяциях в почве на основании специфического связывания последовательностей 16S (реже 23S) рРНК со специально подобранными олигонуклеотидными маркерами (зондами).

При этом флуоресцентный краситель (акридин оранжевый или ДАФИ - 4,6-диамидино-2- фенилиндол), присоединенный к олигонуклеотидному маркеру, легко диагностирует искомые клетки при просмотре препарата под микроскопом при специальной подсветке. Метод имеет ограничения, связанные, как с разной проницаемостью клеточных покровов по отношению к маркерам, так и высоким требованием к содержанию клеток в препарате (не менее 1 млн/г почвы).

Лабораторная работа № 25 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПО ЕЕ ЦВЕТУ И РАЗВИТИЮ РАСТЕНИЙ

Цель работы: овладеть ориентировочной оценкой биологической продуктивности почв визуально и с помощью тестовых культур.

Таблица 3.

Окраска почв	Содержание гумуса, %	Категории
Очень черная	10-15	Высокогумусная, очень плодородная
Черная	7-10	Гумусная, плодородная
Темно-серая	4-7	Среднегумусная, среднеплодородная
Серая	2-4	Малогумусная, среднеплодородная
Светло-серая	1-2	Малогумусная, малоплодородная
Белесая	0,5-1	Очень малогумусная, очень малопродуктивная

Плодородие почвы можно также определить по продуктивности растений (методом биотестов). Для объективной оценки плодородия почвы надо использовать тесты с разными растениями (не менее трех).

Каждый тест проводится в трехкратной повторности. Тестовые объекты - семена пшеницы, овса, ячменя, гороха, вики, редиса и др.

Оборудование, материалы: пластмассовые или стеклянные стаканчики объемом 100-150 мл; стеклянные трубочки диаметром 0,8 см; фольга; образцы почвы, взятые в разных местах и сильно различающиеся по цвету; семена различных растений; промытый и прокаленный песок; образец высокогумусной почвы с известным процентным содержанием гумуса (например, 10 %).

Порядок выполнения работы

Образцы почв с разным содержанием гумуса рассматривают при разном освещении, сравнивают с эталонным образцом, определяют их категорию согласно табл. 3. Затем эти же образцы помещают в пластмассовые или стеклянные стаканчики в трехкратной повторности. Контроль - промытый и прокаленный речной песок.

Предварительно перпендикулярно дну каждого стаканчика вставляют стеклянную или пластмассовую трубочку, через которую производят полив почвы одинаковым для опытов и контроля количеством воды. Количество почвенных образцов в каждом сосуде - не менее 100-150 г. За 2-3 дня до опытов (сроки прорастания выясняют заранее) семена пшеницы и других культур замачивают на сутки в воде, затем раскладывают пинцетом зародышем вверх (в одном направлении) в кювету, на дно которой уложен слой гигроскопической ваты, а сверху - два слоя фильтровальной бумаги.

Систему увлажняют водопроводной водой до полной влагоемкости. Для этого надо налить воду под вату, а после ее впитывания слить избыток. Кювету накрывают пленкой, края ее подгибают под кювету, систему ставят в термостат.

Проращивание проводят при температуре 26-27 ° С до размера основной массы проростков 5-6 мм. Затем отбирают одинаковые проростки (по длине coleoptily), для чего их предварительно измеряют на кусочке миллиметровой бумаги, на которую положено предметное стекло.

Отобранные одинаковые проростки высаживают в стаканчики с почвой по 12-13 штук на одинаковую глубину, предварительно сделав палочкой небольшие углубления.

Через несколько дней (после приживания) проростки отбраковывают и оставляют 10 штук в стаканчике.

Почву поливают одинаковым количеством отстоянной водопроводной воды через трубочки. Воронки для налива воды делают из фольги. После того как проростки вырастут до размера 8-12 см, их осторожно выкапывают из почвы, отмывают водой и обсушивают фильтровальной бумагой. Затем измеряют длину трубчатого листа и корневой системы отдельно; можно их взвесить. Плодородие почвы определяют по высоте или массе проростков (по отношению к контролю, который принимается за 100 %). Для этого составляется шкала оценок.

Почва по плодородию делится на 5 условных категорий: 1) очень бедная, малоплодородная - песок (условная оценка - 100 %); 2) бедная, малогумусная, малоплодородная; 3) среднегумусная, среднеплодородная; 4) гумусная, плодородная; 5) очень плодородная для данной местности.

Образец описания результатов опыта. Средняя величина проростков на песке - 5 см (плодородие принимается за 100 %), а на очень плодородной почве - 10 см (плодородие принимается за 200 %). Промежуточные градации: при величине проростков 6, 7,5 и около 9 см плодородие принимается соответственно за 125, 150 и 175 %.

Лабораторная работа № 26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ЗАСОЛЕНИЮ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА

Цель работы: изучение засоления почв как экологического фактора развития растений.

Влияние таких солей на растения - мощный экологический фактор, сдерживающий их нормальный рост. В основном засоление почвы в той или иной степени вызывается следующими солями: $NaCl$, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ и др.

Оборудование, реактивы, материалы: большие пробирки или цилиндры на 100 мл; штативы к пробиркам; мерные пробирки или цилиндры; теххимические весы; разновесы; острая бритва; соли $NaCl$, Na_2CO_3 ; вода; веточки разных растений с 3-4 одинаковыми небольшими листьями (березы, тополя, яблони и др.).

Опыт 1 Опыт имитирует влияние солевых осадков на лист (или выпавшей росы на солевой покров листа), т. е. действие на лист раствора солей. Ветки разных видов древесных растений с одинаковым

числом листьев выравнивают путем взвешивания, затем погружают на 15 и 30 минут в 5- процентные растворы солей ($NaCl$, Na_2CO_3).

Контрольные ветви выдерживают в воде. Для опыта требуется не менее четырех веток каждого вида. После этого срезы быстро обновляют бритвой и ветви ставят в воду (одинаковое количество во всех опытах и контрольных вариантах).

Испарение воды из пробирок предотвращают изолированием фольгой. Через одну-две недели (на очередном занятии) производятся оценка состояния растений и измерение поглощенной воды.

Опыт 2 Опыт имитирует состояние растений и поглощение ими растворов из почв, засоление которых вызвано близко лежащими к поверхности засоленными грунтовыми водами.

Приготавливают серию растворов разных солей ($NaCl$, Na_2CO_3): 1-, 3-, 5-, 7-, 10-, 20-процентный. Наливают равное количество этих растворов в большие пробирки.

Контролем служит вода. Ветви растений взвешивают и уравнивают путем подрезания так же, как и в предыдущих опытах.

Сосуды изолируют от испарения воды фольгой. Результаты опыта записываются в виде таблицы.

Таблица

Растение	Формула соли	Процент соли в растворе						Процент от контроля (100 %)
		1	3	5	7	10	20	

Лабораторная работа № 27

РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВЫ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НЕКОТОРЫХ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Цель работы: изучение газообразных продуктов минерализации органических остатков (на примере аммиака и сероводорода).

Под влиянием фауны и микроорганизмов органические остатки, прежде всего, теряют анатомическое строение и в конечном итоге превращаются в аморфную массу. Затем процесс разложения распадается на две стадии - минерализацию и гумификацию.

Минерализация - образование из элементов-органогенов газообразных оксидов углерода, водорода, азота, серы, а также твердых оксидов, например, фосфора.

Гумификация - процесс образования гумуса. Гумус - сложная система органических соединений, состоящих из гумусовых веществ и веществ индивидуальной природы (аминокислот, белков, углеводов, липидов, органических кислот и др.).

Основными органическими веществами, входящими в состав поступивших в почву растительных остатков, являются в основном углеродсодержащие соединения (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнин, жиры и некоторые другие). Однако немалую роль играют и азотсодержащие соединения (белки, белки-ферменты, нуклеиновые и аденозинфосфорные кислоты), а также другие органические соединения.

Оборудование, реактивы, материалы: весы теххимические; термостат; пробирки; ватные пробки; химические стаканы; чашки Петри; NaHCO_3 ; 5-процентный раствор $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ или $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; реактив Сальковского; реактив Эрлиха; нингидриновый реактив; реактив Несслера; почва с высоким содержанием гумуса; свежие листья люпина или засушенные листья других бобовых; рыбная, мясная мука или кусочки мяса, рыбы (как имитация отмершей почвенной фауны).

Порядок выполнения работы Проследить разложение в почве зеленого удобрения, для чего наполнить химический стакан на 100 мл почвой и закопать в нее несколько кусочков зеленых стеблей и листьев многолетнего люпина, гороха, фасоли.

Можно использовать распаренные в воде сухие части бобовых растений летнего сбора. Закрыть стаканы крышкой от чашки Петри, поместить в термостат при температуре 25-30° С на одну-две недели, поддерживая нормальную влажность почвы в течение опыта (60 % от полной влагоемкости), не переувлажняя ее. Отфильтровать часть культурального раствора из пробирок, в которых происходило разложение животных белков.

Обратить внимание на образование плохо пахнущих продуктов (сероводород - запах тухлых яиц, индольные соединения и др.). Обнаружить образование аммиака добавлением к 1 мл культурального раствора 2-3 капель реактива Несслера.

Для этого удобно использовать часовое стекло, помещенное на лист белой бумаги, или фарфоровую чашку. Пожелтение раствора свидетельствует о наличии аммиака, образовавшегося при разрушении белков. Обнаружить наличие сероводорода по почернению свинцовой бумажки над раствором или при опускании ее в раствор. Накапать культуральный раствор на фильтровальную или хроматографическую бумагу микропипеткой с оттянутым носиком (10-20 капель в одну точку), подсушить над вентилятором, капнуть реактива Сальковского, Эрлиха или нингидринового реактива.

Подогреть над плиткой. Индольные соединения с реактивом Сальковского дают синее, красное, малиновое окрашивания в зависимости от состава индольного продукта (ауксин, индолилуксусная кислота дает красное окрашивание).

Реактив Эрлиха дает с индольными производными пурпурное окрашивание. Нингидриновый реактив - это реакция на аминокислоту триптофан (предшественник индольных ауксинов). При нагревании - синее окрашивание.

Извлечь из почвы кусочек мяса или рыбы вместе с почвой, прилегающей к кусочку, поместить в стаканчик, налить немного воды, поместить стеклянной палочкой, взболтать, отфильтровать. Определить в фильтрате аммиак, сероводород, индольные вещества вышеуказанными методами.

Сходные процессы происходят в почве при перегнивании отмерших почвенных животных. Извлечь из почвы полуразложившиеся стебли люпиновой зеленой массы, очистить от почвы и растереть с небольшим количеством воды. Отфильтровать 1-2 мл раствора и сделать пробу на аммонийный азот, освобождающийся при минерализации растительных белков (с реактивом Несслера).

Сходные процессы происходят в почве при загнивании зеленого удобрения или органических остатков в виде навоза, торфа, сапропеля и др. Определить наличие сероводорода, индольных веществ, триптофана.

Поместить на предметное стекло каплю культуральной жидкости из пробирки, где происходило разложение животного белка, и изучить ее под микроскопом.

Обнаруживаются многочисленные микроорганизмы, вызывающие разложение органических веществ. Часто они энергично движутся и червеобразно изгибаются.

Лабораторная работа № 28

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

По отношению к продолжительности освещения растения делятся на следующие группы:

- длиннопдневные - для полного развития требуют день, имеющий длину 13 - 14 часов. Если эти растения высадить не весной, а в конце лета, то они будут расти, но не вступать в фазу цветения и плодоношения (преимущественно северные виды).
- короткодневные - развиваются при длине дня в 8 - 10 часов, как правило выходцы с юга.
- нейтральные - безразличные к длине дня. Как правило, регулирующим фактором является длина темновой фазы. При ее увеличении растение начинает готовиться к переходу в период покоя (август, сентябрь). Предки этих растений, вероятно, часто мигрировали, в результате чего произошел сбой биоритмов.

Оборудование: емкости для выращивания растений (например, чашки Петри), почва, отстоявшаяся водопроводная вода, семена однолетних растений (кресс-салат, редис, овес), полупрозрачная пленка (или укрывной материал типа «Акрил» черного цвета), технические весы, линейки

Две чашки Петри заполните наполовину почвой, увлажните ее до состояния полного насыщения. На подготовленный грунт равномерно поместите по 10 семян исследуемого растения. Присыпьте семена почвой, после чего увлажните ее до состояния полного насыщения.

Одну группу растений выращивайте при нормальном освещении (контроль), другую - в условиях искусственного затемнения (для этого закройте емкость с семенами полупрозрачным материалом) (опыт). Ухаживайте за растениями одинаково.

По истечении 14 дней извлеките проростки из грунта, отметьте всхожесть семян, характер проростков, измерьте длину и массу растений. Сделайте соответствующие выводы.

Лабораторная работа № 29
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
НА ВСХОЖЕСТЬ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ
ПРОРОСТКОВ КРЕСС-САЛАТА

Кресс-салат- однолетнее зеленное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы тяжелыми металлами и поэтому использующееся в качестве специфического биоиндикатора.

Кресс-салат отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей. Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и искривление побегов; уменьшение длины и Части живых растений в горячей воде не вымачивают массы корней).

Стрессовая реакция популяции кресс-салата близка к прямо пропорциональной по отношению к степени воздействия: чем более загрязнена среда, тем всхожесть меньше, а число особей с морфологическими нарушениями больше.

Оборудование: чашки Петри, почва, отстоявшаяся водопроводная вода, семена кресс-салата, 1% растворы сульфатов свинца, меди (II), никеля, линейки

Наполните каждую из 4 чашек Петри одинаковым количеством почвы (приблизительно наполовину), смоченной 5 мл отстоянной водопроводной воды. В каждую чашку поместите по 13 семян исследуемого растения. Прибавьте в три чашки по 10 мл предложенных растворов солей. В четвертую чашку добавьте 10 мл дистиллированной воды, она будет служить контролем.

Оставьте чашки на 14 дней для прорастания семян. Учтите процент всхожести и длину корней в проростках в мм. Учитывать необходимо самые длинные корни в каждом из растений. По три проростка в каждой чашке с максимальными отклонениями не учитываются как случайные. Определите средние значения длины корней. Сравните полученные значения в опытных чашках с контрольными.

Определите индекс устойчивости растения к действию каждого из веществ по формуле:

$$L = \frac{L_i}{L_k} \times 100$$

где L_i , L_k - длина корня проростка при воздействии вещества и в контрольном опыте соответственно.

Полученные данные оформите в виде таблицы.

Вариант опыта	Всхожесть семян, %	Длина корня, мм	Индекс устойчивости
Контроль			
PbSO ₄			
CuSO ₄			
ZnSO ₄			

Сделайте соответствующие выводы о степени устойчивости проростков тест-объекта к химическим параметрам среды.

Оборудование: чашки Петри, пробы почвы, семена кресс-салата, отстоянная водопроводная вода, технические весы, линейки

Чашку Петри заполняют до половины исследуемым субстратом, увлажняют одним и тем же количеством отстоянной водопроводной воды до появления признаков насыщения.

В каждую чашку на поверхность субстрата укладывают по 20 семян кресс-салата. Расстояние между соседними семенами должно быть по возможности одинаковым. Покрывают семена теми же субстратами, насыпая их почти до краев чашек и аккуратно разравнивая поверхность. Увлажняют верхние слои субстратов до влажности нижних.

В течение 10-15 дней наблюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов примерно на одном уровне.

В зависимости от результатов опыта субстратам присваивают один из четырех уровней загрязнения.

1. Загрязнение отсутствует.

Всхожесть семян достигает 90-100%, всходы дружные, проростки крепкие, ровные. Эти признаки характерны для контроля, с которым следует сравнивать опытные образцы.

2. Слабое загрязнение.

Всхожесть 60-90%. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные.

3. Среднее загрязнение.

Всхожесть 20-60%. Проростки по сравнению с контролем короче и тоньше. Некоторые проростки имеют уродства.

4. Сильное загрязнение.

Всхожесть семян очень слабая (20%). Проростки мелкие и уродливые.

Кроме подсчета проростков и описания их внешнего вида необходимо определить среднюю длину (см) и массу (г) растений.

Полученные данные сводятся в таблицу.

Условия опыта	Показатели всхожести семян		Средняя длина растения, см	Средняя масса растения, г	Характер проростков	Степень загрязнения почвы
	шт.	%				

Лабораторная работа № 30

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПОЧВОЙ КАК ТЕСТ НА ПЛОТНОСТЬ ЕЕ ЗАСЕЛЕНИЯ ЖИВЫМИ ОРГАНИЗМАМИ

Почва, неподверженная загрязнению, густо населена живыми организмами - микробами, насекомыми, червями, грызунами-землероями.

В средней полосе России на один гектар поверхности почвы приходится от 12,5 миллионов до 2 миллиардов разных беспозвоночных животных, а в одном грамме почвы живет до 10 миллиардов микроорганизмов. Все это население дышит, поглощая кислород и выделяя углекислый газ.

Поэтому в почвенном воздухе кислорода содержится обычно меньше, чем в атмосферном, а углекислого газа - больше.

Таблица 12 - Содержание газов в воздухе различных сред

Воздух	O ₂ , %	CO ₂ , %
Атмосферный	21	0,034
Почвенный (верхние 15-30 см почвы)	11-21	0,034-8,0

Чем гуще заселена почва, тем больше в ней выделяется углекислого газа. Количественным показателем биологического разнообразия

почвенных систем служит скорость выделения организмами углекислого газа - масса CO_2 , выделяющегося с одного гектара в час (кг/га в час).

Чем больше эта скорость, тем биологически активнее почва, тем благополучнее она экологически.

Следовательно, чтобы оценить уровень биологической активности почвы, нужно непосредственно измерить количество CO_2 , которое выделяет почва или какой-либо другой субстрат, например донные отложения.

Оборудование: поддон или кювету большого размера, химические стаканы (для пробы почвы и раствора щелочи), стеклянный сосуд-изолятор, штатив, бюретка, воронка, растворы соляной кислоты, гидроксида натрия

На широкий поддон с небольшим (2-3 см) слоем воды помещают чашку со щелочью на подставке, а также химический стакан с исследуемым субстратом (почвой, илом водоема и др.). Затем устанавливают сосуд-изолятор так, чтобы его нижняя кромка была погружена в воду на поддоне. Через 1 час сосуд-изолятор снимают, а щелочь оттитровывают 0,05н раствором соляной кислоты.

Скорость выделения CO_2 из почвы определяют по формуле:

$$V = \frac{(a - b) \times 1,1}{S \times t \times 100}$$

где V - количество CO_2 , выделившееся из почвы, кг/га в час ;

a - количество 0,05н HCl , пошедшей на титрование исходного раствора щелочи, мл;

b - количество 0,05н HCl , пошедшей на титрование щелочи из чашки после экспонирования на почве, мл;

1,1 - масса CO_2 , эквивалентная массе HCl , содержащейся в 1 мл 0,05н раствора HCl , мг/мл ;

S - площадь почвы под сосудом-изолятором, м^2 ; t - экспозиция, час.

Экспериментальным путем было установлено, что добавление органических остатков типа листовного опада в донные отложения увеличивают биологическую активность почв и илов на 15-20%.

Лабораторная работа № 31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОГО «ДЫХАНИЯ»

«Дыхание» почвы – это процесс выделения углекислого газа, образующегося в результате окислительных процессов. Интенсивность выделения CO_2 почвы связана с дыханием мелких почвенных беспозвоночных животных, с дыханием корней растительности и особенно с активностью почвенных микроорганизмов и их ферментов. В этом особую роль играют иммобилизованные в почве ферменты. Таким образом, дыхание как интегральный показатель биохимической активности почв связан прежде всего с ферментативным разрушением органических соединений – продуктов жизнедеятельности.

Цель работы: определить интенсивность почвенного «дыхания» (выделения CO_2).

Оборудование и материалы: весы, сосуды с герметичной крышкой, стеклянные стаканчики, почва, 0,1 н NaOH, индикатор фенолфталеин, 0,1 н HCl.

Ход работы Метод основан на измерении количества CO_2 , выделившегося с единицы массы почвы за определенный промежуток времени. На весах берут навеску почвы 25 г и помещают ровным слоем на дне сосуда с герметичной крышкой.

Почву увлажняют до состояния 60 % от полной влагоемкости. На дно сосуда размещают стаканчик с 5 мл 0,1 н раствора NaOH (поглощающая щелочь).

Сосуд плотно закрывают и выдерживают 24 ч. Для определения количества CO_2 в воздухе сосуда-изолятора готовят «холостую» пробу. В пустой сосуд ставят стаканчик с 5 мл 0,1 н NaOH. Выдерживают в закрытом сосуде в течение 24 ч. По окончании времени экспозиции определить остатки щелочи в испытуемой и холостой пробах.

Для этого в содержимое чашек до- 74 бавляют 1-2 капли индикатора фенолфталеина и титруют из бюретки раствором 0,1 н HCl до исчезновения розовой окраски. Чем больше поглотилось углекислоты щелочью, тем меньше кислоты потребуется на титрование, так как часть щелочи уже будет нейтрализована углекислотой.

Интенсивность выделения CO_2 вычисляют по формуле

$$D = \frac{(A - B) \times 2,2 \times 100}{T \times m}$$

где D – интенсивность почвенного дыхания или количество CO_2 , выделившегося из почвы, мг/100 г почвы за 24 ч; A – количество 0,1 н HCl , пошедшей на титрование щелочи в холостой пробе, мл; B – количество 0,1 н HCl , пошедшей на титрование щелочи в испытуемой пробе, мл; T – время экспозиции, 24 ч, m – навеска почвы, г; 2,2 – пересчетный коэффициент, количество CO_2 , поглощаемое 1 мл 1 н NaOH , мг; 100 – коэффициент для пересчета результатов на 100 г почвы. Данные по интенсивности почвенного дыхания заносят в табл. 16. 75

Таблица 16 Интенсивность почвенного дыхания почв, мг/100 г за 24 ч

Почва	Горизонт, глубина, см	Интенсивность дыхания

Лабораторная работа № 32 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫХАНИЯ ПОЧВ

Интенсивность выделения углекислоты дает достоверную информацию о напряженности микробиально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв.

Определение углекислоты методом титрования – быстрый и достаточно простой способ исследовать биологические свойства почв в больших объемах, когда работа ставится на поток и необходимо получить репрезентативные данные.

Для определения потоков углекислоты предлагается следующий прибор, представляющий собой стеклянный цилиндрический сосуд ($d = 10$ см) емкостью 1,0–1,5 л с притертой крышкой. Шлиф крышки необходимо смазывать вакуумной мазью или вазелином. На внутренней стороне крышки находится крючок, к которому подвешивается сетчатая корзиночка или марлевый мешочек с дышащим материалом.

В крышке имеются два отверстия: одно для хлоркальциевой трубки, другое для наливания раствора барита. Последнее на время экспозиции закрывается каучуковой пробкой.

В хлоркальциевую трубку кладется слой стеклянной ваты, затем трубка заполняется поглотителем углекислоты – натронной известью,

которая снова покрывается слоем стеклянной ваты и закрывается пробкой со стеклянной трубочкой.

Поглотитель углекислоты в трубочке необходимо периодически возобновлять. Ход определения. Интенсивность дыхания определяется по следующей схеме: в сосуд приливается 25 мл 0,05 н. раствора барита и закрывается крышкой с подвешенным к ней дышащим материалом (почвой).

Время экспозиции необходимо определить экспериментально. В исследованиях было выявлено, что для городских почв, отобранных в июне–августе, время экспозиции составляло около 3 часов. Одновременно ставится контроль (аналогичный прибор, но уже без почвы, с 25 мл раствора барита) для учета углекислоты воздуха, находящегося в сосуде.

В течение опыта необходимо периодически встряхивать сосуды с целью разрушения образующейся пленки карбоната бария, мешающей дальнейшему поглощению углекислоты. По окончании опыта избыток гидрата окиси бария в присутствии 1–2 капель фенолфталеина оттитровывается 0,05 н. соляной кислотой.

Разница в мл HCl, пошедшей на титрование контроля и опыта, дает количество углекислоты, выделенной дышащим материалом. Интенсивность дыхания выражают в мг CO₂ на единицу веса, объема или площади испытуемого материала за 1 час. В качестве примера приведем результаты определения дыхания городских почв, расположенных по градиенту загрязнения в рекреационной зоне.

Метод полевой респирометрии хорошо зарекомендовал себя при проведении работ в области эколого-гигиенической оценки состояния почв, находящихся в условиях урбанизации, при проведении мониторинговых исследований урбосферы.

Лабораторная работа № 33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ УРЕАЗЫ

Одним из надежных индикаторов состояния почв является активность уреазы. Это фермент, играющий важную роль в превращении азотсодержащих соединений, его активность определяет важные этапы превращения азотсодержащих веществ в почве.

В условиях антропогенного пресса возможно изменение активности данного фермента. В результате может произойти нарушение одной из главных функций почв – поддержание экологического равновесия всей урбоэкосистемы.

В этой связи необходимо исследование активности данного фермента. Существует достаточно много методик, которые позволяют оценить активность уреазы в почве.

В данной работе рассматриваем метод, который хорошо зарекомендовал себя при проведении комплексных исследований, когда необходимо провести исследование большого объема почвенных образцов и ставится задача оценки трансформации азотсодержащих соединений в антропогенно нарушенных почвах.

Экспресс-метод определения уреазы позволяет быстро определить биохимический потенциал почв, оценить их самоочищающую способность. Для постановки опыта необходимы следующие приборы и оборудование: весы технические, чашки Петри (диаметр ≈ 10 см), индикаторная бумага, мочевины, часы.

Ход определения. К внутренней поверхности крышки чашки Петри прикрепляется полоска фильтровальной бумаги, пропитанная раствором универсального индикатора. Влажная бумага прочно прикрепляется к стеклу и удерживается долгое время.

В чашку Петри помещается навеска почвы массой 50 г. Затем добавляется мочевины (0,25 или 0,5 г), предварительно растворенная в небольшом количестве воды. Почва и мочевины тщательно перемешиваются, затем увлажняются дистиллированной водой до пастообразного состояния и равномерно распределяются по дну чашки. Чашку закрывают крышкой.

Разложение мочевины сопровождается образованием летучей щелочи – аммиака, поэтому воздушная среда над почвой приобретет щелочную реакцию и цвет индикаторной бумажки изменится в зависимости от интенсивности происходящих в почве процессов.

В этой связи между поверхностью почвы и крышкой чашки должно оставаться небольшое воздушное пространство, в котором и будет происходить реакция.

Время экспозиции чашек зависит от биологической активности почв и находится экспериментально. Как показали наши исследования,

для городских почв, отобранных в июне –августе, оптимальным считается время экспозиции 2–3 часа, в более холодное время года – до 4 часов.

В качестве контроля использовали чашки без почвы, содержащие растворенную в дистиллированной воде мочевины и снабженные прикрепленными к крышкам индикаторными полосками. Полученные данные заносятся в таблицу

Изменение биологической активности почв
Образец почв
Время экспозиции
Изменение рН индикаторной полоски
1 час 6,5 1,5 часа 7,6
Почва, отобранная на свалке отходов завода «Тяжбуммаш» в г. Петрозаводске 2,0 часа 7,6
Время (1,5 часа), при котором установилось определенное значение рН (7,6) по индикаторной бумажке, соответствует разложению карбамида до аммиака и является показателем биологической активности почв.

В зависимости от целей и объектов исследования условия проведения анализов можно варьировать (например, изменить условия влажности почв, величину навески, время экспозиции)

Лабораторная работа № 34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Активность работы ферментов определяется многими факторами: температурой, рН почв, наличием субстрата, присутствием ингибиторов/активаторов их работы в среде, гетерогенностью почв и пр. На фоне антропогенного фактора возможно изменение физикохимических свойств почв, нарушение работы ферментных комплексов. В этой связи является актуальным исследование активности ферментов в почвах, находящихся в условиях урбанизации

Каталаза относится к классу оксидоредуктаз. Каталаза (от греч. «katalio» – разрушаю) катализирует окислительно-восстановительную реакцию, в ходе которой из двух молекул ядовитой для организма перекиси водорода образуется вода и кислород: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Молекула каталазы имеет каталитически активную четвертичную структуру и в результате даже при незначительных изменениях во внешней среде легко диссоциирует с полной потерей активности.

Активность каталазы в почве в большей степени зависит от воздушного режима, гранулометрического состава почв, окислительно-восстановительного потенциала.

Изменение свойств почв на фоне урбанистического пресса оказывает влияние на активность каталазы, изменение которой можно обнаружить предлагаемым газометрическим методом, широко распространенным в почвоведении.

Для определения активности каталазы требуются реактивы: 1) CaCO_3 , 2) 3% раствор H_2O_2 , 3) 5% раствор H_2SO_4 . Для определения каталазной активности собирают газометрический прибор. Две бюретки (1, 2) с помощью резинового шланга соединяют через тройник с уровнительной грушевидной воронкой (3). Уровень раствора серной кислоты в бюретках и груше уравнивают, опуская или поднимая грушу, последнюю закрепляют на определенной высоте.

Затем закрывают тройник таким образом, чтобы устранить сообщение прибора с внешней средой. Каталазник (4) соединяется с одной из бюреток через специальный зажим. Каталазник собирают по следующей схеме.

В резиновую пробку (1) колбы Эрленмейера на 100 мл с диаметром горлышка 30 мм монтируют пробирку (2) высотой 150 мм, диаметром 10–12 мм, с отверстием 10–12 мм на высоте 45–50 мм. Нижний край отверстия оттянут на 3–4 мм в виде носика. Верхнюю часть пробирки закрывают резиновой пробкой со стеклянной трубкой диаметром 4–5 мм (3), которую соединяют через резиновый шланг с бюреткой газометра, заполненного 5%-ной серной кислотой.

Ход определения. Определение каталазной активности проводят следующим образом: в каталазник помещают 0,5 г углекислотного кальция, 1 г почвы, вносят стержень магнитной мешалки. В пробирку каталазника через боковое отверстие наливают 5 мл 3% перекиси водорода и пробирку с пробкой плотно вставляют в горлышко колбы.

С помощью грушевидной воронки устанавливают уровень раствора серной кислоты в бюретке (2) на нуле. Зажимом Мора закрывают свободное отверстие тройника (5) на бюретке. Затем, наклоня каталазник, сливают перекись водорода из пробирки и колбу ставят на магнитную мешалку (6). Засекают время начала реакции.

Объем газа измеряют через 1 или 5 минут. Активность каталазы выражают в миллилитрах O_2 за 1 или 5 мин. на 1 г почвы. Результаты показали, что активность каталазы в почвах Петрозаводска очень высокая и составляет до 28 мл O_2 /1 мин./ 1 г почвы.

Это свидетельствует о напряженности микробиальнобиохимических процессов, скорости превращения органо-минеральных соединений. Информативность и чувствительность данного показателя позволяет его использовать в урбоэкологическом мониторинге почв.

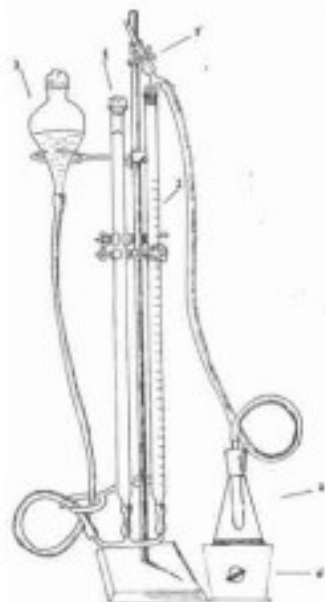


Рис. 4, А. Схема прибора для определения активности каталазы:

- 1, 2 – бюретка;
- 3 – грушевидная воронка;
- 4 – каталазник;
- 5 – зажим Мора;
- 6 – магнитная мешалка

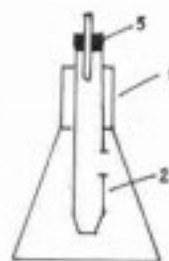


Рис. 4, Б. Схема каталазника:

- 1 – резиновая пробка колбы;
- 2 – пробирка;
- 3 – резиновая пробка пробирки

Лабораторная работа № 35 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Общие положения. Методов определения биологической активности почв достаточно много, так как спектр задач, стоящих перед исследователем, также обширный. Однако многие методы дают информацию на данный момент исследования и не раскрывают специфику функционирования микробиоты в пространстве и во времени.

Этого недостатка лишены аппликационные методы диагностики почв, позволяющие учитывать консциляционное влияние антропогенной среды, проследить состояние живой компоненты почв на определенном отрезке времени.

Определение целлюлозолитической способности почв методом аппликации дает ценную информацию о превращении лабильной

фракции органического вещества, круговороте углерода, активности целлюлозолитического комплекса.

Ход определения. Чистые обезжиренные стеклышки (8 x 10 см) обшивают с двух сторон чистой льняной тканью (шелковыми нитками). Масса ткани, которая пришивается на стекло, заранее установлена. На один участок рекомендуется подготовить не менее 9 стекол, обшитых тканью. Стекла, предназначенные для каждого участка, заворачиваются в крафтовую бумагу и стерилизуются.

Начиная с поверхности, проделывают ножом или лопатой вертикальные щели в почве на глубину 10 см и вставляют подготовленные стекла. Если планируются исследования более глубоких слоев, то рядом с предыдущими в почве делаются щели на нужную глубину. В полевом журнале записывается исходная масса ткани, время закладки стекол, количество их на одной пробной площади.

Как показала практика, смена фитоценоза в парках города происходит достаточно быстро, в отличие от лесных сообществ. Поэтому, чтобы обнаружить все стекла, закопанные в почву, прежде чем выполнять модельный эксперимент, необходимо выявить ориентиры (старое дерево, большой камень, расположение относительно тропинки и пр.), а также установить колышки.

Один конец колышка лучше закрасить белой краской, можно также воспользоваться обычными карандашами или ручками. Это позволит точно определить место закладки стекол даже спустя 6 месяцев после постановки эксперимента. Съемку опыта по разложению льняного полотна производят в зависимости от целей работы. Наши исследования показали, что скорость минерализации ткани в почвах г. Петрозаводска очень высокая: 100% разложение ткани отмечали в течение июня–августа.

По окончании эксперимента стекла осторожно извлекают из почвы, помещают в полиэтиленовый мешок. В лаборатории ткань отмывают от почвы и продуктов полураспада, подсушивают и взвешивают. Если стекол много, то ткань можно поместить в бюкс, обязательно записав номер бюкса в тетрадь. По убыванию массы судят об интенсивности процесса разрушения целлюлозы.

Шкала интенсивности разрушения целлюлозы (%) за вегетационный сезон: < 10 очень слабая 10–30 слабая 30–50 средняя 50–80 сильная > 80 очень сильная

Полученные данные можно представить в виде таблицы или рисунка, в последнем случае достаточно иллюстративно можно показать изменение целлюлозолитической способности изучаемых почв на фоне урбанистического пресса

Лабораторная работа № 36

ТЕСТ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ ИЛИ ПОЧВЫ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТЕНИЙ

В связи с развитием работ по биоиндикации компонентов биocenозов актуальными стали вопросы о комплексном тестировании загрязнения и поиск быстрых тест-систем. Настоящая работа позволяет использовать реакцию растений на ионы тяжелых металлов (например, меди, свинца, тория, кобальта, цинка, бария и др.) в качестве биотеста.

Ионы металлов необратимо связываются с SH-группами остатков цистеина, поэтому нарушается каталитическая активность ферментов. Они ингибируют их с образованием меркантидов: $E - SH + Cu^{2+} = E - S - Cu + H^+$. То есть возникает неконкурентное ингибирование, в результате чего клетка погибает.

Цель работы: изучить загрязнение воды, почвы ионами тяжелых металлов с использованием растений.

Материалы и оборудование: центрифужные пробирки; растворы солей металлов разной концентрации; листья элодеи или другого растения; бумажные фильтры; вакуумный насос; чашки Петри; центрифуга; лампа дневного света.

Ход работы. Проведение инфильтрации. Отработку теста можно осуществлять в модельных опытах в лабораторных условиях. Введение меди (равно как и ионов других металлов: свинца, тория и др.) в растительные ткани в эксперименте можно осуществлять методом инфильтрации, т.е. введением растворов, содержащих ионы, в межклетники тканей листа.

Ниже приведено описание работы с ионами меди. Для других ионов работа проводится по той же схеме. В центрифужные пробирки с растворами $CuSO_4$ (концентрации катиона 0,001; 0,01; 0,025) поместите по 10-15 неповрежденных листьев элодеи или другого растения. В качестве контроля используйте вариант с дистиллированной водой. Центрифугируйте 10 минут при 5000 об./мин, затем резко остановите центрифугу. Проведение теста.

Инфильтрованные листья поместите в чашки Петри на смоченные дистиллированной водой бумажные фильтры, прикройте крышками и поставьте под лампу дневного света или на освещенное окно. Наблюдения проводите через 15, 30, 60, 120 минут после выдерживания инфильтрованных листьев на свету.

Действие ионов металлов должно проявляться в гибели клеток. Живые клетки очень ограничивают проницаемость внутрь органических веществ и, помещенные в раствор красителя, практически не окрашиваются.

В мертвые клетки краска проникает свободно, благодаря чему их можно сразу обнаружить и учесть. Для окрашивания используйте краситель сафранин (0,25 г сафранина в 100 мл 10%-ного спирта), поскольку он обладает способностью хорошо окрашивать стенки клеток. Образцы выдержите в красителе 3-5 минут.

За показатель токсичности поллютантов (ионов металлов) примите количество окрашенных клеток в процентном отношении к общей площади листа или его поперечного среза. Результаты представьте в виде графика. Кривые постройте для каждой концентрации ионов поллютанта.

Сделайте выводы

Лабораторная работа № 37

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ВЫМОКАНИЮ

Наибольшая чувствительность растений к избытку влаги проявляется на ранних этапах их развития, в период от набухания семян до прорастания. Поэтому оценить устойчивость к вымоканию можно по прорастанию семян в условиях избыточного увлажнения.

Цель работы: изучить устойчивость растений к вымоканию.

Материалы и оборудование: семена различных растений; кюветы; растильни; шкаф для проращивания семян.

Ход работы. Семена погрузите в кюветы, наполненные водой на 3-4 см, при температуре 22-24 С. На пятые сутки семена поместите в растильни для проращивания. Через 6-7 суток подсчитайте нормально развившиеся проростки. Результаты опыта запишите по следующей схеме.

Таблица

Вариант	Кол-во про- росших семян, %	Выводы
1		
2		

На основе полученных данных сделайте выводы

Лабораторная работа № 38 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Биологическая активность почвы выражается суммарным проявлением активности биохимических процессов и характеризует размеры и направление превращения веществ и энергии в почве, происходящего под действием живых организмов.

Показатели биологической активности почвы могут быть использованы при тестировании состояния почв. При загрязнении почв небольшими количествами органических соединений может наблюдаться возрастание некоторых показателей биологической активности, так как более интенсивно развиваются группы микроорганизмов, участвующих в переработке дополнительных субстратов (фенолов, углеводородов).

При загрязнениях тяжелыми металлами, оксидами серы, большими количествами различных органических веществ преобладает токсический эффект, вследствие чего биологическая активность подавляется. В качестве показателей активности, характеризующих экологическое состояние почвы, в литературе чаще всего рекомендуются следующие: выделение почвами диоксида углерода (дыхание почвы), активность ферментов, токсичность почв по отношению к тестовым организмам, различные аппликационные методы.

Интегральной характеристикой напряженности микробиологических процессов является скорость выделения углекислого газа. В большинстве случаев чем она выше, тем лучше экологическое состояние почвы.

В оптимальных условиях скорость выделения углекислого газа может достигать нескольких кг/га в час. Так как интенсивность дыхания почвы является исключительно переменной величиной и зависит

от большого количества факторов (температурного режима, влажности, состояния фитоценоза и др.), для оценки экологического влияния загрязнений необходимо проводить сравнение данных, полученных на различных участках в близких условиях.

Цель работы: изучить биологическую активность почв по интенсивности дыхания почвы.

Материалы и оборудование: сосуд-изолятор; 0,1 н. раствор КОН; 0,05 н. раствор КОН; фенолфталеин.

Ход работы. Определение дыхания почвы этим методом заключается в том, что поверхность почвы изолируют от окружающего воздуха сосудом, под которым помещают чашку с 2 мл 0,1 н. раствора КОН для поглощения углекислого газа. Через определенное время (0,5 - 1 час) сосуд-изолятор снимают, щелочь оттитровывают 0,05 н. раствором КОН по фенолфталеину до обесцвечивания.

Одновременно делают контрольные измерения (изолятор и щелочь ставят не на почву, а в какой-либо плоскодонный сосуд и также изолируют от воздуха). По разнице титрования определяют количество выделившегося из почвы углекислого газа. Расчет проводят по формуле:

$$F = \frac{1,1 \cdot (a - b) \cdot 100}{S \cdot t},$$

где:

где **F** - скорость выделения углекислого газа из почвы, кг/га в час; **a** - объем 0,05 н. HCl, пошедший на титрование щелочи при определении содержания углекислого газа в воздухе контрольного сосуда, мл; **b** - объем 0,05 н. HCl, пошедший на титрование щелочи при определении содержания углекислого газа в воздухе сосуда-изолятора на почве, мл; 1,1 - масса углекислого газа, эквивалентная 1 мл 0,05 н. раствора кислоты, мг; 100 - пересчетный коэффициент (1 мг/см² = 100 кг/га); 115 **S** - площадь почвы под сосудом-изолятором, см²; **T** - время экспозиции, час.

Лабораторная работа № 39

ИЗУЧЕНИЕ ФИТОНЦИДНЫХ СВОЙСТВ КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ МЕТОДОМ БИОТЕСТА

Одним из важных факторов взаимодействия между растениями всех уровней сложности, включая микроорганизмы, в биоценозе являются биохимические взаимодействия. Молиш, создавая этот термин,

понимал под аллелопатией как вредные, так и благоприятные биохимические взаимодействия.

Одним из важных факторов аллелопатического взаимодействия растений с другими организмами в биоценозах являются фитонциды. Фитонцидами по Б.П.Токину называют летучие растворимые в воде продукты обмена веществ растений, вредные и губительные для других организмов. Фитонциды выделяют все растения, как механически поврежденные, так и целые. По химическому составу это соединения самой разной природы: альдегиды, хиноны, синильная кислота, глюкозиды и т.д. Фитонцидную активность чаще всего определяют с помощью биологических тестов.

Цель работы: изучить фитонцидные свойства разных растений с использованием в качестве биотеста простейших и микроорганизмов.

Материалы и оборудование: культура парамеции (*Paramecium caelatum* L.) или других простейших; предметные стекла; секундомеры; различные виды комнатных растений; чашки Петри с твердой питательной средой; микроскопы; препаровальные иглы.

Ход работы. 1. Висячую каплю культуры простейших на предметных стеклах рассмотрите в микроскоп, наблюдайте активность движения простейших. После этого рядом с каплей поместите кашицу листьев комнатных растений и по секундомеру отметьте время прекращения движения протистов.

Фитонцидную активность (А), рассчитанную по формуле: $A = T$, выражают в единицах, где Т - время, отсчитанное по секундомеру в опыте, мин. Отметьте картины гибели парамеций с разными фитонцидами (лизис, образование вздутий, пузырей, сморщивание, простое прекращение движения и т.д.).

Полученные данные занесите в таблицу.

Таблица

Влияние фитонцидов разных растений на жизнеспособность простейших

Вариант (вид растений)	Фитонцидная активность А	Картина гибели простейших

На основе полученных данных сделайте выводы о фитонцидной активности используемых растений.

Изучение фитонцидных свойств растений методом микробиологического теста

Возьмите чашки Петри с твердой питательной средой. Сделайте засев микрофлоры воздуха методом огаровых пластинок. Для этого откройте крышки и выдержите их в течение 5-10 минут.

На поверхность чашек осядут клетки микроорганизмов и споры грибов, каждая из которых даст колонию. На крышку чашки Петри нанесите кашицу из листьев растений (опытные), контрольные остаются без листьев. Повторность опыта трехкратная. Через неделю просмотрите чашки Петри и сделайте подсчет клеток микроорганизмов и грибов на поверхности среды.

Пересчитайте число клеток на 1 дм² поверхности среды. Для этого определите S чашки Петри по формуле: $s = \pi r^2$, где s - площадь чашки в дм², π - 3,14, r - радиус чашки. Просчитайте общее число колоний, клеток грибов, микроорганизмов. Занесите данные в таблицу, сделайте выводы.

таблица

Изучение фитонцидных свойств растений методом микробиологических тестов

Вариант	Общее число клеток	Общее число клеток грибов	Общее число клеток микроорганизмов	% грибов к общему числу клеток	% микроорганизмов к общему числу клеток
Контроль без листьев					
Опыт вид растения					

Лабораторная работа № 40 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБОВ-АНТАГОНИСТОВ И ИХ БАКТЕРИОСТАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Почвенные микроорганизмы выделяют в окружающую среду различные метаболиты, которые оказывают определенное влияние на жизнь других обитателей почвы, на растения, а через них - на организмы животных и человека.

К таким веществам относятся антибиотики, витамины, гибберелины, токсины, ферменты и др. Эти вещества могут благоприятно действовать на других обитателей почвы, вызывая усиление их роста и активности. Такие взаимоотношения называются *симбиозом*.

Иногда же продукты жизнедеятельности одного микроба (или группы микробов) препятствуют развитию другого микроорганизма (бактериостатическое действие). Это явление называется *антагонизмом*. Явление антагонизма рассматривается как одна из форм борьбы за существование среди микроорганизмов. Антагонистическими свойствами обладают представители всех групп микроскопических существ, обитающих в почве (бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли, простейшие). Однако чаще всего эти свойства проявляются у бактерий, актиномицетов и грибов.

Изучение продуктов метаболизма микробов-антагонистов позволило получить большое количество антимикробных препаратов, называемых *антибиотиками*. Помимо антибиотиков микроорганизмы выделяют в окружающую среду (чаще всего в почву) другие продукты обмена, например, органические кислоты, спирты и тому подобные вещества. Многие из этих соединений могут оказывать токсическое действие на некоторые группы микроорганизмов или даже на высшие растения.

Определение микробов-антагонистов

Цель работы: изучение микробов-антагонистов.

Оборудование и материалы: навески почвы по 1 г, 6 пробирок с 9 мл стерильной дистиллированной воды, пробирки с культурой тест-микробов *Bac. typhoides*, чашки с ростом *Bac. mesentericus* и других антагонистов (3-5 культур), чашка с почвой для изготовления пасты, резиновый пестик или перчатка, колба с 50 мл стерильной воды, стерильные чашки Петри (по 1 на студента), чашки со стерильными средами: Эшби, МП, стерильные целлофановые кружочки, стерильные пробочные сверла (диаметр 8 и 20 мм), пинцеты, скальпели, бактериологические петли.

Ход работы.

1. Произведите посев из почвенной суспензии или комочками почвы для выделения микробов-антагонистов.
2. Определите антагонистическую активность микробов а) методом перпендикулярных штрихов; б) методом агаровых блочков; в)

методом центрального блочка.

3. Определите токсичность почвы к азотобактеру.
2. Выделение антагонистов из почвы.
4. На чашки Петри с мясо-пептонным или бобово-пептонным агаром высейте тест-микроба сплошным «газоном».
5. Чашки поместите в термостат при температуре 26-28 С.
6. Через 1-2 суток на поверхность чашки с тест-микробом нанесите с бактериологической петлей 10-20 капель из почвенной суспензии.
7. Чашки поместите в термостат.
8. Через 1-2 суток на месте нанесения капель развиваются колонии микробов, содержащихся в почве.
3. Если в почве содержатся микробы-антагонисты, то они в процессе своего развития будут задерживать рост или вызывать гибель тест-бактерий. Вокруг таких колоний появится зона, свободная от тестмикробов. Из этих колоний или зон в дальнейшем выделяют чистую культуру антагонистов.
9. На чашку Петри с заранее засеянным тест-микробом разложите небольшие (с просяное зерно) комочки почвы.
10. Чашки поместите в термостат.
11. Через 1-2 суток (а иногда и более) просмотрите чашки.
12. Отметьте комочки, вокруг которых образовались зоны задержки роста тест-организма.
13. Из этих участков выделите чистые культуры антагонистов и подверните их дальнейшему изучению.
14. На основе полученных наблюдений сделайте описание полученных результатов и выводы.
4. Изучение активности микробов-антагонистов
5. *Цель работы:* изучение активности микробов-антагонистов методом перпендикулярных штрихов.
6. *Ход работы.*
 1. На поверхность стерильного мясо-пептонного агара в чашке Петри высейте суточную бульонную культуру микроба-антагониста, например, *Bac. mesentericus*. Посев сделайте широкой полосой по центру чашки.
 2. Чашки поместите в термостат на 1-2 суток.

7. За это время бактерии хорошо разовьются, а образуемое ими антибиотическое вещество продиффундирует в толщу агара.
3. После того как микробы хорошо разовьются, перпендикулярно первичному посеву подсейте параллельными штрихами бактериологической петлей различные тест-организмы. Для этих целей можно использовать чистую культуру *Bac.mycoides*, *Sarcina Lutea* и *Staphylococcus aureus*.
4. Чашки поместите в термостат при температуре 26-28 С на 20-24 ч. Если изучаемый микроорганизм выделяет вещество, оказывающее антимикробное действие в отношении тест-микробов, то последние будут расти вдали от штриха антагониста. Нечувствительные микробы будут развиваться в непосредственной близости от штриха изучаемого антагониста. Проведите наблюдения, зарисуйте картину расположения микробных ассоциаций. Сделайте выводы.
8. Определение токсичности почвы к азотобактеру
9. Азотобактер осуществляет процесс фиксации азота, является свободно живущим микроорганизмом. *Цель работы:* изучить токсичность различных видов почв к азотобактеру. *Ход работы.* На свежеприготовленную агаровую среду Эшби, разлитую в стерильные чашки Петри, положите стерильные целлофановые пластинки, которые приготовьте заранее. Целлофан нарежьте по размеру чашек, смочите водой, поместите по несколько листочков в чашку и простерилизуйте в автоклаве. 93 На поверхность целлофана наложите испытываемую почву, предварительно увлажненную до пастообразного состояния. На одну чашку можно поместить 4-6 аппликаций различных образцов почвы, диаметром по 1-1,5 см. Снизу на стекле отметьте карандашом или тушью размеры и место почвенных аппликаций. Чашки поместите в термостат при температуре 28 С и выдержите с течение суток. За это время токсические вещества диффундируют через целлофан в питательную среду. Эта часть работы может выполняться заранее сотрудниками кафедры. Через сутки целлофан снимите, а среду засейте сплошным «газоном» культурой *Azotobacter chroococcum*. Если образцы почвы содержат токсические вещества в отношении азотобактера, то на газоне образуются стериль-

ные безмикробные зоны. По результатам проведенных исследований сделайте анализ, зарисуйте вид газона, результаты занесите в таблицу, сделайте выводы.

Таблица

Изучение токсичности разных видов почвы к азотобактеру

Вариант почвы	Образование стерильных зон (+)

Аммонификация белка

Процесс разложения органических азотсодержащих веществ с выделением аммиака носит название аммонификации. Аммонификацию ведут различные микроорганизмы: бактерии, грибы, актиномицеты (редуценты).

Процесс идет в аэробных и анаэробных условиях. Данный процесс выполняет функцию возвращения минеральных азотных соединений в среду для растений (продуценты), что обеспечивает непрерывность круговоротов. Аммонификация белка начинается с гидролиза белка под влиянием протеолитических ферментов, выделяемых микроорганизмами, с образованием последовательно пептонов, полипептидов, дипептидов и аминокислот.

Далее аминокислоты путем дезаминирования разрушаются с образованием аммиака и разнообразных органических соединений в соответствии с характером аминокислот и окружающих условий среды. Продукты промежуточного распада аминокислот могут быть ассимилированы клетками микроорганизмов или разрушены ими дальше. Основными конечными продуктами аэробной минерализации белка являются аммиак, углекислый газ, вода, соли серной и фосфорной кислот.

В анаэробных условиях промежуточные продукты распада аминокислот полностью не минерализуются. Поэтому при разрушении белка в анаэробных условиях, помимо аммиака и углекислого газа, накапливаются различные органические соединения: органические кислоты, спирты; сероводород и его производные - меркаптаны; токсические соединения - диамины и птомаины (в частности, кадаверин, компонент трупного яда); дурно пахнущие продукты - индол и скатол.

Цель работы: изучение процесса разложения органических азотсодержащих соединений.

Материалы и оборудование: весы; разновесы; колба объемом 100-150 мл; стерильная дистиллированная вода; микробиологическая петля; пинцет; скальпель; предметные стекла; целлофан; резиновые колечки; чашки Петри; красная лакмусовая бумага; полоски фильтровальной бумаги, пропитанные 10%-ным раствором 59 ацетата свинца; водный раствор фуксина или генцианвиолета; микроскоп; пробирки с МПБ, МПА и средой Мишустина.

Ход работы. Получение накопительной культуры аммонификаторов-аэробов. Аммонификаторы-аэробы обычно выделяются на пластинках МПА в чашках Петри. Однако следует иметь в виду, что на МПА, помимо аммонифицирующих бактерий, могут выделяться и другие микроорганизмы.

Для заражения питательной среды в колбе объемом 250 мл приготовьте почвенную суспензию: 10 г почвы на 90 мл стерильной дистиллированной воды. Пробирки с МПА разогрейте на водяной бане, охладите до температуры 40-50 С и заразите почвенной болтушкой, перенося одну петлю взвеси из колбы в пробирку с МПА. Содержимое пробирки перемешайте вращением ее между ладонями и вылейте в стерильную чашку Петри.

Засеянные чашки Петри поместите в термостат при температуре 25-28 С. Через 3-4 суток на поверхности МПА в чашках Петри развиваются колонии микроорганизмов. Наиболее характерные из развившихся колоний опишите и микроскопируйте. На пластинках МПА преимущественно развиваются колонии бацилл. *Bac. subtilis* - подвижная палочка, одиночная или соединенная в длинные цепочки, размером 3-5 мкм.

Споры овальные, располагаются центрально. Колонии на МПА сухие, морщинистые, срастающиеся с агаром. *Bac. subtilis var mesentericus* - подвижная палочка размером 3-10 мкм, часто соединенная в цепочки. Споры овальные, расположены центрально. Колонии на МПА тонкие, сухие, морщинистые, не срастаются с субстратом. *Bac. cereus* - подвижная толстая палочка, нередко соединенная в цепочки, размером 3-5 мкм.

Споры овальные, расположены центрально. Колонии на МПА толстые, со складчатым центром и ризоидными волнистыми краями. *Bac. cereus var mycoides* - подвижная палочка, одиночная или соединенная в цепочки, размером 5-10 мкм. Споры овальные, расположены

центрально. Колонии на МПА плоские ризоидные, стелющиеся по поверхности агара. 60 Помимо бацилл на пластинках МПА развиваются колонии бактерий, преимущественно *Pseudomonas fluorescens* - мелкая, подвижная палочка размером 1-2 мкм.

Культура образует зеленовато-желтый флуоресцирующий пигмент. На МПА колонии часто бесцветные, выпуклые, блестящие; *Proteus vulgaris* - клетки отличаются большой полиморфностью, в молодых культурах клетки мелкие, размером 1-3 мкм, подвижные, позднее появляются нитевидные формы длиной 10-20 мкм. Колонии стелются по поверхности агара тонким, едва заметным налетом; *Achromobacter prodigiosum* - мелкая, подвижная палочка, близкая по форме к кокку, размером 0,6-1,0 мкм.

Колонии на МПА гладкие или зернистые, ярко-красные, с металлическим блеском. Для выделения исключительно спорообразующих аммонифицирующих бактерий почвенную болтушку предварительно перед высевом пастеризуйте на водяной бане 10 мин при температуре 80 С. При этом вегетативные клетки бактерий погибают, споры сохраняются жизнеспособными. Высев из почвенной болтушки проведите на среду Мишустина (смесь МПА с СА в отношении 1:1) в чашки Петри, как указано выше, для выделения аммонификаторов-аэробов.

На среде Мишустина по культурным и частично по морфологическим признакам удастся дифференцировать ряд бацилл на виды. При проведении микробиологического анализа почвы изучению споровых форм бактерий уделяется особое внимание, так как каждый тип почвы характеризуется своей специфичной бациллярной микрофлорой. Спорообразующим формам бактерий отводится ведущая роль в превращении сложных органических веществ в почве, не разлагающихся под воздействием неспороносных бактерий.

Количество споровых форм бактерий в почве является, по Мишустину, показателем глубины трансформации органических веществ, а следовательно, и плодородия почвы. **Получение накопительной культуры аммонификаторов-анаэробов.** Аммонификаторы анаэробы легко выделяются на мясном бульоне с добавлением 2%-ного пептона, оптимальная рН среды 7-8.

Среду налейте высоким слоем в большие пробирки, закройте плотно ватными пробками и простерилизуйте в автоклаве. 61 Среду зарадите комочком почвы. Для обнаружения выделяющегося аммиака под пробку пробирки подвесьте полоску красной лакмусовой бумаги, а для обнаружения сероводорода - полоску фильтровальной бумаги, смоченную 10%-ным раствором уксуснокислого свинца. Полоски бумаги не должны касаться жидкости в пробирке.

Для герметичности пробирку плотно закройте целлофановым колпачком, закрепляя его резиновым колечком. Зараженные пробирки поместите в термостат при температуре 25-28 С. Через 3-5 суток определите продукты аммонификации белка.

Выделение аммиака обнаруживается посинением красной лакмусовой бумаги, выделение сероводорода - почернением бумаги, смоченной уксуснокислым свинцом. Из нижних слоев жидкости приготовьте накопительный мазок, окрасьте его фуксином или генцианвиолетом и микроскопируйте.

На препаратах преимущественно выделяются бактерии: *Clostridium paraputrificum* - подвижная палочка, одиночная или соединенная в цепочки, размером 7-9 мкм. Спора расположена терминально на одном из концов клетки.

Встречается в гниющих трупах, навозе, пищевых продуктах; *Clostridium bifermentans* - подвижная палочка, одиночная или соединенная в цепочку, размером 3-5 мкм. Спора расположена эксцентрично. При разложении белка образуется большое количество сероводорода.

Лабораторная работа № 41

СРАВНЕНИЕ ЖИЗНЕННОЙ ФОРМЫ ОДНОГО ВИДА РАСТЕНИЯ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Материал: гербарные образцы одуванчика лекарственного - *Taraxacum officinale* Web. из разных биотопов: придорожных участков с уплотненной почвой (стержнекорневые растения) и затененных участков с рыхлой почвой (корнеотпрысковые растения); луговика дернистого - *Deschampsia cespitose* из открытых, освещенных и затененных местообитаний (рыхлодерновинные и столонообразующие растения).

Ход работы. Сравните растения одного вида из разных биотопов. Зарисуйте общую схему строения надземной и подземной частей. Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 42 **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ ДОЗИРОВКИ $ZnSO_4$ НА РАЗВИТИЕ** **АСПЕРГИЛЛА (*ASPERGILLUS NIGER*)**

Цинк является элементом, необходимым для жизнедеятельности живых организмов, в том числе микроорганизмов и грибов. Он является микроэлементом, участвует в процессах активации ферментов, энергетическом обмене, расщеплении белков, влияет на ростовые процессы.

Цинк - сильный стимулятор вегетативного роста грибов. Под влиянием ионов цинка сильно стимулируется вегетативный рост гриба *Aspergillus niger* (рост его мицелия), но спороношение задерживается. Показано, что прибавление к питательному раствору сернокислого цинка в концентрации 0,0005% стимулирует рост гриба, доза в 0,003% увеличивает урожай мицелия вдвое. Более высокая концентрация ингибирует рост мицелия.

Цель работы: изучить влияние различной дозировки $ZnSO_4$ на развитие аспергилла.

Материалы и оборудование: мерная колба на 500 см³; колбочки Эрленмейера на 150 см³ 7 шт.; пипетки; капельница; фильтровальная бумага; воронки; стеклянные палочки; промывалка с дистиллированной водой; вата не гигроскопическая; весы; термостат; сушильный шкаф. Реактивы: сахароза; KH_2PO_4 ; NH_4NO_3 ; $MgSO_4$; $FeSO_4$ - 1%-ный раствор; раствор $ZnSO_4$ - 1%-ный; фенолфталеин.

Ход работы. Задача настоящего опыта - выяснить, какое количество сернокислого цинка, внесенное в полную питательную смесь, задерживает спороношение и увеличивает сухой вес мицелия гриба *Aspergillus niger*.

Приготовьте полную питательную смесь следующего состава: вода - 500 см²; сахароза - 25 г; KH_2PO_4 - 0,5 г; NH_4NO_3 - 1,5 г; $MgSO_3$ - 0,5 г; $FeSO_4$ - 3 капли 1%-ного раствора. Все соли отвешайте на весах, растворите в водопроводной воде в мерной колбе на 500 см³. После растворения всех солей внесите 3 капли слабого раствора $FeSO_4$, долейте колбу водой до метки и колбу взболтайте. 15 Возьмите 7 колб

Эрленмейера емкостью в 150 см³, налейте в каждую из них по 50 см³ раствора и прибавьте туда же 1%-ный раствор сернокислого цинка в следующих дозах: 1 - контрольная колба с питательным раствором без сернокислого цинка; 2 - колба с добавлением 1 капли 1%-ного раствора сернокислого цинка; 3 - колба с добавлением 2 капель; 4 - колба с добавлением 4 капель; 5 - колба с добавлением 6 капель; 6 - колба с добавлением 8 капель; 7 - колба с добавлением 10 капель.

Горло всех колб закройте рыхлыми ватными пробками, так как гриб очень чувствителен к недостатку аэрации, снабдите их ярлыками, сделанными из бумаги, с указанием числа внесенных капель раствора сернокислого цинка и простерилизуйте в автоклаве при 120 в течение 15 минут.

После того как простерилизуете колбы, охладите их, растворы в них засейте спорами чистой культуры гриба, соблюдая все правила микробиологической техники. Затем поставьте колбы в термостат при температуре около 30 °С.

Развитие гриба становится заметным уже на второй день, на шестой день опыт ликвидируют. Состояние культур на шестой день может быть следующим. Контрольная колба (без сернокислого цинка) - мощный мицелий, обильное спороношение. У всех культур с прибавлением сернокислого цинка - мощный складчатый мицелий и слабое спороношение.

В культуре с сернокислым цинком максимальное спороношение в колбах с 1 и 2 каплями сернокислого цинка. По мере увеличения числа капель количество спор уменьшается. В колбе с 10 каплями сернокислого цинка спороношение к 6-му дню лишь едва начинается. Таким образом, в условиях этого опыта внесение различных доз сернокислого цинка задерживает спороношение. Прибавление 10 капель 1%-ного раствора к 50 см³ питательной смеси задерживает его наиболее сильно.

В этом опыте можно определить сухой вес мицелия и его кислотообразующую способность. Для этого перенесите мицелий 16 из колб на сухой взвешенный фильтр, раствор профильтруйте через те же фильтры, промойте мицелий водой и доведите объем фильтрата до 100 см³. Прибавьте 3 капли фенолфталеина и титруйте раствором едкого натра (0,1n) до появления розового оттенка от одной капли.

В результате этих определений можно установить увеличение сухого веса гриба и повышение кислотности фильтрата под действием прибавленного сернокислого цинка.

Лабораторная работа № 43

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ НА УРОЖАЙ РАСТЕНИЙ

Растения являются продуцентами. В процессе фотосинтеза они производят органическую биомассу. Количество органической биомассы, созданной растением за определенную единицу времени, называют *продуктивностью*. Общее количество органики, созданное за период вегетации, - это *биомасса растений*.

В представленной работе предлагается изучить влияние различных водородных ионов на образование биомассы растений бобов. Кроме бобов можно использовать самые разные виды растений. По отношению к кислотности выделяют несколько экологических групп растений: - растения кислых почв (*ацидофиты*); - растений щелочных почв (*базифиты*); - растения нейтральных почв (*нейтрофиты*). Экологическая группа отражает отношение организмов к какому-либо экологическому фактору и объединяет совокупность видов, сходно реагирующих на изменение интенсивности данного фактора.

Цель работы: изучить влияние различной концентрации водородных ионов на урожай растений.

Материалы и оборудование: семена конских бобов или других растений; сосуды для водных культур; кристаллизатор; чашки Петри; фильтровальная бумага; резиновая груша; пипетки; универсальный индикатор; фарфоровые тарелочки или палетки.

Реактивы: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; MgSO_4 ; KCl ; KH_2PO_4 ; Fe_2Cl_6 ; NaOH ; CH_3COOH . *Ход работы.* Отберите 50-60 семян конских бобов и прорастите. Когда длина корешков проростков достигнет 2-3 см, перенесите их на крышки из парафинированной марли сосудов емкостью 300-500 см³, наполненных питательным раствором (1/3 нормальной смеси) Кнопа на водопроводной воде.

При появлении у большинства проростков первой пары листьев проведите окончательный отбор проростков для опыта. Опыт по изучению влияния pH в лабораторных условиях лучше проводить с водными культурами. Он может быть поставлен по следующей схеме:

Таблица 2

рН раствора	3	4	5,5	6	7	8	9
Количество сосудов	2	2	2	2	2	2	2

Путем подкисления слабой уксусной кислотой или подщелачивания слабым раствором щелочи установите рН питательного раствора в сосудах согласно схеме опыта.

Величину рН определите приблизительно с помощью универсального индикатора. В дальнейшем величину рН проверяют через каждые три дня, в случае сдвига реакции снова устанавливают ее до нужных пределов. Питательные растворы меняют каждые 8-10 дней. Конские бобы очень чувствительны к рН раствора и в кислой среде растут очень плохо.

Обычно уже через две недели растения на кислой среде имеют очень угнетенный вид. Так, растения при рН, равном 3 и 4, сильно отстают в росте, на листьях появляются темные пятна, значительная часть их скоро совсем засыхает. На 25-й день от начала опыта растения этих двух вариантов (рН 3 и 4) обычно погибают. В щелочной среде (рН 8 и выше) угнетение растения появляется позже. Растения отстают в росте от тех, которые находятся при оптимальном рН (рН 5,5-6). Однако они не погибают 13 и могут закончить свой цикл развития, резко снижая при этом свой урожай.

В течение опыта ведут наблюдения за растениями. Измеряют: высоту надземной части растения, объем корневой системы (погружением ее в мерный стакан с водой), длину главного корня, свежий и сухой вес растения.

В результате данного опыта, при условии тщательной и частой проверки величины рН и поддержания ее в строгом соответствии со схемой опыта, могут быть получены цифровые данные, характеризующие значение рН в жизни растения. Результаты наблюдений занесите в таблицу 3, сделайте выводы.

Таблица 3

Влияние величины рН питательного раствора на урожай конских бобов

Величина рН	рН 3	рН 8	рН 6
Высота надземной части, см			
Объем корневой системы, см ³			
Длина главного корня, см			
Свежий вес растения, г			
Сухой вес растения, г			
Примечание	Один побег. Листья с темными пятнами, сохнут	2 побега. Много пожелтевших листьев. Растение не цветет	2 побега. Растение имеет свежий зеленый вид, хорошо цветет

Лабораторная работа № 44

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ СУБСТРАТОВ ПО ПРОРОСТКАМ РАЗЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

Предлагаемый метод биологической оценки субстратов или растворов проводится в трех вариантах:

1. Выращивание растений на субстратах, токсичность которых надо оценить (почва, вода).

11. Полив проростков испытуемыми растворами (вытяжка из почвы или сточные воды различных предприятий) с той или иной степенью их концентрации и очистки.

111. Накапывание испытуемого раствора между семядолями ДВУдольных растений. в первых двух вариантах применяют самые различные Тест растения (в зависимости от поставленной задачи): пшеница, овес, ячмень, проростки древесных пород.

В качестве тест растений в третьем варианте используют только проростки двудольных: кресс салата, салата майского, редиса и др. В связи с длительностью выращивания большинства тест - растений(исключая пшеницу, овес и др.) указанные методы имеют ограниченное применение для учебных лабораторных работ, однако они дают очень хорошие результаты в оценке токсичности тех или иных субстратов

при выполнении курсовых, дипломных, а также научно исследовательских работ.

Следует отметить, что все результаты испытаний с тест-растениями должны быть подвергнуты статистической обработке.

1. ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ НА ИСПЫТУЕМОМ СУБСТРАТЕ

Оборудование, материалы

А. ДЛЯ испытания твердых субстратов: 1) пластмассовые СТАКАНЧИКИ; 2) пинцеты; 3) трубочки для полива; 4) пленка; 5) испытуемый объект; 6) ростки тест растений.

Б. ДЛЯ испытания воды или других жидких субстратов (Например, вытяжки из почвы): 1) кюветы (в качестве НЕБОЛЬШИХ Пластмассовых кювет можно использовать четырехугольные емкости из под сметаны); 2) пластмассовые крышки к кюветам с отверстиями; 3) пинцеты; 4) ростки тест растений.

А. Испытание твердых субстратов
(почва, измельченный торф)

Субстрат закладывают в стаканчики, увлажняют одинаковым количеством воды. Семена тест-растений предварительно намачивают в отстоянной и очищенной водопроводной воде, раскладывают на два слоя фильтровальной бумаги в большую кювету, помещают в термостат для проращивания при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ $+26^{\circ}\text{C}$. Когда длина coleoptилей достигнет 10- 15 мм и появятся корни, ростки разделяют на фракции по длине и рассаживают по 10 растений каждой фракции в стаканчики на испытуемый субстрат. Контроль субстрата, взятый в относительно чистой зоне.

Полив производят через трубочку отстоянной и очищенной водопроводной водой. Когда ростки достигнут длины 6- 10 см (через 1- 2 недели) производят их измерение и взвешивание. Ростки разделяют на части (надземная часть, корни) и каждую часть измеряют и взвешивают отдельно. В качестве тестовых растений можно использовать практически любые семена.

Б. Испытание воды и других жидких субстратов

(вытяжка из почвы, осадки, растворы гербицидов и др.) Вода может использоваться в том виде, в котором она содержится в водоеме или сконцентрирована упариванием (тогда результаты получаются

особенно четкими), а сточная вода предприятий может быть разбавлена.

Воду наливают в кювету, в крышке которой просверливают Отверстия чуть меньше испытываемых семян. Крышка должна слегка касаться воды. В отверстия вставляют проросшие ростки так, чтобы их корни достигали воды, и выращивают до длины 6-10 см.

Контролем служит отстоянная и очищенная водопроводная вода (пропущенная через фильтр для очистки питьевой воды). Если опыты проводят В жаркую погоду, то испытываемую воду разумнее прокипятить во избежание заражения ее микрофлорой, а над ростками соорудить на каркасе неплотное пленочное покрытие. Это даст возможность оставлять ростки без присмотра на выходные дни. По мере использования ростками воды ее следует доливать. После Того, как ростки вырастут, их вынимают из воды, обшивают фильтровальной бумагой, определяют длину и массу отдельно надземной части и корневой системы. Результаты обрабатывают статистически, выражают в процентах по ОТношению к контролю, принятому за 100%. Строят диаграммы биотестовых испытаний.

Таким же образом можно испытать растворенные в воде токсические вещества (например, смывы гербицидов с полей вместе с почвой).

Лабораторная работа № 45

МЕТОД ПОЛИВА ПРОРОСТКОВ РАСТЕНИЙ

ИСПЫТУЕМОЙ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДОЙ

Оборудование, материалы

1) стаканчики; 2) кюветы; 3) фильтровальная бумага; 4) промытый И прокаленный песок; 5) проростки тест растений: пшеницы, овса и др.

В стаканчики загружают одинаковое количество промытого и прокаленного песка, в который высаживают по 10 одинаковых проростков тест растений. Песок поливают сверху одинаковым КОличеством испытываемой воды. Повторность трехкратная. КОНТроль полив отстоянной и очищенной водопроводной водой.

После достижения ростками высоты 8-10 см их выкапывают, обсушивают фильтровальной бумагой, разделяют бритвой на части (стебель, корни), измеряют и взвешивают. Данные обрабатывают статистически, выражают в процентах к контролю.

Биотестирование летучих токсических веществ, воды, вытяжки из почвы, пестицидов по прорастанию семян

Тест на прорастание семян хорошо разработан и очень давно применяется для установления воздействия различных физиологически активных веществ.

Биологические пробы применимы и для токсикологической оценки различных компонентов окружающей среды (в том числе и воздушного загрязнения). Так, А. М. Гродзинский и Д. М. Гродзинский описывают ряд биологических проб для испытания газообразных веществ, которые либо накачиваются в различного типа камеры из емкостей, где они содержатся, либо они выделяются прямо в камеру в результате химических реакций. Этот метод испытан нами и показал хорошие результаты.

Приготовление вытяжек почв, концентрирование воды, разведение растворов гербицидов описаны в предыдущей работе. Данную работу можно расширить за счет использования других токсикантов (например, солей тяжелых металлов), которые в малых концентрациях усиливают ростовые процессы, а в больших подавляют. К подобным веществам можно отнести и микроэлементы, которые в растениях и у животных входят в состав ферментных систем, а при больших концентрациях проявляют себя как токсиканты. Обычно используют мелкие семена (льна, кресс-салата, мака, рыжика, укропа и др.). Для достоверной оценки применяют не менее трех тестов с разными видами семян. Лучше использовать свежесобранные семена, так как на лежалых семенах развивается сапрофитная микрофлора и при прорастании в условиях влажных камер (колбы, чашки Петри, пробирки) они могут загнивать и выбывают из опыта.

С целью профилактики семена протравливают. Сухие семена погружают в 1 %-ный раствор марганцовокислого калия на 0,5 часа, а затем промывают дистиллированной водой, используя два слоя марли, обсушивают на фильтровальной бумаге на воздухе. Приводимый метод оценки токсичности отдельных компонентов среды по прорастанию

семян апробирован нами не только в лабораторных условиях, но и для оценки степени очистки сточных БОД заводов.

Биотестирование сточных вод, идущих на повторное использование, показало, что сточная вода в неочищенном виде подавляет прорастание семян и рост проростков на 22%, после очистных сооружений на 12%, а разбавленная в СООТНОШении 1 : 1 или 1 : 2

на 9%. Контроль во всех случаях отстоянная водопроводная вода. Оборудование, реактивы, материалы 1) широкогорлые колбы с пробирками; 2) чаШКИ Петри; 3) проволоочки; 4) вата; 5) пинцеты; 6) большие пробирки; 7) пенициллиновые пузырьки; 8) пипетки; 9) фильтры; 10) карандаш по стеклу; 11) семена тестрастений: кресссалата, редиса, льна и др.; 12) токсические летучие вещества: аммиак, бензол, ксилол, ацетон, скипидар; 13) водная вытяжка из ПЮЧВЫ; 14) за"ряэненная вода; 15) исходный раствор герБИИда (0,001 %). Если герБИИД плохо растворяется в воде, его предварительно разводят в капельке спирта, а потом разбавляют. .

Ход работы

1. I-Ia дно широкогорлой колбы помещают вату или фильтровальную бумагу, выделяющие токсические пары тех или иных веществ, которыми они пропитаны. К пробке на проволоке подвешивают шарообразный комоч обильно увлажненной ваты, в который предварительно вдавливают семена тест-растения. Другую колбу без токсичных паров, но с ватой и семеллами, используют как контроль. Ставят обе колбы в термостат при температуре 25-260С до начала прорастания, а затем выставляют на свет. Наблюдают за появлением всходов и ростом проростков (число всходов, разворачивание листочков), а затем измеряют длину и Массу каждого проростка. 2. В большие пробирки на дно помещают источники газообразных токсических выделений (смоченные ватки). Пробирки располагают наклонно, вблизи горлышка каждой кладут сложенный втрое фильтр, который увлажняют 1

2 мл воды И засевают мелкими семенами мака, салата, рыжика и пр., пробирки закрывают пробками. Через несколько дней производят оценку прорастания семян и роста проростков путем измерения последних. 3. Два фильтра, смоченные 2 мл вытяжки из почвы, или загрязненной водой (в случае очень слабого загрязнения нужна КОНцеНтрация воды), или раствором гербицидов помещают на дно

чашки Петри, раскладывают на них 50 семян, закрывают крышкой, ставят в термостат при температуре $+ 25^{\circ}\text{C}$ $+26^{\circ}\text{C}$. Через некоторое время оценивают степень прорастания семян и Величину проростков по отношению к контролю, принятому за 100%. Контроль ставят на дистиллированной воде.0

В научных целях (Например, для дипломной работы) оценку производят тогда, когда семена на контроле прорастут на 50%. Рабочий раствор гербицида студенты готовят сами из исходного раствора путем последовательного разбавления в пенициллиновых пузырьках или других малых емкостях: к 1 мл исходного раствора $-(0,001\%)$ прибавляют 9 мл дистиллированной воды, получают 0,0001% и т. д. Следует отметить, что ПДК для пестицидов это миллионные доли процента. Затем строят диаграммы ингибирования роста семян по отдельным показателям и компонентам: процент прорастания, размер Всего проростка, разворачивание семядолей и др.

Лабораторная работа № 46

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ СЕРНИСТОГО ГАЗА, ПОЧВ, ВОДЫ, ПЕСТИЦИДОВ МЕТОДОМ ВЫСЕЧЕК ЛИСТЬЕВ (ПО РАЗРУШЕНИЮ ХЛОРОФИЛЛА)

Как ранее упоминалось содержание хлорофилла в листе весьма изменчивая величина и с его разрушением связана хлоротичность (исчезновение темнозеленого цвета и появление желтизны).

На круглой высечке листа (в большинстве случаев по краям) по мере длительности опыта нарастают хлоротичные и некротические участки. Это явление можно проследить визуально и довольно быстро определить токсичность Того или иного КОМПонента или их суммы в тех или иных сочетаниях, встречающихся в природе. Инкубация высечек производится на 2% ной сахарозе (питательная среда для большинства биотестовых испытаний) с добавлением токсикантов. Контроль 2%ная сахароза.

По прошествии определенного времени, которое для разных видов растений и типов листьев различно и требует предварительной апробации, хлорофилл в высечках может быть определен визуально по сравнению с контролем, который принимается за 100 процентов, а также инструментально (фотоколориметрически).

Оборудование, реактивы, материалы 1) эксикаторы; 2) фильтры или фильтровальная бумага; 3) чашки Петри; 4) пробочное сверло или гильзы диаметром 10 мм; 5) пинцеты; 6) пипетки; 7) колбочки на 100 мл; 8) воронки; 9) пузырьки из-под пенициллина или пробирки в штативе; 10) карандаш по СтеКлу; 11) Na 2 S 2 O 3 ; 12) H 2 S 2 O 4 ; 13) 2%ный раствор сахарозы; 14) пестицид в концентрации 10 % или 10 1%; 15) загрязненная вода водоема; 16) почва, примыкающая к автодороге; 17) листья растений, Находящихся в стадии вегетации. Все оборудование, материалы стерилизуются

1) Ход работы

Б. Испытание вытяжки из почвы

Взятые образцы почв (например, одинаковые типы почв под уличными посадками в разных частях города, различающиеся по загруженности улиц автотранспортом) растирают в ступке и просеивают через мелкое сито.

Взвешивают на кальке 10 г почвы в Трехкратной повторности, пересыпают в колбочку или стаканчик, приливают 25 мл дистиллированной воды. Энергично взбалтывают 10-15 мин на качалке или ручную, оставляют на ночь. Затем жидкость фильтруют через воронку со складчатым фильтром. Жидкость с колбой стерилизуют в кипящей водяной бане методом погружения и кипячения 10-15 мин, горлышко колбы закрывают фольгой. Охлаждают, затем этой вытяжкой смачивают 2 фильтра до полной влагоемкости.

Фильтры стерилизуют вместе с чашками Петри. На фильтры раскладывают диски листьев наземных растений нижней стороной вниз. Повторность трехкратная (по 10 дисков). Чашки Петри закрывают крышками и ставят в термостат в Темноту при температуре +25 0 С + 26 0 С.

Наблюдения проводят через 1 сутки утром и вечером каждого дня. Контролем служат диски, помещенные на чистую простерилизованную воду. Результаты выражают в процентах от контроля, взятого за 100, или абсолютно (по площади пораженной ткани). график строят так же, как и в опыте с газом.

Лабораторная работа № 47

ОЦЕНКА ФИТОНЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ И ТОКСИЧНОСТИ ОСЕДАЮЩЕЙ НА НИХ ПЫЛИ В ОПЫТАХ С ПРОСТЕЙШИМИ И НАСЕКОМЫМИ

По определению наиболее выдающегося ученого в области фитонцидов Б. П. Токина, фитонциды это продуцируемые растениями бактерицидные, фунгицидные и протистоцидные вещества, являющиеся одним из факторов иммунитета растений, играющие определенную роль во взаимоотношениях организмов в биогеоценозах. Это явление свойственно всему растительному миру.

С древности люди использовали фитонцидные свойства растений и их частей для очистки воздуха помещений от бактерий и Насекомых (разбрасывание пихтовой лапки, развешивание веток березы, раскладывание полыни против блох, использование далматской ромашки против тараканов, натирание открытых частей тела соком пижмы от комаров и др.).

Древние врачи путем пропитки тел усопших ароматическими смолами, экстрактами лука, эвкалипта, натирания бальзамами умели предохранять трупы от гниения, муфицировали их. Всем известны способы хранения свежего мяса, выпотрошенной рыбы: обертывание тканью, смоченной в кашице чеснока и лука, обертывание листьями крапивы, лопуха, черемши, которые используются, как антисептики.

Широко применяются с древности вдыхание паров эвкалипта, пихтовой смолы, полоскание горла вытяжками из почек сосны, березы и др. В данной работе предлагаются методы оценки фитонцидной активности растений по их влиянию на простейших. Этот же метод может широко применяться и для оценки токсичности оседающей на растениях пыли в районе промпредприятий, в городах и т.П.

Оборудование, реактивы, материалы

1) микроскоп; 2) предметные и покровные стекла; 3) часовые стекла или предметные с выемкой; 4) пипетки; 5) стаканчики на 100 мл; 6) чашки Петри; 7) маленькие ступки с пестиками; 8) Свежие листья растений (тополя бальзамического, черемухи, хвойных), сухие листья эвкалипта, календулы, полыни, чабреца, почки сосны для приготовления вытяжек; 9) сенной настой или вытяжка из плодородной почвы; 10) насекомые.

Ход работы

А. Проба с простейшими

Для опытов берут культуру простейших, приготовленную заранее.

а) Висячую каплю культуры простейших помещают над часовым стеклом с кашицей или вытяжкой исследуемого материала, ЧТОбы они не соприкасались и, наблюдая в микроскоп при увеличении 300 или 600 (в зависимости от цели), отмечают по секундомеру Время прекращения движения простейших. Фитонцидную активность (А) выражают в единицах, рассчитанных по формуле, г

$$A = \frac{100}{T}$$

де Т - время.

Картина гибели простейших под влиянием фитонцидов разных растений различна. Это растворение (лизис), образование вздутий и пузырей, сморщивание, просто прекращение движения и Т.Д.

б) В каплю культуральной жидкости с простейшими в середине часового стекла добавляют меньшую каплю вытяжки растений с сильной фитонцидной активностью. Наблюдают сначала усиление движения, затем избегание простейшими фитонцидной вытяжки (рассредоточение по краям), далее обнаруживаются уменьшение и вовсе прекращение движения.

Через некоторое время можно видеть и морфологические изменения, указанные в предыдущем разделе данной работы. Для исключения растекания капли вытяжки ее место можно ограничить, сделав предварительно на предметном СТеКЛе петлю из человеческого волоса, в которую и помещают каплю культуральной жидкости.

Приготовление культуры микроорганизмов

1. Измельченное сено заливают водой, кипятят 10-15 мин, охлаждают, настаивают 2-3 суток до образования бактериальной пленочки. Добавляют 1-2 мл воды из водоема, аквариума или комочек свежей почвы. Выдерживают 1 2 суток. 2. Листья капусты отваривают 5-10 мин, отвар сливают, охлаждают, в Неро помещают небольшой комочек почвы. Выдерживается в термостате 1-2 суток.

3. Комочек почвы взбалтывают с водой в небольшой емкости, закрывают неплотно куском бумаги, выдерживают в термостате 1-2 суток. I

Следует отметить, что в размножении простейших (как и всех организмов) существуют циклы. Так, они хорошо размножаются Весной и летом, хуже осенью и плохо в зимние месяцы (особенно в морозы). Кроме того, даже при хорошем их размножении в вышеуказанные периоды они прекращают движение в холодном лабораторном помещении (температура ниже $+18^{\circ}\text{C}$ $+20^{\circ}\text{C}$), особенно при соприкосновении с холодным предметным стеклом, независимо от токсического эффекта.

Приготовление кашиц и настоев

Мелко нарезанные листья растений быстро растирают в ступке и сразу помещают на часовое стекло. В случае длительного стояния растертого материала фитонцидная активность теряется. Если листья недостаточно влажны и плохо растираются, в ступку добавляют небольшое количество воды. При растирании твердых листьев (эвкалипта, тополя, хвойных) в ступку добавляют дробленое просеянное через сито (1-2 мм) стекло или крупный промытый речной кварцевый песок. При дроблении стекла лучше использовать полотняный мешочек и молоток.

Для приготовления настоев растения измельчают до частиц размером 1

5 мм, заливают кипятком, кипятят на слабом огне 3-5 мин, настаивают 1

2 суток в термостате. Не следует сильно измельчать растения (в кофемолке или мельнице). При заливании водой это приводит к слеживанию материала и плохой экстракции активных веществ.

Лабораторная работа № 48

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ БИОТЫ. МЕТОД СТЕКОЛ ОБРАСТАНИЯ (ПО РОССИ-ХОЛОДНОМУ)

Метод позволяет наблюдать «микробные пейзажи». В небольшом почвенном разрезе одну из стенок зачищают и, сделав ножом вертикальную щель, закладывают в нее стерильные предметные стекла, плотно прижимая их к почве.

Закапывают разрез, отмечая колышком местонахождение препаратов. Если почва содержит достаточно влаги, то закопанное стекло

вскоре покрывается почвенным раствором, к его поверхности прилипают коллоидные частички органического и минерального происхождения. В этой среде поселяются и активно развиваются различные микроорганизмы, образующие на стеклах характерные для данной почвы микропейзажи.

По истечении срока экспозиции (не менее одного месяца) стекло осторожно отделяют от почвы (не скользящим движением), подсушивают на воздухе, фиксируют в пламени горелки, отмывают осторожно препарат водой от крупных частиц почвы (для этого можно оставить стекло в стакане с водой в наклонном положении на несколько асов), окрашивают 1%-ным карболовым эритрозин в течение 1 ч во 75 влажной камере, промывают дистиллированной водой, высушивают и микроскопируют.

Метод широко применяется в микробиологической практике. С помощью этого метода впервые оказалось возможным наблюдение за распределением различных микроорганизмов в их природной среде обитания, наблюдение за формой и размерами группировок микроорганизмов, их взаимоотношениями.

Модификации метода заключаются в том, что стекла перед помещением в почву покрывают какой-нибудь питательной средой или специфическим субстратом (например, фильтровальной бумагой, льняной тканью и т. д.)

Лабораторная работа № 49

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ

ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ

Оборудование: хим. стаканы, чашки Петри, стеклянные сосуды-изоляторы, 0,05н р-р HCl, 1н раствор KOH, фенолфталеин.

Ход работы Измерение интенсивности дыхания определяется по скорости выделения CO₂ почвенными микроорганизмами в процессе дыхания. Скорость выделения CO₂ из почвы определяют абсорбционным методом Штатнова.

Поместить часть почвы из ранее отобранных почвенных образцов в стеклянные стаканы известного диаметра. В чашку Петри налить по 10 мл щелочи. Сосуд с почвой и чашку Петри со щелочью изолировать под стеклянным цилиндром и оставить на 4-6 часов.

Параллельно собрать подобную же установку, но без почвенного образца для контроля. Время экспозиции то же. Для расчета количества выделившегося CO₂ используют формулу:

$$v = \frac{(a - b) \times 1.1}{S \times t \times 100}$$

v – количество CO₂, выделившееся из почвы кг/га в час; a – количество 0,05 н HCl, пошедшей на титрование исходного раствора щелочи, мл; b – количество 0,05н HCl, пошедшей на титрование щелочи из чашки после экспонирования на почве, мл; 1,1 – масса CO₂, эквивалентная массе HCl, содержащейся в 1 мл 0,05 н раствора HCl, мг/мл; S – площадь почвы под сосудом-изолятором, м²; t – экспозиция, час. Рассчитав интенсивность дыхания почвенной биоты в разных образцах, занести результаты в таблицу:

Номер образца	a, мл	b, мл	S, м2	t, час.	V, кг/га час в
1.					
2.					

Сделать вывод о биологической активности почв по интенсивности выделения CO₂ почвенными образцами. Сопоставить полученные выводы с результатами оценки видовой структуры сообществ микроартропод в исходных образцах почв.

Лабораторная работа № 50

ПОПУЛЯЦИИ РЕДУЦЕНТОВ КАК ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ПОЧВ

Для индикации изменений в ценозах привлекаются экологические параметры структуры, прежде всего доминирование (как относительное процентное обилие), равномерность распределения, видовое разнообразие и различие в разнообразии и доминировании. *Оборудование:* воронка Тулгрена (рисунок 1) или эклектор, чашки Петри, пинцеты, препаравальные иглы, бинокулярные лупы, 70%-ный спирт, 5%-ный глицерин, дистиллированная вода.

Ход работы В разных районах отобрать смешанные почвенные образцы методом «конверта»: с обследуемого элементарного участка взять пять образцов почвы так, что точки отбора проб расположены по углам квадрата со стороной 2-3 м, а также в точке пересечения диагоналей квадрата.

Масса каждого образца должна составлять примерно 200- 300 г. Смешанные образцы упаковать, поместить в полиэтиленовые или плотняные мешочки, этикетировать с указанием места и даты взятия образца и его номер. Поместить каждый образец в воронку Тулгрена. Через 6-8 часов рассмотреть содержимое чашек Петри под биноккулярными лупами, выделить основные таксономические группы и отдельные виды (рисунок 3), заполнить таблицу 1. 164 Рассчитать дисперсию каждой группы для определения типа пространственного распределения особей, используя формулы:

$$V = \sum (x - x_{cp})^2 / n - 1 \quad \text{и} \quad I = V / x_{cp} - 1, \text{ где}$$

n-число проб; x-число организмов в пробе; $\bar{x}$ -среднее для образца; V-дисперсия; I-показатель скученности.

Сравнить результаты расчетов для почвенных образцов, взятых в разных районах. Истолковать экологический смысл случайной дисперсии и скоплений животных. Подсчитать число видов каждой группы в анализируемых образцах. Для сравнительной характеристики видового состава сообществ микроартропод в различных районах отбора проб рассчитать следующие показатели: 1) индекс видового богатства Р. Маргалефа

$$d = S - 1 / \ln N,$$

где S- общее число видов; N – численность особей всех видов.

2) видовое разнообразие по Шеннону - Уиверу $H = \sum_{i=1}^s h_i$

где S- общее число видов,

$$(h_i = p_i \ln \frac{1}{p_i}),$$

h_i – частичная мера информации i-того вида

p_i – относительная частота встречаемости вида

n_i – численность особей i-того вида, $(p_i = n_i / N),$

N – численность особей всех видов. 3) индекс выровненности

$$E = \frac{1}{\sum p_i^2 \times S}$$

где p_i – относительная частота встречаемости вида; S- общее число видов.

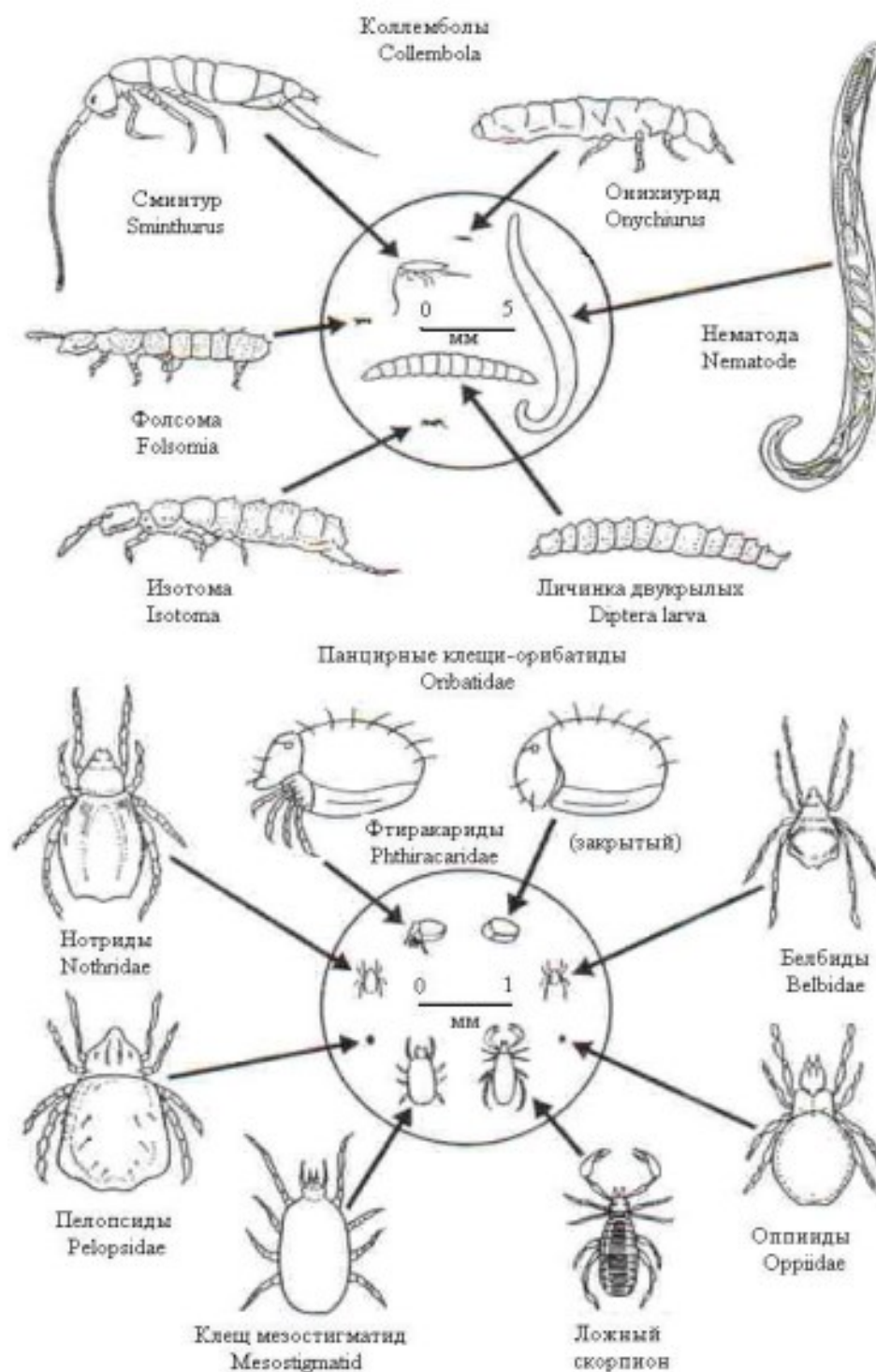


Рис. 3. Некоторые микроорганизмы – обитатели почв Сделать вывод о качестве среды на основании полученных результатов. *Самостоятельная работа:* для отобранных проб почвы оценить такие показатели как биомасса микроорганизмов, групповое и суммарное обилие. Сравнить эти показатели для разных проб, сделать вывод об экологическом стандарте для исследуемых групп.

Лабораторная работа № 51
ФИТОИНДИКАЦИЯ И ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТЕНИЙ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В БИОИНДИКАЦИИ

1. Изменения окраски листьев (неспецифическая, реже специфическая, реакция на различные загрязнители):

Хлороз - бледная окраска листьев между жилками. Отмечали при избытке в почве тяжелых металлов и при газодымовом загрязнении воздуха.

Пожелтение участков листьев. Характерно для лиственных деревьев при засолении почвы хлоридами. • Покраснение, связанное с накоплением антоциана. Возникает под действием сернистого газа. • Побурение или побронзовение. Часто означает начальную стадию некротических повреждений. Листья как бы пропитаны водой (как при морозных повреждениях), возникает под действием ряда окислителей. Серебристая окраска листьев. Возникает под действием озона на листьях табака.

2. Некрозы - отмирание участков ткани листа, их форма иногда специфична. • Точечные и пятнистые. Серебристые пятна на листьях табака сорта Bel возникают под действием озона.

3. Межжилковые - некроз тканей между боковыми жилками 1 порядка. Часто отмечаются при воздействии сернистого газа. • Краевые. На листьях липы под влиянием соли (хлорида натрия), которой зимой посыпают городские улицы для таяния льда. • «Рыбий скелет» - сочетание межжилковых и краевых некрозов. • Верхушечные некрозы. У однодольных покрытосеменных и хвойных растений. Например, хвоинки пихты и сосны после действия сернистого газа становятся на вершине бурыми, верхушки листьев гладиолусов после воздействия фтористого водорода становятся белыми.
3. Преждевременное увядание. Под действием этилена в теплицах не скрываются цветки у гвоздики, увядают лепестки орхидей. Сернистый газ вызывает обратимое увядание листьев малины.
4. Дефолиация - опадание листвы. Обычно наблюдается после некрозов и хлорозов. Например, осыпание хвои у ели и сосны при газодымовом загрязнении воздуха, листьев лип и конских каштанов - от соли для таяния льда, крыжовника и смородины - под действием сернистого газа.

4. Изменения размеров органов обычно неспецифичны. Например, сосны вблизи заводов удобрений удлиняются от нитратов и укорачиваются от сернистого газа. У ягодных кустарников дым вызывает уменьшение размеров листьев.
5. Изменения формы, количества и положения органов. Аномальную форму листьев отмечали после радиоактивного облучения. В результате локальных некрозов возникает вздувание или искривление листьев, расщепление отдельных органов, увеличение или уменьшение частей цветка.
6. Изменение жизненной формы растения. Кустовидная или подушковидная форма роста свойственна деревьям, особенно липе, при сильном устойчивом загрязнении воздуха (HCl , SO_2).
7. Изменение жизненности. В присутствии многих загрязнителей бонитет деревьев понижается от 1-2 класса до 4-5. Обычно это сопровождается изреживанием кроны и уменьшением прироста. Изменения прироста неспецифичны, но широко применяются, так как чувствительнее, чем некрозы. Измеряют радиальный прирост стволов, прирост в длину побегов и листьев, корней, диаметр таллома лишайника.
8. Изменение плодovitости. Обнаружено у многих растений. Например, при действии загрязняющих веществ уменьшается образование плодовых тел грибов, снижается продуктивность у черники и ели. Некоторые виды лишайников не образуют плодовых тел в сильно загрязненном воздухе, но способны размножаться вегетативно.

Ухудшение условий питания растений выявляют визуально или по результатам химического анализа. Дефицит каждого элемента питания можно определить по характерным симптомам.

При недостатке азота происходит замедление роста стеблей, ветвей, корней, окраска листьев изменяется от бледно-зеленой до желтой, уменьшается количество цветков, они быстро опадают.

Если растения испытывают фосфорное голодание, у них появляются мелкие молодые листья голубовато-темно-зеленой окраски с бурыми и красноватыми пятнами, края листьев загибаются кверху.

При недостатке калия происходят замедление роста, задержка фаз развития, проявляются краевой «ожог» и морщинистость листьев, листья закручиваются вниз.

О недостатке кальция судят по ильному осветлению верхних молодых листочков, поникновению верхушки стеблей, отмиранию точек роста.

Растения испытывают недостаток магния, когда жилки листьев длительное время остаются зелеными, а межжилковые участки имеют желтый цвет, побуревшая часть листа отмирает.

При недостатке марганца на старых листьях появляются желтые и желто-серые пятна и полосы, рост растений задерживается, окраска листьев изменяется от бледно-зеленой до серой.

Если растениям не хватает железа, то их листья становятся светло-желтыми, почти белыми, старые листья долго остаются зелеными, молодые желтеют, появляются мелкие соцветия.

При борном голодании у растений отмирают точки роста стеблей и корней, растения приобретают нехарактерные (уродливые) формы.

В случае недостатка меди растения теряют тургор, их листья поникают, у зерновых культур наблюдаются неполная озерненность и щуплое зерно.

При цинковом голодании на листьях появляются вначале бледно-желтые, а затем красно-бурые пятна.

При недостатке молибдена симптомы такие же, как при недостатке азота, однако молодые листья поражаются сильнее, чем старые.

В случае диагностики растений химическими методами анализируют листья или иные органы, отобранные в определенные фазы развития. Хорошо зарекомендовали себя экспресс-анализы сока с использованием индикаторной бумаги или специальных реактивов.

Лабораторная работа № 52

ЗООЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зооиндикация почве применяется в случаях:

- установления таксона почвы и ее происхождения;
- выяснения отдельных свойств почвы и почвенных процессов;
- оценки антропогенного вмешательства (рекреация, загрязнение, эвтрофикация почв).

Выяснение отдельных свойств почвы

- **Механический состав** Мокрицы - показатели тяжелых почв (в песчаных почвах их норки обрушиваются). По останкам пустынных

мокриц установлено, что современные такыры недавно были солончаками. Вертикальное распределение микроартропод коррелирует с общей порозностью почвы.

- **Виды гумуса** Грубый гумус (мор) - диагностируют многоножки-геофилиды, мягкий гумус (муль)-личинки комаров-долгоножек. В настоящее время для отдельных групп, например, коллембол, выявлены виды, характерные для разных видов лесного гумуса.

- **Степень гумификации органических остатков** Зоологическая характеристика компостов позволяет отличать разные стадии созревания компостов по преобладанию разных групп беспозвоночных (в зрелых компостах много дождевых червей, среди коллембол преобладают белые почвенные формы).

Разные стадии разложения древесины осуществляются при участии разных групп организмов, которые могут служить индикаторами. Первую стадию маркируют жуки-усачи и короеды, вторую - ферментативная активность грибов, третью - муравьи и четвертую - дождевые черви.

- **Кислотность (рН)** Кислотность - один из ведущих факторов, определяющих видовой состав и численность сообществ почвенных беспозвоночных. Численность дождевых червей, например, обычно прямо пропорциональна рН от 3 до 8.

- **Содержание кальция** Калькофилы - это наземные раковинные моллюски, многоножки-диплоподы, сухопутные рачки-мокрицы, раковина или панцирь которых состоят в основном из углекислого кальция. Обилие этих групп в почве говорит о большом содержании кальция.

- **Гидротермический режим** В Восточной Сибири встречаемость в почве личинок майского хруща говорит о том, что вечная мерзлота залегает не ближе 2,2-3 м от поверхности почвы и что зимой не происходит смыкания промерзшего слоя с вечной мерзлотой. В Европейской части присутствие личинок майского хруща - показатель глубокого залегания грунтовых вод.

Диагностика элементарных почвенных процессов. Для диагностики этих процессов могут быть использованы экогруппы почвенных беспозвоночных, объединения видов со сходным пространственным распределением.

Особенно наглядно выделяются экогруппы по катене - ландшафтному профилю, проходящему от местной депрессии к местному водоразделу. То, что виды предпочитают одну и ту же часть катены, говорит об их адаптированности к какому-то одному интегральному фактору, который является ведущим в данном типе почв. Таким фактором можно считать ЭПП, который влияет на жужелиц через изменение экологической обстановки.

В таком случае **поименноболотная экогруппа** жужелиц четко диагностирует место и интенсивность глеевого процесса в верхней части почвы, **болотная** - торфообразование, **солончаковая** - солончаковый процесс (галобионты), **лугово-лесная** - осолодение, солонцовая - осолонцевание (мелкие плоские жужелицы, обитающие в трещинах), **луговая** - луговое гумусонакопление, **степная** - степной почвообразовательный процесс, **лесная** - процесс образования лесной подстилки.

Далее проводится диагностика типов почв по спектрам экогрупп.

Тип почв характеризуется определенным сочетанием ЭПП. А так как каждому ЭПП соответствует определенная экогруппа, то типу почвы отвечает определенный спектр экогрупп. Например: обыкновенный чернозем отличается доминированием жужелиц степной экогруппы (74%), что указывает на определяющую роль степного гумусонакопления в процессе формирования чернозема. Наличие 15% луговых видов маркирует проявление процесса олуговения во влажные сезоны.

Небольшая доля участия других экогрупп (болотной, лугово-лесной, солонцовой и лесной) свидетельствует о былом гидроморфизме чернозема и его возможной облесенности в прошлом. Ограничение метода: для каждого региона нужно разрабатывать свои экогруппы организмов.

Учет крупных почвенных беспозвоночных

При учете более крупных объектов, легко обнаруживаемых невооруженным глазом, таких, как дождевые черви, многоножки, личинки хрущей, щелкунов, жужелиц и т.д., наиболее универсальным и доступным способом учета является метод почвенных раскопок с ручной разборкой выбранной почвы.

При раскопках во влажный период года и в более влажных районах оптимальная площадь пробы 0,25 м² (50×50 см), а в сухие периоды года, особенно в аридных местностях, где почвенные беспозвоночные могут мигрировать на значительную глубину, приходится увеличивать пробы до 1 или даже 2 м² (1×1 или 1×2 м), так как вырыть пробу с отвесными стенками на большую глубину при малой площади пробы невозможно.

В каждом подлежащем обследованию однородном сообществе рекомендуется брать не менее четырех проб по 0,25 м².

На площадках, выделенных для стационарных исследований, рекомендуется брать не менее 12 таких проб для каждого варианта, располагая пробы по сетке. Есть мнение о том, что размер пробы можно уменьшить до 76-100 см² с увеличением числа повторностей до 30 и более.

Определение численности почвенных беспозвоночных производится в пересчете на 1 м² и определяется количеством животных в столбе почвы площадью 1 м² на всю глубину их встречаемости.

Определять число обитающих в почве беспозвоночных на единицу объема или веса, как это делают в отношении бактерий микробиологи, нецелесообразно, так как в зависимости от степени увлажнения и температуры почвы, почвенные животные либо концентрируются в поверхностных горизонтах (в теплые сезоны при влажной почве), либо частично уходят вглубь (в сухое время года и на зимовку).

При достаточной влажности почвы глубина пробы может не превышать 30-50 см, а в сухих местностях в летнее время пробы приходится брать на глубину 1 м или даже более, особенно на песчаных почвах.

Самым простым и доступным способом извлечения беспозвоночных из проб почвы является ручная разборка. В начале намечается площадь пробы.

Затем собирают всех беспозвоночных с поверхности почвы и тщательно перебирают войлок и подстилку, учитывая всех встреченных животных. Найденных в подстилке беспозвоночных собирают, подсчитывают, фиксируют и записывают отдельно от собранных в собственн почве. Затем, после удаления подстилки, приступают к выкапыванию почвы с площади пробы лопатой, лучше с незакругленными

краями. Выбрасываемые на мешковину, клеенку или лист фанеры, разложенные рядом с пробой небольшие порции почвы тщательно перебирают руками, причем более крупные комья приходится разбивать, а дернину и корешки - разрывать.

Всю почву из пробы, порцию за порцией, перетирают на весу между ладонями, внимательно рассматривая всю сыпавшуюся на подстилку почву и собирая падающих при этом и легко обнаруживаемых животных. Их собирают (отдельно из каждой пробы) в пробирки или баночки с небольшим количеством почвы. Дождевых червей берут отдельно в матерчатые мешочки с почвой. Хищных жуков и их личинок лучше помещать в отдельные пробирки, изолировав друг от друга и от других собранных объектов.

Мелких и нежных насекомых, многоножек и других, лучше там же на месте помещать в пробирки со спиртом с добавкой формалина или в 4%-ный раствор формалина.

Крупных насекомых помещают в морилки с ваткой пропитанной эфиром или хлороформом. Всех найденных в пробе животных там же в полевых условиях записывают в дневник, с той точностью определения, какая доступна руководителю учета, или под условными названиями.

В дневнике дается и возможно более полная характеристика, как всего обследуемого участка, так и места взятия данной пробы. В пробирки, в мешочек с червями и т.д. вкладывают этикетку, в которой отмечен номер пробы.

Если раскопки проводятся послойно, на этикетке числителем отмечается номер пробы, а в знаменателе - номер слоя; при этом материал собирают отдельно из каждого слоя. Фиксацию более крупных собранных беспозвоночных производят в конце работы в камеральных условиях, о чем будет сказано далее.

Наиболее благоприятная влажность почвы для учета почвенной фауны, обеспечивающая наиболее полную выборку почвенных животных и наибольшую производительность работы такая, при которой горсть почвы, зажатой в кулак, образует ком, сохраняющий свою форму, но рассыпающийся от легкого удара.

При таком состоянии поверхностного слоя почвы почвенные беспозвоночные держатся неглубоко, а почва легко перетирается и просеивается.

Для изучения корреляций с распределением корневых систем целесообразно проводить послойные раскопки, позволяющие выявить глубину нахождения основных представителей почвенной фауны. При этом образцы почвы (после разборки и удаления подстилки) следует брать слоями в 10 см мощностью, отдельно собирая и записывая животных из каждого слоя.

После взятия пробы следует провести измерение и записать мощность отдельных генетических горизонтов и степень влажности (глазомерно) каждого из них в тех случаях, когда попутно не определяется влажность почвы.

Для установления глубины, на которую следует брать пробу, особенно в летнее время и при изучении вертикальных миграций почвенных животных, первый образец необходимо взять глубже, углубляя яму на 20-30 см глубже максимальной глубины встречаемости дождевых червей и многоножек, выявленной при взятии первой пробы.

Во многих случаях очень полезно параллельно с определением глубины взятия пробы устанавливать связь распределения почвенной фауны с почвенногенетическими горизонтами.

При дальнейшей работе на данном участке, если связь установлена, послойный учет целесообразно и удобно вести по этим горизонтам.

При маршрутных обследованиях пробы в пределах каждой выделенной почвенной разности располагаются так, чтобы каждая проба находилась в середине типичной части территории, описываемой в дневнике. В горных местностях маршрут проводится перпендикулярно имеющейся в данном районе поясности растительности.

При сравнении заселенности граничащих территорий с растительностью разного типа пробы следует располагать параллельно границе участков. Если на участке ясно выражена микрокомплексность растительного покрова, то одну часть проб необходимо брать в одних условиях, а другую - в других.

Так, в типчаково-ковыльной степи часть проб следует взять на участках с преобладанием типчака; а часть - с преобладанием ковыля; в лесу с несомкнутыми кронами часть проб берется под кронами, а часть - в просветах и т. д. 118

Собранный и зафиксированный материал подлежит систематической обработке для определения видовой принадлежности с использованием специальных определителей. Кроме описанного метода раскопок существуют и другие методы учета почвенной мезофауны, среди которых следует отметить **метод приманок, учет после обработки плугом и др.**

Для учета дождевых червей в почве используют также **метод полива** поверхности почвы раздражающими покровами червей жидкостями (0,14-0,5% раствор формалина). В результате черви выползают на поверхность.

Для учета напочвенных животных - герпетобионтов, особенно имаго жуков (жужелиц, чернотелок, мертвоедов и др.) используют стандартный метод ловчих линий.

Для этого выставляют двумя параллельными рядами линии **ловушек Барбера** 5-10 ловушек в линии с расстоянием между ловушками несколько метров (до 10 м).

В качестве ловушек используют стеклянные (жестяные, пластиковые сосуды емкостью около 0,5 л с фиксатором (4% раствор формалина, разбавленный водой уксус, мыльная вода и др.).

Необходимо тщательное установление ловушек. Они должны быть установлены на типичных участках, на 0,5 см выше поверхности почвы. Для защиты от дождя в жарких районах, от Солнца, над ловушками устанавливают на высоте 4-5 см крышки. На дно банок помещают немного почвы.

Ловушки устанавливают на 10 суток. Результаты выражают в единицах динамической плотности уловистостью на 10 ловушек/суток. Доминантами при этом считаются виды, численность которых составляет более 5%, субдоминантами - 2-5% от общего числа собранных особей. Рис. 17. Ловушка Барбера из пластиковой бутылки

Лабораторная работа № 53

УЧЕТ МЕЛКИХ ПОЧВЕННЫХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ

Так как численность особей мелких членистоногих в почве нередко достигает нескольких тысяч и десятков тысяч на 1 м², вероятность их встречи в пробах сравнительно небольшого объема достаточно велика.

Поэтому взятие даже немногих проб небольшой площади (и объема) дает результаты удовлетворительной достоверности в отношении доминирующих на обследуемом участке групп мелких беспозвоночных.

Обычно исследуются пробы, вырезаемые специальной стальной (обычно кубической) формой со сторонами 10x10x10 или 5x5x5 см, вдавливаемой или вбиваемой заостренными нижними краями в почву. Можно также вырезать соответствующий монолит ножом, что обеспечивает несколько меньшую точность. Можно брать пробы меньшей площади, вырезаемые бурами.

На почвах с обильным включением щебенки можно осторожно наполнять почвой сосуд определенной емкости, объем которого соответствует данному объему пробы. Вырезанный монолит рекомендуется брать 5 см толщиной; при послойном взятии проб сначала вырезается монолит поверхностного слоя почвы, затем лопатой зачищается поверхность следующего слоя и из него вырезается следующий монолит и т.д. Извлечение мелких членистоногих на пробы осуществляется при помощи эклектора.

Принцип действия эклектора заключается в использовании таксисов, заставляющих почвенных животных выходить из анализируемого образца почвы. Поэтому метод “автоматической выборки” в эклекторах применим только в отношении более подвижных объектов; численность неподвижных стадий (яиц, куколок) методами автоматического сбора учесть нельзя. Плохо извлекаются из проб этим методом различные мелкие черви.

При извлечении из проб мелких членистоногих используют их чувствительность к высушиванию. Мелкие почвенные беспозвоночные не выносят снижения влажности воздуха в почве ниже 100%, и при одностороннем подсушивании (сверху) пробы почвы мигрируют в более влажные слои (вниз).

В естественных условиях подсыханию подвергается верхний горизонт почвы, и избегающие высыхания почвенные беспозвоночные мигрируют в более глубокие слои почвы. Поэтому при подсушивании почвенной пробы ее обитатели проявляют ясно выраженный положительный геотаксис.

Проба доставляется к эклектору возможно скорее, желательно с сохранением естественной влажности (завернутая в клеенку или пергаментную бумагу, в ненарушенном состоянии). Монолит помещается осторожно на сито, вставленное в конусовидную воронку (жестяную, из гладкого картона или чертежной бумаги). Под нижнее отверстие воронки подставляется (прикрепляется) склянка (пенициллиновый флакон) с 2-3%-ным формалином или 70%-ным спиртом.

При подсушивании пробы (которую желательно помещать на сито по возможности в ненарушенном состоянии с сохранением естественного направления в ней слоев) помещаемой над ней лампочкой или на солнце находящиеся в пробе животные передвигаются вниз.

Мелкие беспозвоночные проваливаются сквозь сито, попадают в воронку и по гладким крутым стенкам воронки скатываются в склянку, подставленную под воронку. Необходимо следить, чтобы температура поверхности пробы не поднималась выше 35-40°C. Имеются и другие типы эклекторов, например походная установка.

После окончания просушки пробы фиксирующая жидкость с находящимися в ней беспозвоночными процеживаются через складчатый фильтр, разграфленный графитным карандашом на квадратики (для удобства подсчета).

После процеживания фильтр расправляется на чашке Петри и под бинокулярной лупой подсчитываются все мелкие членистоногие по видам, используя специальные определители. С фильтра мелких насекомых переносят в спирт при помощи препаровальной иглы, заостренной деревянной палочки или мягкой кисточки.

В более влажную погоду для общего учета численности мелких членистоногих можно ограничиться анализом слоя 10 см толщины и удвоить полученные цифры. При учете же в сухой период года или при учете в целях точного выяснения послойного распределения их в почве необходимо выкопать яму, а затем из 120 свежезачищенной стенки ее на разных исследуемых глубинах вырезаются монолиты почвы определенного объема.

Мелких членистоногих (клещей, ногохвосток и др.) лучше всего хранить в пробирках с 70%-ным спиртом, затыкаемых ватными пробками и помещенных в общую банку со спиртом данной концентрации.

Учет других групп микрофауны почвы (нематод, простейших, раковинных амеб и др.) проводят с применением методов, описанных в специальной литературе.

Лабораторная работа № 54

ТРОФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФАУНЫ

Пищевая активность почвенной фауны является одним из важнейших интегральных показателей состояния почвенной биоты. Метод приманочных пластинок (biat-lamina test), предложенный Э. Тёрне, удобен для получения достоверных данных о трофической активности почвенных животных за относительно короткий срок. Этот в принципе простой способ предназначен для того, чтобы при относительно небольших затратах труда получить значительный объем данных, пригодных для статистической обработки.

Пластинки из твердого пластика длиной 16 см, шириной 0,5 см и толщиной 1,5 мм с 16 отверстиями диаметром 2 мм, расположенными на расстоянии 5 мм между центрами при помощи специального устройства в виде ножа погружают в почву до верхнего края верхнего отверстия. Отверстия с обеих сторон зафальцованы, чтобы сухая приманка не выпадала из паза.

Приманка представляет собой смесь порошка листьев крапивы и микрокристаллической целлюлозы в соотношении 3:7, которую подсушивают в пластинках в течение двух суток при комнатной температуре. Клетчатку предварительно просеивали через сито размером 0,25 мм, из полученного порошка и воды получали густую массу, которую вносили в отверстия на пластинке. После высушивания приманка, которая находилась в отверстиях пластинки, несколько уменьшалась в размере, образуя «микротаблетки».

Могут быть использованы и другие смеси, например целлюлозы, отрубей хлопья и активного угля (70:27:3). Некоторые авторы предлагают использовать смесь целлюлозы и агар-агара или другие субстраты: маннит, сухое молоко и перегной, овсяные хлопья и активированный уголь или вейник вместо крапивы.

Общим требованием для материала приманки является использование смеси из натуральных материалов, которые поедаются почвенными животными и имеют достаточную консистенцию, эластичность и устойчивость для внесения в почву без повреждений.

Опыт показывает, что смесь крапивных листьев с целлюлозой является наиболее привлекательным пищевым субстратом для коллембол и энхитреид, на которых тестировали различные рецептуры приманок. Предварительно одну пластинку погружают в почву и сразу вынимают, чтобы проверить, есть ли механические повреждения приманки.

Повторность опыта от 16 до 40 пластинок (базовых групп), расположенных на расстоянии 10-30 см друг от друга

Обычно перфорирование приманок оценивают на 10-14-е сутки (von Torne, 1990). Но в зависимости от гидротермических условий экспозиция может составить от 7 до 20 суток.

Результаты представлены как процент перфорированных отверстий. Бинарные данные (0 или 1) регистрируют электронным методом и как ряды их сумм (х- и у-ряды) суммировались в нумерической последовательности. Биометрическая оценка проводилась на основе U-теста по Манну и Уитни. Необходимо проводить контрольное измерение количества поврежденных отверстий при погружении и выемки полос из почвы (холостая проба).

В сухие глинистые почвы погрузить полосы практически невозможно без специальных приспособлений (специальный стальной нож или подобный металлический стержень).

В этих случаях рекомендуют предварительное увлажнение почвы. После считывания, собранные полосы хранятся в полиэтиленовых пакетах, чтобы сохранить приманки от высыхания и предотвращения образования трещин, которые могли бы быть истолкованы, как отверстия, образованные почвенной фауной.

Метод удачно зарекомендовал себя в оценке различных воздействий на почвенный покров: разные виды мелиораций, загрязнение, рекреационная нагрузка, питательный режим и т.д.

Лабораторная работа № 55

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПОЧВЕННО-ЗООЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одна из важнейших методических трудностей почвенно-зоологических исследований – полнота учета видового состава исследуемых групп в данном биотопе или районе.

Полнота учета видового состава достигается либо увеличением числа проб, либо более рациональным их размещением.

Основные экологические характеристики биоты:

- качественный состав таксонов и экологических групп;
- количественные характеристики – встречаемость и обилие;
- трофо-энергетические характеристики.

Встречаемость занимает промежуточное положение между качественными и количественными характеристиками. Встречаемость определяется как число проб, где встречен данный вид (независимо от количества особей в пробе), к общему числу проб.

Обычно встречаемость используется как показатель распределения по площади – гомогенного, спорадического, локального. Для этого встречаемость сопоставляется с численностью.

Если численность в отдельных пробах высока, а встречаемость мала, то вид в пределах биотопа распределен скоплениями.

Коэффициент **агрегации** (λ): $\lambda = \sigma / \sqrt{M}$ При λ близком к нулю – равномерное распределение особей по площади, при $\lambda = 1$ – случайное. Невысокая численность при высокой встречаемости предполагает гомогенное распределение.

Встречаемость сильно зависит от размера пробы. Из показателей обилия наиболее важен показатель массы организмов. При определении массы необходимо быстрое взвешивание.

Значимость определяется, прежде всего, по показателям метаболизма. При индикации и диагностике с использованием почвенно-зоологических исследований часто используются некоторыми показателями разнообразия.

Коэффициент фаунистического сходства **Жаккара**: $K_s = C / (A + B - C)$, где C – число видов, общих для двух сравниваемых группировок; A – число видов в первой группировке; B – то же, во второй.

Формула **Серенсена-Чекановского** при тех же обозначениях имеет вид: $K_s = 2C / (A + B)$ Эти коэффициенты можно выражать как в долях, так и в процентах.

Формула Жаккара более строгая, так как получаемые с ее помощью коэффициенты соответствуют реальному сходству, тогда как формула Серенсена дает относительные величины.

Индекс сходства по обилию получается как отношение удвоенной суммы минимальных значений (из каждых двух) общих видов к суммарному обилию всех видов в обоих сообществах, т.е. $K_n = 2\sum c_{\min}/(a+b)$

Коэффициент **Б.А. Вайнштейна** (биогеоценологического сходства): $K_w = K_n * K_f / 100$ где K_f – коэффициент сходства Жаккара.

Индекс таксономической насыщенности **Менхиника** (D_{mn}) $D_{mn} = S/\sqrt{N}$ где S – видовое богатство, N – общая численность мезофауны

Лабораторная работа № 56 **ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.** **ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ**

На основании многочисленных исследований, проведенных для различных типов почв, рекомендуется определение активности ферментов проводить с одинаковой навеской (1 г) свежей воздушно-сухой, очищенной от растительных остатков и камней, почвы, просеянной через сито диаметром отверстий 1 мм, при постоянной температуре 30°C (кроме каталазы - 20°C, активность которой определяется газометрически), при естественных значениях pH.

Обязательно необходим анализ контрольных образцов (образцы, стерилизованные в течение 3 часов в сушильном шкафу при 180°C) для установления каталитической активности почвы и контроль для определения чистоты реактивов.

Во многих методиках рекомендуется определение активности фермента при оптимальном для него значениях pH. Однако с целью выявления активности фермента в реальных условиях при биодиагностике почв авторы придерживаются рекомендаций А.Ш. Галстяна об определении активности при естественной реакции среды почвы. Активность ферментов следует выражать в одинаковых единицах продукта реакции на определенную массу почвы (обычно 1 г).

При анализе активности ферментов (особенно каталазы) в большом количестве образцов удобно заранее приготавливать взвешенные навески почвы в пакетики из кальки, а лучше в сухие чистые пробирки.

КАТАЛАЗА

Каталаза катализирует реакцию разложения перекиси водорода с образованием воды и молекулярного кислорода. Перекись водорода

образуется в процессе дыхания живых организмов и в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ.

Токсичность перекиси водорода определяется его высокой реакционной способностью, которую проявляет синглетный кислород, $*O_2$. Его высокая реакционная способность приводит к неконтролируемым реакциям окисления.

Роль каталазы заключается в том, что она разрушает ядовитую для организмов перекись водорода.

Каталаза широко распространена в клетках живых организмов, в том числе микроорганизмов и растений. Высокую каталазную активность проявляют также почвы.

Методы определения каталазной активности почвы основаны на измерении скорости распада перекиси водорода при взаимодействии ее с почвой по объему выделяющегося кислорода (газометрические методы) или по количеству неразложившейся перекиси, которое определяют перганатометрическим титрованием или колориметрическим методом с образованием окрашенных комплексов.

При хранении образцов активность каталазы из всех ферментов снижается в наибольшей степени, поэтому ее определение необходимо проводить в первую неделю после отбора образцов.

Метод А.Ш. Галстяна

Для определения активности каталазы используют прибор из двух соединенных резиновым шлангом бюреток. Бюретки заполняют водой. Уровень воды в бюретках уравнивают. Необходимо поддерживать определенный уровень воды в бюретках, это свидетельствует о достижении температурного равновесия в приборе. Навеску (1 г) почвы вносят в одно из отделений сдвоенной

колбы. Обычно рекомендуемое внесение мела роли не играет. В другое отделение колбы приливают 5 мл 3%-ного раствора перекиси водорода. Колбу плотно закрывают каучуковой пробкой со стеклянной трубкой, которая соединена с измерительной бюреткой с помощью резинового шланга. Вместо сдвоенной колбы возможно применение обычной конической колбы, куда пинцетом устанавливают маленький сосуд для перекиси. После закрытия пробки перекись смешивают с почвой опрокидыванием сосуда при встряхивании колбы.

Опыт проводят при температуре 20°C. При другой температуре скорость реакции будет отличаться, что исказит результаты. В принципе, важна температура не воздуха, а перекиси, температура которой должна быть 20°C. В случае значительных отличий температуры воздуха от 20°C (чаще всего летом), рекомендуется проводить анализ в подвале или другом прохладном помещении. Рекомендованное в таких случаях применение водяной бани с температурой 20°C вряд ли эффективно в случае сильных отклонений температуры воздуха от рекомендованной при анализе.

Начало опыта отмечают по секундомеру или песочным часам в тот момент, когда перекись смешивается с почвой, и содержимое сосуда встряхивают. Взбалтывание смеси производят в течение всего опыта, стараясь не касаться колбы руками, держа ее за пробку. Выделяющийся кислород вытесняет из бюретки воду, уровень которой отмечают через 1 и 2 мин. Рекомендации определять количество кислорода через каждую минуту в течение 3 минут ввиду прямолинейности реакции разложения перекиси лишь увеличивает затраты времени на анализ.

Один исследователь при использовании данной методики способен за день проанализировать активность каталазы более чем 100 образцов. Удобно проводить анализ вдвоем и с использованием 5-6 сосудов. Один человек непосредственно занимается анализом и следит за уровнем бюретки, второй следит за временем, записывает данные и моет использованные сосуды.

Контролем служат стерилизованная сухим жаром (180°C) почва. Некоторые почвы, соединения и минералы обладают высокой активностью неорганического катализа разложения перекиси даже после стерилизации - до 30-50% от общей активности.

Активность каталазы выражают в миллилитрах O₂, выделяющегося за 1 мин. из 1 г почвы.

РЕАКТИВЫ: 3%-ный раствор H₂O₂. Концентрацию пергидроля **обязательно** периодически проверяют, рабочий раствор готовят непосредственно перед анализом. Для установления концентрации пергидроля на аналитических весах в мерной колбе емкостью 100 мл взвешивают 1 г H₂O₂, объем доводят до метки и взбалтывают. Берут 20 мл полученного раствора в конические колбы на 250 мл (3 повторности), добавляют 50 мл дистиллированной воды и 2 мл 20% H₂SO₄. Затем

титруют 0,1 н. KMnO_4 . 1 мл KMnO_4 соответствует 0,0017008 г H_2O_2 . После установления концентрации пергидроля готовят 3% раствор разбавлением дистиллированной водой. Титровальный раствор KMnO_4 готовят из фиксаля и выдерживают несколько дней для установления титра.

ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

Дегидрогеназы катализируют окислительно-восстановительные реакции путем дегидрирования органических веществ. В почве субстратом дегидрирования могут быть неспецифические органические соединения (углеводы, аминокислоты, спирты, жиры, фенолы и т.д.) и специфические (гумусовые вещества).

Дегидрогеназы в окислительно-восстановительных реакциях функционируют как переносчики водорода и разделяются на две группы: 1) аэробные, которые передают мобилизованный водород кислороду воздуха; 2) анаэробные, которые передают водород другим акцепторам, ферментам.

Основным методом обнаружения действия дегидрогеназ является восстановление индикаторов с низким редокс-потенциалом типа метиленовой сини. Для определения активности дегидрогеназ почвы в качестве водорода применяют бесцветные соли тетразолия (2,3,5-трифенилтетразолий хлористый -ТТХ), которые восстанавливаются в красные соединения формазанов (трифенилформазан - ТФФ).

Навеску (1 г) подготовленной почвы аккуратно через воронку помещают на дно пробирки емкостью 12-20 мл, и тщательно перемешивают. Прибавляют 1 мл 0,1 М раствора субстрата дегидрирования (глюкоза) и 1 мл свежеприготовленного 1%-ного раствора ТТХ. Пробирки помещают в анаэроостат или вакуумный эксикатор.

Определение проводят в анаэробных условиях, для чего воздух эвакуируют при разряжении 10-12 мм рт. ст. в течение 2-3 мин и ставят в термостат на 24 часа при 30°C. При инкубировании почвы с субстратами толуол в качестве антисептика не прибавляют, так как он сильно ингибирует действие дегидрогеназ.

Контролем служат стерилизованная почва (при 180°C в течение 3 часов) и субстраты без почвы. После инкубации в колбы добавляют 10 мл этилового спирта или ацетона, встряхивают 5 мин. Полученный окрашенный раствор ТФФ фильтруют и колориметрируют. При очень

интенсивной окраске раствор разбавляют спиртом (ацетоном) в 2-3 раза. Используют 10 мм кюветы и светофильтр с длиной волны 500-600 нм. Количество формазана в мг рассчитывают по стандартной кривой (0,1 мг в 1 мл). Активность дегидрогеназ выражают в мг ТТФ на 10 г почвы за 24 часа. Ошибка определения до 8%.

РЕАКТИВЫ: 1) 1%-ный раствор 2,3,5-трифенилтетразолия хлористого; 2) 0,1 М раствор глюкозы (18 г глюкозы растворяют в 1000 мл дистиллированной воды; 3) этиловый спирт или ацетон; 4) трифенилформазан для стандартной шкалы. Для составления калибровочной кривой готовят ряд растворов в этиловом спирте, ацетоне или толуоле с концентрацией формазана (от 0,01 до 0,1 мг формазана в 1 мл) и фотокolorиметрируют как описано выше.

При отсутствии формазана, его получают восстановлением ТТХ гидросульфитом натрия, сульфитом аммония, порошком цинка в присутствии глюкозы или др.

Исходная концентрация раствора ТТХ 1 мг/мл. К 2 мл исходного раствора ТТХ добавляют на кончике ланцета кристаллический гидросульфит натрия. Выпавший осадок формазана извлекают 10 мл толуола. В этом объеме толуола содержится 2 мг формазана (0,2 мг/мл). Дальнейшим разведением готовят рабочие растворы для шкалы.

ФЕРРИРЕДУКТАЗЫ

Восстановление соединений железа характерно для почвообразования в гумидных районах с преобладанием анаэробных условий в почвенном профиле. В

этом непосредственное участие принимают многие виды микроорганизмов с помощью своих метаболитов, среди которых биологически активными являются ферменты. При восстановлении железа в почве участвуют дегидрогеназные системы. Эти ферменты называются ферриредуктазами (Fe_2O_3 -редуктазы).

Дегидрогеназы почвы (ферриредуктазы) используют кислород окиси железа в качестве конечного акцептора электронов в цепи окислительно-восстановительных процессов в почве. При этом окись железа восстанавливается в закисную форму. Донорами водорода могут служить различные органические соединения почвы.

Высокая активность ферриредуктазы обнаруживается в гидроморфных почвах пойм рек и внепойменных переувлажненных почвах

мочаров, где она может служить индикатором процессов переувлажнения.

Модифицированный метод А.Ш. Галстяна, Н.А. Оганесяна

Метод основан на определении количества образующегося двухвалентного железа при взаимодействии окиси железа с почвой.

1 г почвы помещают в пробирку емкостью 12-15 мл, вносят 10 мг окиси железа, в виде тонко измельченного порошка, тщательно перемешивают и добавляют 1 мл дистиллированной воды и 1 мл 1%-ной глюкозы. Пробирки осторожно встряхивают и помещают в анаэроостат или вакуумный эксикатор.

Воздух из анаэроостата (вакуумного эксикатора) откачивают при разряжении 10-12 мм рт. ст. и помещают в термостат на 48 ч. при 30°C. В качестве контролей ставят почву с водой вместо субстрата и субстрат без почвы. После инкубирования в термостате в опытную и контрольную пробирку добавляют 8 мл 1 н. серной кислоты для экстрагирования восстановленного железа. Пробирки встряхивают 5 мин и центрифугируют 3 мин при 3000 об/мин. К 5 мл фильтрата добавляют 4 мл ацетатного буферного раствора и 1 мл 0,5%-ного раствора фенантролина. Раствор перемешивают. В случае интенсивной окраски фильтрат следует разбавить.

Через 30 мин окрашенный раствор колориметрируют, используя кюветы на 10 мм и зеленый светофильтр (500 нм). Количественный учет восстановленного железа производят с помощью калибровочного графика, построенного по данным стандартных растворов солей Мора.

$$C = C_{\text{график}} \times 200$$

Активность ферриредуктазы выражают в миллиграммах восстановленного Fe_2O_3 на 100 г почвы за 48 ч.

1) Fe_2O_3 (тонко растертый в ступке порошок); 2) 1%-ный раствор глюкозы (свежеприготовленный); 3) 1 н. раствор H_2SO_4 ; 4) ацетатный буфер - 100 г CH_3COONa растворяют в 500 мл воды, добавляют 300 мл ледяной уксусной кислоты и объем раствора доводят до 1 л; 5) 0,5%-ный раствор фенантролина (дипиридила) в 0,1 н. HCl ; 6) стандартный раствор соли Мора: 0,1 мг Fe в 1 мл 0,7022г $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ растворяют в холодной прокипяченной дистиллированной воде, подкисленной 2 мл концентрированной H_2SO_4 , и разбавляют водой до 1 л. Рабочие растворы железа готовят разведением

стандартного раствора. Для составления шкалы к 5 мл рабочих растворов прибавляют 4 мл ацетатного буферного раствора и 1 мл 0,5%-ного раствора фенантролина и фотометрируют как описано выше.

ПЕРОКСИДАЗЫ

Пероксидазы осуществляют окисление органических веществ почв (фенолов, аминов, некоторых гетероциклических соединений) за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей, образующихся в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов и действия некоторых оксидаз (например, уратоксидазы). Эти ферменты играют важную роль в процессе образования гумуса.

При определении пероксидазной активности почвы в качестве акцепторов кислорода используют полифенолы: пирогаллол, пирокатехин и др. Под действием кислорода перекиси при участии пероксидазы полифенолы окисляются и переходят в хиноны.

Методы определения пероксидазной активности почвы основаны на учете

количества продуктов окисления полифенолов, используемых в качестве субстратов фермента, путем фотометрических измерений интенсивности их окраски в случае образования окрашенных соединений (например, пурпургаллина) или методом титрования.

Метод А.Ш. Галстяна

1 г почвы помещают в мерные колбы емкостью 50 мл с притертыми пробками, затем вносят 10 мл 1%-ного раствора пирогаллола и 2 мл 0,5 %-ной перекиси водорода. Содержимое колбы встряхивают, и колбы ставят в термостат на 30 мин при 30°C. Реакцию останавливают прибавлением 5 мл 20%-ной серной кислоты.

Образовавшийся пурпургаллин извлекают серным эфиром, для чего в колбу после инкубации доливают до метки эфир, энергично взбалтывают несколько раз, и окрашенную эфирную фазу смеси, содержащую растворенный пурпургаллин, колориметрируют. В случае высокого содержания пурпургаллина экстракцию его из почвы повторяют до получения бесцветного эфирного раствора, после чего все эфирные вытяжки соединяют и доводят до определенного объема, до-

бавляя эфир. При колориметрировании эфирного раствора пурпургаллина используют кюветы толщиной 10 мм и светофильтр с длиной волны 430 нм.

Для внесения корректив на эфирорастворимые органические вещества почвы и чистоту пирогаллола ставят контроли - соответственно почва без субстратов и субстраты без почвы. В контроле - почва без субстрата - почву инкубируют с 12 мл воды. Количество пурпургаллина находят по стандартной кривой, составленной по раствору бихромата калия.

Активность пероксидазы выражают в миллиграммах пурпургаллина на 100 г почвы за 30 мин.

РЕАКТИВЫ: 1) 1%-ный раствор 1,2,3-пирогаллола; 2) 0,5%-ный раствор H_2O_2 ; 3) серный эфир; 4) 0,5 н. HCl ; 5) 20%-ный раствор H_2SO_4 ; 6) стандартный раствор бихромата калия: 0,75 г $K_2Cr_2O_7$ в 1 л 0,5 н. HCl . (Это соответствует 5 мг пурпургаллина в 50 мл эфира.) Для составления калибровочной кривой делают соответствующие разведения стандартных растворов и просматривают на колориметре

ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ

Полифенолоксидазы участвуют в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса. Они катализируют окисление фенолов (моно-, ди-, три-) до хинонов в присутствии кислорода воздуха. Хиноны в соответствующих условиях при конденсации с аминокислотами и пептидами образуют первичные молекулы гуминовой кислоты.

Методы определения полифенолоксидазной активности почвы основаны на измерении скорости окисления внесенных в почву полифенолов. Наиболее активно окисляется пирогаллол.

Метод А.Ш. Галстяна

В процессе взаимодействия пирогаллола с почвой происходит окисление его под действием полифенолоксидаз при участии кислорода воздуха. Образующийся пурпургаллин определяют колориметрически.

Активность полифенолоксидазы определяют тем же способом, что и активность пероксидазы, за исключением того, что в реакционную среду не вносят перекись водорода.

Активность полифенолоксидазы выражают в миллиграммах пурпургаллина на 100 г почвы за 30 мин.

РЕАКТИВЫ: 1) 1%-ный раствор 1,2,3-пирогаллола; 2) серный эфир; 3) 0,5 н. HCl; 4) 20%-ная H₂SO₄; 5) стандартный раствор бихромата калия: 0,75 г K₂CrO₇ в 1 л 0,5 н. HCl. (Это соответствует 5 мг пурпургаллина в 50 мл эфира).

АСКОРБАТОКСИДАЗА

(L - аскобат: кислород-оксидоредуктаза. КФ 1.10.3.3)

Аскорбиновая кислота (витамин C) является широко распространенным в растениях и микроорганизмах соединением, поступающим также в почву. Под действием аскорбатоксидазы она превращается в дегидроаскорбиновую кислоту.

Аскорбатоксидаза широко распространена в растениях и играет роль «конечной» оксидазы в процессе клеточного дыхания. Почвы также проявляют аскорбатоксидазную активность.

Метод А.Ш. Галстяна, Л.Г. Марукяна

Метод основан на определении остаточного количества аскорбиновой кислоты в процессе реакции при использовании ее редуцирующих свойств. Разница между количеством остаточной аскорбиновой кислоты и внесенной в почву равняется количеству образующейся дегидроаскорбиновой кислоты.

1 г почвы помещают в колбы емкостью 50 мл, добавляют 1 мл 1%-ного раствора аскорбиновой кислоты и 1 мл воды. Колбы осторожно встряхивают, закрывают корковыми пробками и ставят в термостат на 1 час при температуре 30°C. После инкубации добавляют 28 мл 1%-ной соляной кислоты, встряхивают в течение 5 мин и фильтруют. 5 мл фильтрата переносят в колбы емкостью 200-250 мл, где было налито 45 мл воды. Количество аскорбиновой кислоты определяют титрованием 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенола до розового

окрашивания, которое не исчезает в течение 1 мин. Контроли: субстрат без почвы, стерилизованная почва (в автоклаве при 1,5 атм. в течение 1 часа) и почва с водой (без субстрата).

Активность аскорбатоксидазы выражают в миллиграммах дегидроаскорбиновой кислоты на 100 г почвы за 1 ч. Расчет производят,

принимая во внимание, что количество аскорбиновой кислоты эквивалентно количеству образующейся дегидроаскорбиновой кислоты.

$$x = [B - (A - D)] - [B - (C - D)] K \cdot 6 \cdot 100,$$

где количество 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенола (в мл) израсходовано на титрование: А - в опытном варианте, В - в контроле без почвы, С - в варианте со стерильной почвой, D - в варианте с почвой без субстрата, К - количество аскорбиновой кислоты, эквивалентное 1 мл 0,001 н. 2,6- дихлорфенолиндофенола (устанавливают титрованием стандартного раствора аскорбиновой кислоты), мг; 6 - коэффициент для пересчета на весь объем фильтрата; 100 - коэффициент для пересчета на 100 г почвы.

РЕАКТИВЫ: 1) 1%-ный раствор аскорбиновой кислоты, 2) 1%-ная HCl, 3) 0,001 н. раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола (синьки), 4) стандартный раствор аскорбиновой кислоты, (в мг/мл).

ИНВЕРТАЗА

Инвертаза является карбогидразой, она действует на β - фруктофуранозидазную связь в сахарозе, раффинозе, генцианозе и др. Наиболее активно этот фермент гидролизует сахарозу с образованием редуцирующих сахаров – глюкозы и фруктозы.

Инвертаза широко распространена в природе и встречается почти во всех типах почв. Очень высокая активность инвертазы обнаружена в горнолуговых почвах. Активность инвертазы четко коррелирует с содержанием гумуса и почвенным плодородием.

Рекомендуется при исследовании влияния удобрений для определения их эффективности. Методы определения активности инвертазы почв основаны на количественном учете восстанавливающих сахаров по Бертрану и по изменению оптических свойств раствора сахарозы до и после воздействия фермента. Первый способ может быть применен при изучении фермента с очень

широкой амплитудой активности и концентрации субстрата. Поляриметрический и фотокolorиметрический способы более требовательны к концентрации сахаров и неприемлемы для почв с высоким содержанием органического вещества, где получают окрашенные растворы; поэтому эти методы ограничено применяются в

почвенных исследованиях.

Модифицированный колориметрический метод Ф.Х. Хазиева

Навески (1 г) подготовленной почвы помещают в колбы емкостью 50 мл, добавляют 5 мл 3%-ного свежеприготовленного раствора сахарозы на фосфатном буфере (рН 4,9) и каплю-две толуола. При биодиагностике почв активность инвертазы определяют без добавления буфера - при рН почвы. Колбы закрывают корковыми пробками, осторожно встряхивают и помещают в термостат при 30°C на 24 часа (в случае слабой активности и минеральных горизонтов – 48 ч). Контролем служат субстраты без почвы и почва, стерилизованная сухим жаром при 180°C в течение 3 часов.

В течение инкубации колбы периодически встряхивают. После инкубации в колбы добавляют 25 мл дистиллированной воды, взбалтывают и фильтруют. В случае высокой активности инвертазы (особенно в горнолуговых и торфянистых почвах с высоким содержанием гумуса) количество добавляемой воды увеличивают до 50-100 мл. В случае низкой активности количество дистиллята уменьшают до 5-10 мл. Разведение учитывают при расчетах активности фермента.

Берут пипеткой 6 мл фильтрата в пробирку объемом 15-20 мл. Добавляют пипеткой 6 мл реактива Феллинга, перемешивают. Пробирку с ярко-синим раствором нагревают на кипящей водяной бане 10 мин. При нагревании часть меди реактива Феллинга восстанавливается и выпадает в осадок красного цвета, при этом раствор осветляется. Далее пробирки охлаждают, содержимое центрифугируют 1-3 мин при 1500-3000 об/мин. Колориметрировать при длине волны 630 нм в кюветах шириной 1 см.

Окрашенный раствор лучше колориметрировать на фотоэлектроколориметре

КФК-3 с непрерывной шкалой, так как при использовании КФК-2 или подобных ему приборов с ограниченной шкалой дает неточные результаты, так как большинство значений ложатся в левой недробной половине шкалы.

Количество глюкозы (мг/мл) определяют по калибровочной кривой. Полученные данные умножают на 30 (общий объем раствора). Активность инвертазы выражают в миллиграммах глюкозы на 1 г почвы за 24 часа.

РЕАКТИВЫ: 1) свежеприготовленный 3%-ный раствор сахарозы (для хранения раствора в течение нескольких дней добавляют несколько капель толуола); 2) толуол; 3) реактив Феллинга, готовый реактив не хранится и готовится он смешиванием двух растворов перед анализом: раствор-1 - 100 г сегнетовой соли (калий-натрий виннокислый) растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 75 г КОН или NaOH и доводят объем до 500 мл; раствор-2 - 20 г CuSO₄ растворяют в дистиллированной воде и доводят до 500 мл, 4) стандартный раствор глюкозы.

Исходный раствор: 6 мг глюкозы в 1 мл дистиллированной воды (0,6 г глюкозы в 100 мл воды). Рабочие растворы готовят, доводя 1, 2, 5, 10, 15, 20 мл исходного раствора (соответственно 0,06, 0,12, 0,30, 0,6, 0,9 и 1,2 мг глюкозы в 1 мл раствора) дистиллятом в мерных колбах до 100 мл. Далее к 6 мл растворов добавляют реактив Феллинга и дальше действуют по описанной выше методике.

α - И β - АМИЛАЗЫ

(α - амилаза: 1,4 - α - глюкан - глюканогидролаза. КФ 3.2.1.1.;

β -амилаза: 1,4 - α - глюкан - мальтогидролаза. КФ 3.2.1.2.)

Ферменты амилазы осуществляют гидролиз крахмала с образованием декстринов и мальтозы. Крахмал входит в состав органических остатков, попадающих в почву.

В природе встречаются два типа амилаз: α - амилаза гидролизует 1,4 - α -глюкозидные связи в полисахаридах (крахмал, гликоген и родственные поли- и олигосахариды), содержащих три или более остатков α - глюкозы, соединенных 1,4 - α - связями; β -амилаза гидролизует 1,4 - β - глюкозидные связи в полисахаридах (крахмал, гликоген и родственные поли- и олигосахариды), последовательно отщепляя остатки мальтозы и образуя путем инверсии β - мальтозу.

В почвах преобладает β -амилаза. Методы определения активности амилазы почв основаны на измерении количества редуцирующих сахаров, образующихся при гидролизе крахмала в почве.

Метод А.Ш. Галстяна

ХОД АНАЛИЗА: 1 г почвы помещают в колбу емкостью 50 мл, несколько капель толуола и 5 мл 2%-ного раствора крахмального клейстера, приготовленного на ацетатном буфере (рН 5,9). Колбу ставят в

термостат на 24ч при 30°C. После завершения инкубации в колбы приливают 25 мл воды и фильтруют. Редуцирующие сахара определяют колориметрическим методом. Взять пипеткой 6 мл фильтрата в большую пробирку. Добавить пипеткой 6 мл реактива Феллинга, перемешать.

Пробирку с раствором нагревать на кипящей водяной бане 10 мин, охладить, содержимое перенести в пробирку; центрифугировать 1-3 мин при 1500-3000 тыс.

об./мин. Колориметрировать при длине волны 630 нм в кюветах шириной 1 см.

Количество глюкозы рассчитывается по калибровочной кривой. Исходный стандартный раствор: 6 мг глюкозы в 1 мл воды. В качестве контроля используют почву, стерилизованную сухим жаром при 180°C в течение 3 час. Активность амилазы выражают в миллиграммах глюкозы на 1 г почвы за 24 часа.

РЕАКТИВЫ: 1) 2%-ный крахмал; 2) толуол; 3) ацетатный буфер (рН 5,9); остальные реактивы такие же, как использовались для определения инвертазы.

ПРОТЕАЗЫ

Протеолитические ферменты катализируют гидролитическое расщепление белковых веществ до пептидов и гидролиз этих продуктов до аминокислот. Протеазы делят на две группы: протеиназы и пептидазы. Первые из них расщепляют настоящие белки, а вторые катализируют распад полипептидов и дипептидов до аминокислот. Однако такое деление довольно условно.

При определении активности протеаз в почве в качестве субстрата обычно применяют казеин, желатину и некоторые пептиды. Активность протеаз учитывают по количеству аминокислот или других кислоторастворимых продуктов, освобождающихся при распаде белковых субстратов в почве, или по изменению физических свойств субстрата, например по уменьшению вязкости.

Колориметрические методы основаны на учете количества аминокислот, образующихся при протеолизе внесенных в почву белков, путем связывания их в окрашенные комплексы.

Метод А.Ш. Галстяна

1 г почвы помещают в стеклянную колбу емкостью 50 мл, прибавляют 5 мл 1%-ного раствора желатины или казеина, приготовленного на фосфатном буфере (рН 7,4), и 0,2 мл толуола. Колбу тщательно встряхивают, закрывают корковой пробкой и ставят в термостат на 24 ч при температуре 30°C, периодически встряхивают. После инкубации добавляют 5 мл воды и содержимое колбы фильтруют. Из фильтрата берут 5 мл раствора в пробирку, прибавляют 0,5 мл 0,1 н. серной кислоты и 3 мл 20%-ного сернокислого натрия для осаждения белков.

Затем снова фильтруют в пробирку и прибавляют 1 мл 2%-ного раствора нингидрина.

Смесь тщательно взбалтывают и нагревают на кипящей водяной бане в течение 10 мин. Полученный окрашенный раствор из пробирки переливают в мерную колбу емкостью 50 мл, объем доводят дистиллированной водой до метки и проводят фотоколориметрирование, используя зеленый светофильтр (длина волны 500- 560 нм). Контрольные пробы ставят со стерилизованной сухим жаром почвой и субстратом без почвы. Количество аминокислот в переводе на глицин находят по калибровочной шкале, составленной на чистый глицин. Активность протеазы выражают в миллиграммах глицина на 1 г почвы за 24 ч.

РЕАКТИВЫ. 1) 1%-ный раствор желатины или казеина в фосфатном буфере (рН 7,4) - при биодиагностике используют водный раствор; 2) толуол; 3) фосфатный буфер (рН 7,4); 4) 0,1 н. H₂SO₄; 5) 20%-ный раствор Na₂SO₄; 6) 2%-ный раствор нингидрина: 2 г нингидрина растворяют в 100 мл ацетона. Рабочий раствор готовят, смешивая 95 мл ацетонового раствора с 1 мл СН₃СООН и 4 мл воды.

Раствор нестойкий, готовят только перед употреблением; 7) стандартный раствор глицина; водный раствор глицина концентрации 100 мкг в 1 мл. Путем соответствующих разбавлений готовят рабочие растворы, окрашивают нингидрином и составляют шкалу.

УРЕАЗА

Уреаза гидролизует карбамид (мочевину) до аммиака и углекислого газа. В почве мочевина (карбамид) образуется в процессе превращения азотистых органических соединений - белков и нуклеиновых кислот. В значительном количестве карбамид вносится с навозом и в форме концентрированного азотного удобрения.

Образовавшийся в результате уреазной реакции аммиак служит непосредственным источником азотного питания растений. Поэтому активность уреазы является одним из важнейших показателей биологической активности почв. Методы определения активности уреазы почвы основаны на учете количества аммиака, образующегося при гидролизе карбамида.

Навески (1 г) подготовленной почвы помещают в колбы на 50 мл, добавляют 5 мл 3%-ной мочевины и 1-2 капли толуола. Контролем служат стерилизованная почва (180°C, 3 часа) и субстраты без почвы. Колбы закрывают корковыми пробками, встряхивают и ставят в термостат при 30°C на 24 часа.

В течение инкубации колбы периодически встряхивают. По окончании инкубации в колбу добавляют 15 мл 1,0 н. раствора KCl и встряхивать в течение 5 мин для вытеснения из почвы аммиака. Содержимое колбы переносят в центрифужную пробирку и центрифугируют 5-10 мин при 3000 об/мин или фильтруют через складчатый беззольный фильтр. Берут пипеткой 2-10 мл фильтрата (в зависимости от содержания аммиака, в черноземах 2 мл) в мерную колбу на 50 мл, дистиллированной водой доводят объем до 30 мл, перемешивают.

Прибавляют из бюретки 2 мл 30%-ного раствора калия-натрия виннокислого, перемешивают. Прибавляют из бюретки 2 мл реактива Несслера, перемешивают, доводят водой до метки, перемешивают. Колориметрируют на фотоэлектроколориметре в кюветах шириной 30 мм с синим светофильтром (длина волны 400 нм).

Количество аммиака рассчитывают по предварительно составленной калибровочной кривой. Стандартный раствор: 0,1 мг NH₃ в 1 мл воды.

Примечание. Дистиллированную воду необходимо проверять на содержание аммиака. Контроль - предварительно стерилизованная сухим жаром почва при 180°C в течение 3 часов.

Активность уреазы выражается в миллиграммах NH₃ на 10 г почвы в сутки:

$$\text{NH}_3 = (a - б) \times p \times 10 / n$$

где а - количество аммиака по графику, мг; б - количество аммиака в контроле по графику, мг; n - навеска воздушно-сухой почвы, г; p - разведение.

1) 3%-ный раствор мочевины; 2) 1 н. раствор KCl: 74,5 г хлористого калия растворить в дистиллированной воде и довести до 1 л; 3) 30% раствор сегнетовой соли; 4) реактив Несслера; 5) стандартный раствор NH_4Cl в концентрации 0,005 мг N- NH_3 в 1 мл.

ФОСФОГИДРОЛАЗЫ

Фосфогидролазы - это большая группа ферментов, катализирующих гидролиз разнообразных фосфорорганических соединений по фосфоэфирным связям.

В почве обнаружены различные фосфогидролазы: 1) кислые и щелочные фосфатазы, гидролизующие моноэфиры фосфорной кислоты (глицерофосфаты, сахарофосфаты и др.); 2) фитазы - специфические ферменты, отщепляющие остатки фосфорной кислоты от фитина; 3) нуклеазы (дезоксирибонуклеазы, рибонуклеазы). Последние катализируют реакции деполимеризации нуклеиновых кислот.

Фосфорорганические соединения составляют важную часть фосфора в почве (от 20 до 80 %) и представлены нуклеиновыми соединениями, производными инозитфосфорной кислоты, фосфогуминовыми комплексами и, незначительно, подвижными сахарофосфатами, глицерофосфатами.

Фосфорорганические соединения почвы превращаются в доступное для растений состояние при ферментативном гидролизе с отщеплением остатков фосфорной кислоты. Активность фосфогидролитических ферментов характеризует активность биохимических процессов мобилизации органического фосфора почвы.

ФОСФАТАЗА

При определении фосфатазной активности в качестве субстрата используют различные моноэфиры фосфорной кислоты. Наиболее широко применяют водорастворимые соли фенолфталеинфосфата, фенолфосфата, глицерофосфата, α - или β -нафтилфосфата и п-нитрофенолфосфата. При их ферментативном гидролизе выделяются минеральный фосфор и органический радикал субстрата.

Методы определения фосфатазной активности почвы основаны на количественном учете неорганического фосфора (молибденовокислым аммонием или др.) или спиртовой части гидролизованного субстрата.

Модифицированный метод А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян (1966)

1 г воздушно-сухой почвы помещают в колбу емкостью 50 мл, добавляют 1 мл воды, прибавляют 1 мл 1%-ного раствора фенолфталеинфосфатанатрия, 1-2 капли толуола. Колбу закрывают корковой пробкой, встряхивают и ставят в термостат на 1 ч. при 30°C. После инкубации прибавляют 25 мл воды.

В случае мутной вытяжки для просветления раствора в колбу добавляют 2 мл насыщенного раствора алюмокалиевых квасцов, взбалтывают и фильтруют через плотный фильтр, доводя до прозрачного состояния раствора. Затем окрашивают фильтрат, добавляя 2 мл 10%-ного NH_4OH .

Окрашенный в розовый цвет фильтрат колориметрируют в кювете 3 см на ФЭК с синим светофильтром (400 нм). Контролем служит стерилизованная почва (180°C, 3 ч.) и субстрат без почвы. Количество образующегося фенолфталеина находят по калибровочной кривой, составленной с различными концентрациями спиртового раствора фенолфталеина.

Найденный в фильтрате фенолфталеин пересчитывают на отщепленный фосфор. При этом исходят из того, что в фенолфталеинфосфате одна молекула фенолфталеина связана с двумя молекулами фосфорной кислоты.

Активность фосфатазы выражают в миллиграммах P_2O_5 на 100 г почвы за 1 ч.

РЕАКТИВЫ: 1%-ный водный раствор фенолфталеинфосфата натрия; 2) 10%-ный NH_4OH ; 3) насыщенный раствор алюмокалиевых квасцов; 4) стандартный раствор фенолфталеина: 0,01 г фенолфталеина растворяют в 60 мл этанола и объем

доводят водой до 100 мл (в 1 мл 0,1 мг фенолфталеина). В мерные колбы емкостью 100 мл берут соответствующие количества стандартного раствора (в мл) с

содержанием от 0,1 до 2 мг фенолфталеина и окрашивают, как описано выше.

Метод В. И. Штатнова. Для работы этим методом необходимо иметь сосуды-изоляторы и сосуды для поглощающего раствора. В качестве изоляторов используют металлические колпаки высотой 10-15 см и диаметром открытой части 16 см. Для предохранения от перегрева

изоляторы окрашивают снаружи в белый цвет. Сосудами для раствора, поглощающего CO_2 , часто служат чашки Петри.

Работа ведется в такой последовательности. На поверхность почвы с помощью подставки устанавливают сосуд для поглощающего раствора, наливают в него 25 мл 0,1 н. раствора щелочи (KOH или NaOH) и сразу накрывают изолятором, края которого врезают в почву на глубину 1,5-2,0 см или присыпают к ним снаружи небольшой слой почвы.

Одновременно устанавливают сосуд со щелочью и изолятор в плоскодонный сосуд с крепким раствором поваренной соли для контрольного, холостого определения.

Через 3-5 ч экспозиции изоляторы снимают, в сосуд с раствором поглотителя приливают 1 мл 20%-ного раствора хлористого бария (для связывания поглощенного CO_2), содержимое чашек перемешивают, переносят в колбочки и титруют по

фенолфталеину 0,1 н. раствором HCl до исчезновения розовой окраски. Если позволяют размеры сосуда-поглотителя, титрование можно проводить непосредственно в сосудах. Аналогичным образом определяют количество поглощенного CO_2

в контрольном сосуде.

Рассчитывают количество выделившегося углекислого газа.

Одновременно с определением биологической активности необходимо определять влажность почвы и ее температуру.

Записи при определении биологической активности почвы по количеству выделившегося углекислого газа ведут по следующей форме

Лабораторная работа № 57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ДЫХАНИЯ» ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ПО КАРПАЧЕВСКОМУ, КИСЕЛЕВОЙ

В пластиковые (стеклянные) стаканчики емкостью 50 мл диаметром 4-6 см (измерить точно для последующего расчета площади поверхности жидкости) аккуратно приливают пипеткой ровно 2 мл 0,2 н. раствора KOH (или 50 мл 0,2 н. раствора KOH в чашки Петри). Стаканчики устанавливают горизонтально на ровную поверхность почвы опытного участка. Отметить время начала опыта. Через 20 мин раствор

в стаканчиках оттитровать из микробюретки (можно 5 мл пипеткой) 0,05 н. раствором H_2SO_4 по фенолфталеину.

Расчет углекислого газа (в кг/га) производится по формуле:

$CO_2 = (a - б) \times n \times 60 \times 108 \times 22 / (S \times t \times 106) = (a - б) \times n \times 6 \times 1000 \times 22 / (S \times t)$ где а - количество H_2SO_4 , пошедшее на титрование раствора КОН, мл; б - количество кислоты, пошедшее на титрование раствора КОН после 20 мин. экспозиции, мл; n - нормальность кислоты; S - площадь поглотителя, см²; t - время экспозиции, мин.

Примечание. Метод может быть рекомендован для лесных почв при условии большой повторности.

В степных условиях на открытой местности часто определению мешает ветер, который искажает результаты и нивелирует разницу между участками определения.

Поэтому в этих условиях рекомендуем применение изолирующего сосуда, в качестве которого в полевых условиях удобно использовать металлическое или пластмассовое ведро. Однако необходимо следить, чтобы в жаркую погоду сосуд не нагревался на Солнце.

РЕАКТИВЫ: 1) 0,2 н. NaOH или КОН; 2) 0,05 н. H_2SO_4 (желательно приготовленный из фиксанала); 3) спиртовой раствор фенолфталеина.

Лабораторная работа № 58

АНАЛИЗ СОСТАВА ПОЧВЕННОГО ВОЗДУХА

С ПОМОЩЬЮ ПГА-75

В последнее время в практику исследований с этой целью стали внедряться портативные газоанализаторы комбинированного типа, в которых углеродсодержащие газы определяются с помощью ИФК-спектоскопии, а кислород – посредством электрохимического датчика. Отечественная промышленность выпускает серию таких приборов под общим названием ПГА (портативный газоанализатор).

Для исследования макрокомпонентов почвенного воздуха наиболее подходящими являются приборы ПГА – 12 (CO_2 , O_2) или ПГА – 7 (CO_2 , CH_4 , O_2). Для отбора проб целесообразно использовать стационарные камеры накопительного типа, устанавливаемые в почве на определенных глубинах в зависимости от цели исследования.

Описание приборов

Портативный газоанализатор ПГА –7 предназначен для определения содержания CO₂, CH₄, O₂ в газовых пробах в диапазоне концентраций 0-2% CO₂, 0-5% CH₄ и 0-30% O₂ с точностью 0,01% CO₂, 0,1% CH₄ и O₂.

Минимальный объем воздушной пробы – 20 см³. Электропитание прибора осуществляется от встроенных аккумуляторов, с максимальным ресурсом работы 16 часов.

Зарядка аккумуляторов производится от обычной сети переменного тока. Габариты прибора 83х33х270 мм при массе не более 0,8 кг. В комплект поставки помимо прибора входят устройства для зарядки аккумуляторов, а также для ручного ввода газовой пробы в прибор и его продувки с помощью резиновой груши. Для установки нуля датчиков используется чистый атмосферный воздух или нулевой поверочный газ (например N₂). При использовании атмосферного воздуха прибор выдает показания: 20,9% O₂, 0,03% CO₂ и 0,0% CH₄. На лицевой панели газоанализатора расположены: цифровое табло, кнопки ВКЛ, ВЫБОР, РЕЖИМ,

ВЫКЛ и светодиод, сигнализирующий о превышении в воздухе пороговой концентрации метана (1%), диоксида углерода (0,5%) и кислорода (19,5%).

Порядок работы на приборе следующий. Нажать кнопку ВКЛ. Если на световом табло отсутствует индикация, зарядить аккумуляторную батарею, присоединив к разъему на крышке прибора зарядное устройство. При заряженных аккумуляторах на цифровом табло должны поочередно высвечиваться символы инициализации в течение 30-40 с, после чего появится условный символ измеряемого газа («Н»

—
CH₄, «L» – CO₂, «P» – O₂). С помощью кнопки ВЫБОР установить требуемый измерительный канал, присоединить систему отбора пробы к разъемам на крышке прибора (верхние слева – O₂, нижние справа – CO₂ и CH₄) и прокачать грушей воздух трехкратным нажатием. На цифровом табло появится значение содержания измеряемого газа в пробе воздуха в объемных процентах.

Прокачать анализатор чистым воздухом или поверочной смесью и ввести следующую пробу. Сменить кнопкой ВЫБОР измерительный канал и произвести измерение других газов вышеуказанным способом.

Периодически осуществлять контроль нуля (особенно для метана). Если индикатор не обнуляется при прокачке прибора чистым воздухом или поверочной смесью – установить ноль в следующем порядке: Нажать кнопку РЕЖИМ два раза с паузой 2-3 с. Прокачать прибор чистым воздухом (нулевым газом) и нажать кнопку ВКЛ. После звукового сигнала анализатор переходит в режим измерения с новым значением нуля. Для оценки ресурса времени работы аккумуляторной батареи использовать кнопку ВЫБОР.

Значение оставшегося времени в часах можно узнать по табло, нажав кнопку после измерений на кислородном канале (регистр «Р»). Последующее нажатие инициирует первый канал «Н» – на метан и т.д. По окончании работы выключить прибор нажатием кнопки ВЫКЛ. Для отбора проб почвенного воздуха предлагается использовать перфорированные камеры объемом не менее 20 см³, выполненные из инертного материала (пластмасса, стекло, нержавеющей металл). Удобно использовать пластмассовые флаконы для хранения почвенного раствора.

В крышку флакона герметично вставляется тонкий ПВХ-шланг (оплетка от телефонного кабеля диаметром не более 1 мм), выводимый на поверхность почвы. Верхний отрезок ПВХ-шланга соединяется с обрезанной иглой от медицинского шприца, через которую можно отбирать образцы почвенного воздуха из закопанной на определенную глубину камеры с помощью разряжения. Для этого можно применять пластмассовые шприцы объемом от 20 см³.

После отбора пробы заборное отверстие (пластмассовая часть иглы) закрывается тонкой пробкой. При анализе газовой фазы обводненных почв камера изолируется специальной мембраной (полиэтилен, силикон, резина), пропускающей газы, но непроницаемой для воды.

Альтернативный вариант – использование камер вытеснительного типа, у которых перфорировано только дно. В такую камеру изначально закачивают через ПВХ-шланг атмосферный воздух или инертный газ в объеме, превышающем объем камеры. Газ вытесняет из камеры воду через отверстия в дне и приходит в равновесие с окружающей средой, откуда в него поступают компоненты почвенного воздуха.

После чего воздух из камеры извлекается посредством откачки шприцем через ПВХ-шланг и вводится в газоанализатор. Поступившая

в камеру вода вытесняется новой порцией газа или тем же воздухом, который использовался для анализа.

В случае отборника вытеснительного типа выводной шланг на поверхности почвы должен быть герметизирован с особой тщательностью. Для этого рекомендуется использовать склеенный с иглой отрезок тонкого пластмассового шприца, в который плотно вставляется резиновая заглушка – пробка от пенициллинового флакона. Отбор проб и закачка газа в систему осуществляется при этом шприцем с иглой, с помощью которой прокалывается резиновая пробка – заглушка.

Количество камер-пробоотборников и глубина их расположения в почве зависят от конкретных целей исследования. При этом удобно совместить все камеры в единый пробоотборник, выполненный из отрезка трубы (материал инертный). Он устанавливается вертикально в скважину, пробуренную в почве, на весь срок наблюдений.

Методика определения и расчеты

Присоединить к заборному отверстию пробоотборника пластмассовый шприц (объемом не менее 20 см³) и, медленно поднимая поршень, откачать пробу почвенного воздуха с данной глубины. Ввести пробу в предварительно включенный и настроенный на измерение требуемого газа анализатор ПГА, для чего присоединить шприц с пробой почвенного воздуха, к входному отверстию ПГА посредством

ПВХ-шланга. Затем одновременно сжать и отпустить резиновую грушу заборного устройства прибора и вдвинуть поршень шприца внутрь. Через 10-20 сек. Прибор отразит на дисплее содержание газа в объемных процентах. После этого прокачать чистым воздухом (нулевым газом) измерительный канал прибора с помощью резиновой груши и, дождавшись индикации нуля на дисплее, ввести следующую пробу. Если содержание газа в почвенном воздухе превышает рабочий диапазон измерений прибора (0-2% CO₂, 0-5% CH₄ и 0-30% O₂), следует разбавить пробу атмосферным воздухом или инертным газом.

Для этого соединить шприц, в котором определена часть объема занимает проба почвенного воздуха, с другим шприцом, содержащим определенный объем газа-разбавителя. Одновременно перемещая поршни шприцев смешать газы и произвести определение состава полученной смеси на ПГА указанным выше способом. При расчете реального содержания газа в почвенном воздухе учесть, во сколько раз была разбавлена проба.

По окончании работы выключить прибор. Рекомендуем синхронно с определением объемного содержания газов в почве, измерять температуру почвы (Т) и атмосферное давление (Р). Это дает возможность рассчитать концентрации измеряемых газообразных компонентов, согласно следующей формуле:

$$c = P \times X \times M / (100 \times R \times T),$$

где с – концентрация газа (г/м³), Р- атмосферное давление (Па), Х – объемное содержание газа (%), М – молярная масса газа (г/моль), R – универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/мольК), Т – температура воздуха на данной глубине (К).

Лабораторная работа № 59

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫХАНИЯ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ ПГА-76

Методика определения и расчеты

На исследуемой территории удалить зеленые части растений и установить камеру для измерения почвенного дыхания. Стационарные камеры-изоляторы выполняются из инертного материала (оргстекло, пластмасса, металл) и снабжаются герметично закрытым отверстием для отбора газовых проб, вентилятором для перемешивания воздуха и термометром для контроля температуры внутри камеры.

Последний необходим, поскольку отличие температурного режима экранированного камерой участка почвы от нативного может приводить к изменению величин почвенного дыхания.

Рекомендуется при установке камеры использовать специальный фундамент-основание, выполненный из крепкого металла. Он врезается в почву на глубину 2-4 см. По периметру верхней части основания имеется желоб, в который помещается нижняя кромка камеры. Во избежание газообразных потерь из камеры, желоб заливается водой или насыщенным раствором поваренной соли (водяной замок).

В более простом варианте камера изготавливается из подручных средств, например, жестяных банок, края которых затачиваются для врезки в почву. В дне (стенке) просверливается отверстие для резиновой пробки-заглушки, через которую можно отбирать газовые пробы с помощью медицинского шприца с иглой.

Банка-колпак устанавливается вверх дном на поверхность почвы и вращательным движением врезается на глубину 1-3 см вглубь. Рекомендуемая высота надземной части камер (h) при использовании

портативных газоанализаторов типа ПГА-7 – не более 15-20 см. В этом случае за небольшое время экспозиции камеры ($t=10-20$ мин) внутри нее успевает накопиться достаточное для измерения прибором количество CO_2 .

При анализе поглощения кислорода время экспозиции можно увеличить до 30-60 мин. Сразу же после установки камеры надо измерить исходное содержание газов в ней (CO). Для отбора пробы присоединить шприц к штуцеру камеры или в случае камеры-банки проколоть резиновую пробку герметизатор шприцевой иглой и прокачав движением поршня воздух в камере несколько раз извлечь требуемый для анализа объем газовой фазы (не менее 20 см^3).

Ввести пробу в подготовленный к работе газоанализатор ПГА-7, описанным выше способом и определить содержание исследуемого газа (CO_2 или O_2).

Повторить процедуру несколько раз через определенные интервалы времени ($t=10-20$ мин).

При необходимости увеличить интервал отбора проб, если из-за малой интенсивности дыхания в камере не успевает накопиться (CO_2) или поглотиться (O_2) количество газа, достаточное для анализа.

По окончании анализа произвести расчет потоков газов по приведенному выше уравнению, используя данные о температуре воздуха в камере и атмосферном давлении.

Лабораторная работа № 60

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ ПО РОУЭЛЛУ

Метод близок к методу Галстяна. Различие выражается в том, что почва насыпается на дно колбы, а щелочь в стаканчике подвешивается над ней. Метод удобен при модельных экспериментах в вегетационных сосудах.

ОБОРУДОВАНИЕ. Колбы для измерения интенсивности дыхания. Коническая колба на 250 мл с резиновой пробкой может быть простейшим респирометром. В пробку ввинчивают небольшой крючок, на который с помощью нитки подвешивают стеклянный стаканчик 2 см в диаметре и 8 см длиной так, чтобы он висел свободно, не касаясь стенок и дна.

Отвешивают по 50 г влажной почвы в две колбы для измерения интенсивности дыхания. Пипеткой переносят в стаканчик 10 мл 0,3 М NaOH, подвешивают его на пробку и плотно закрывают ею колбу. Чтобы избежать разлива NaOH из стаканчика, выполняют эту операцию, удерживая колбу на столе. Герметизируют пробку липкой лентой. В две контрольные колбы вместо почвы помещают 50 г песка. Замечают время, когда каждая колба была закрыта пробкой.

Экспонируют колбы в течение недели в темноте при комнатной температуре или в инкубаторе при требуемой температуре. Определяют влажность почвы.

Раствор гидроксида натрия поглощает CO₂ с образованием карбоната натрия.

Поглощается все количество CO₂ из колбы. В контрольных колбах CO₂ поглощается из содержащегося в колбе воздуха, в опытных - к нему добавляется CO₂, выделенный почвой, который также поглощается.

Смесь растворов Na₂CO₃ и NaOH нельзя непосредственно титровать HCl, потому что с ней реагируют оба вещества. Хлорид бария добавляют в раствор, чтобы осадить карбонат. Поскольку раствор в колбе остается щелочным до тех пор, пока не будет достигнута конечная точка титрования, карбонат бария не взаимодействует с кислотой. Таким образом, кислота реагирует только с не вступившим в реакцию NaOH.

Перед проведением измерительного титрования отбирают пипеткой 10 мл раствора 0,3 М NaOH в коническую колбу на 250 мл, приливают около 10 мл воды и пипеткой 10 мл 1 М раствора BaCl₂. Добавляют каплю-две раствора фенолфталеина и титруют 0,1 М HCl до тех пор, пока красный раствор не станет бесцветным (примерно 30 мл, но часто меньше, поскольку раствор NaOH может поглощать CO₂ при хранении). Этот результат титрования в вычислениях не используют.

С каждой колбы по очереди удаляют липкую ленту, а затем осторожно, чтобы не расплескать раствор, достают пробку с пузырьком. Как и при постановке опыта, держат колбу на столе при вынимании пробки. Количественно переносят раствор NaOH из стаканчика в коническую колбу на 250 мл (споласкивая стаканчик дистиллирован-

ной водой в колбу) и титруют, следуя описанной выше процедуре. Записывают объем израсходованной HCl и время, когда стаканчик извлекли из колбы.

РЕАКТИВЫ. 1) Гидроксид натрия примерно 0,3 М. В химическом стакане на 250мл растворяют 12 г NaOH в дистиллированной воде, охлаждают, переносят в мерную колбу на 1 л и доводят до метки. 2) Соляная кислота 0,1 М. 3) Хлорид бария 1 М. Растворяют 0,1 г $BaCl_2 \times 2H_2O$ в небольшом количестве воды и доводят объем до 250 мл. 4) Индикатор фенолфталеин. Растворяют 1 г фенолфталеина в 100 мл этанола.

Лабораторная работа № 61

АППЛИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Аппликационные методы используются для определения биологической активности почв, причем отличаются простотой и дают возможность приблизиться к определению интенсивности протекания процессов в природных условиях.

Аппликационными методами (лат. *applicatio* - прикладывание) учитывают клетчаткоразрушающие свойства почвы - ее целлюлазную активность, накопление нингидринположительных веществ, главным образом, свободных аминокислот и белков, а также протеазную (или желатиназную) активность.

Аппликационные методы разработаны и рекомендованы для широкого использования Е.Н Мишустинным, И.С. Востровым, А.Н. Петровой. Эти методы используются для определения биологической активности почв и исследования ее характеристики в зависимости от применения минеральных и органических удобрений, известкования способов обработки почвы, севооборотов и других факторов.

В почву с растительными остатками поступает значительное количество целлюлозы и почвенные микроорганизмы расщепляют ее.

Лабораторная работа № 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Стерильную тонкую суровую льняную ткань (неотбеленную) (можно использовать и другую) пришивают к полимерной пленке или

закрепляют на другой основе. Длина и ширина отрезка может варьировать в зависимости от целей исследования.

В почве вырывают свежий разрез и к его вертикальной, хорошо зачищенной стенке плотно прижимают полотно. С обратной стороны полиэтилен придавливается почвой, разрез засыпается. Верхняя грань ткани должна быть на 3-5 см погружена в почву.

Необходимо ставить 3-5 повторных полотен. Через месяц, а при неблагоприятных условиях для развития микроорганизмов (засуха, низкие температуры) и через более продолжительное время (2-3 мес.) полотна осторожно извлекают, отмывают от почвы и продуктов полураспада, подсушивают и взвешивают. Для определения динамики процесса повторные куски ткани извлекают последовательно через определенные интервалы времени.

Об интенсивности целлюлозоразлагающей активности почв судят по разности весов контрольного неэкспонированного в почве лоскута ткани и одинакового размера лоскутов, вырезанных из извлеченной из почвы полосы ткани; активность выражается в процентах.

Лабораторная работа № 63

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ

Метод дает возможность за сравнительно короткий отрезок времени получить представление об интенсивности некоторых процессов, проходящих в почве.

Используют такие же полотна ткани, как и в предыдущем методе, но зарывают их на 10 дней (в случае неблагоприятных условий для микробиологической активности - на 30 дней). Подготовку ткани следует проводить таким образом, чтобы на нее не попали аминокислоты и белки с рук (надевать на руки резиновые перчатки).

Нужно ставить контрольное определение и, если на ткани перед опытом обнаруживаются аминокислоты, ее необходимо промыть 70% этиловым спиртом.

Ткань вынимают, просушивают, щеточкой счищают приставшую к ней почву.

Затем ткань опрыскивают 0,5%-ным раствором нингидрина в ацетоне, высушивают и оставляют в темном месте при комнатной температуре на сутки для более

полного проявления окраски. Далее из ткани вырезают квадраты одинаковой площади (5х5 см), помещают в пробирку и заливают 25 мл 70% этанола.

После 10-минутного извлечения пробирки встряхивают и экстракт сливают в мерную колбу на 25 мл. Экстракт в колбе доводят спиртом до метки. При очень насыщенной окраске экстрагирование следует повторить новой порцией спирта и соответственно использовать мерную колбу большего объема.

Плотность окраски полученного раствора, определенная на фотозлектроколориметре, сравнивается с плотностью стандартных растворов. Для получения стандартных растворов раствор большой концентрации какой-либо аминокислоты (например, глицина) наносят на ткань, окрашивают нингидрином, экстрагируют этанолом, а затем путем разбавления получают серию стандартных растворов.

Строят стандартную кривую и с ее помощью количество нингидринположительных веществ почвенной спиртовой вытяжки условно выражают в миллиграммах взятой в качестве стандарта аминокислоты. Расчет проводят на 1 см² поверхности ткани.

РЕАКТИВЫ: 1) 0,5%-ный раствор нингидрина в ацетоне; 2) 70% этанол.

Лабораторная работа № 64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОТЕАЗНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ФОТОБУМАЖНОЙ АВТОГРАФИИ

Метод определения суммарной протеазной активности почв с помощью заложения в почву засвеченной фотобумаги в качестве аппликационного материала.

Листы засвеченной фотобумаги размером 18х24 прикрепляют желатиновым слоем к почве заостренными деревянными колышками на тщательно выровненную вертикальную поверхность почвенного разреза так, чтобы верхний обрез листа совпадал с нулевой точкой первого горизонта А0 профиля почвы. Бумагу экранируют полиэтиленовой пленкой, и разрез вновь засыпают почвой.

Через три недели экспозиции фотобумагу осторожно извлекают (при этом отдельные прилипшие комочки почвы остаются на поверх-

ности желатинового слоя), подсушивают на воздухе и промывают водой. При легком покачивании кюветы приставшие комочки почвы отделяются от желатинового слоя.

Затем фотобумагу обрабатывают 2 мин в растворе стандартного фенидон-гидрохинонового проявителя, промывают, в течение 15-20 мин выдерживают в растворе закрепителя, вновь промывают и высушивают.

На черном фоне проявленной фотобумаги отчетливо различимы белые зоны уничтоженного микроорганизмами желатинового слоя. О протеазной активности почв судят по интенсивности развития зон разрушения желатина на листках фотобумаги. Для этого конфигурацию зон и их расположение переносят на кальку, и зоны разложения желатина на кальке вырезают ножницами.

Предварительно на аналитических весах взвешивали всю площадь листа фотобумаги, приуроченной к отдельным почвенным горизонтам, затем вырезанные участки каждого горизонта. На основе этих весовых данных определяют площадь (в %) по отношению к площади листа разрушения желатина каждого почвенного горизонта в изучаемых биогеоценозах.

Лабораторная работа № 65

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРИФИЦИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Из почвенного образца, просеянного через сито с отверстиями 2 мм, отбирают навеску в 100 г и помещают в стерильную коническую колбу на 250 мл. Почву смачивают до 65% общей влагоемкости, добавляют 0,1 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и 0,2 г CaCO_3 ,

перемешивают, закрывают ватной пробкой, взвешивают и помещают в термостат при 27-28°C на 30 дней. Контролем служит почва без сульфата аммония.

Влажность почвы должна быть постоянной. Для этого каждые семь дней колбы взвешивают и стерильной дистиллированной водой доводят до первоначального уровня.

По окончании опыта содержание нитратов в опытных и контрольных образцах определяют по методу Гранваль-Ляжу или потенциометрически с помощью ионоселективного нитратного электрода.

Лабораторная работа № 66

СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ МОЧЕВИНЫ ПО АРИСТОВСКОЙ, ЧУГУНОВОЙ

Экспресс-метод определения биологической активности почв реально является показателем скорости разложения в почве мочевины и должен именно так и называться.

Методика предельно проста и может быть использована при любом уровне оснащения лаборатории, пригодна при проведении массовых анализов и обеспечивает быстрое получение результатов, не требующих пересчетов. Особенно она применима в качестве теста при исследовании воздействий на почву различного рода загрязнителей или мелиорантов. Недостатком метода является невысокая чувствительность, связанная с визуальным (субъективным) характером наблюдений.

10-50 г почвы, увлажненной 1 % раствором мочевины до состояния густой пасты, тщательно перемешивается и распределяется по дну чашки Петри. (Хорошие результаты дает использование более концентрированного раствора мочевины).

Между поверхностью почвы и крышкой чашки должно оставаться воздушное пространство. К внутренней поверхности крышки прикрепляется полоска фильтровальной бумаги, пропитанная универсальным или другим работающим в широком диапазоне pH индикатором. Опыт проводится при температуре 28-30 °C.

Разложение мочевины сопровождается интенсивным образованием летучей щелочи - аммиака, в результате чего воздушная среда над почвой приобретает щелочную реакцию. Цвет индикаторной полоски меняется в соответствии с изменением pH среды. Пользуясь соответствующей колориметрической шкалой, через каждые 15-30 мин. отмечают величину pH и определяют скорость увеличения щелочности воздуха над почвой на 1,0-2,0 единицы, которая является показателем биологической активности почвы.

О скорости процесса можно судить либо по времени достижения определенной величины pH, например 9,0, либо по степени изменения pH за единицу времени, например 24 ч. В качестве контроля используются чашки с мочевиной без почвы.

РЕАКТИВЫ: 1) 1-5%-ный раствор мочевины; 2) универсальная индикаторная бумага pH 0-12.

Лабораторная работа № 67

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ

Под токсичностью почвы принято понимать снижение показателей, снимаемых с тест-объекта на исследуемой почве, по сравнению с контролем.

Токсические свойства почвы обусловлены накоплением в ней вредных для живых организмов веществ, будь то сложные органические соединения (например, образуемые микрофлорой фитотоксины), либо простые неорганические вещества (например, тяжелые металлы).

В качестве тест-объекта в зависимости от методики определения токсичности могут использоваться различные живые организмы: водоросли, планктонные рачки, высшие растения. Хорошие результаты дает использование семян растений.

В качестве испытуемых семян можно брать семена различных растений. Лучшие результаты дают мелкие семена, обладающие небольшим запасом питательных веществ и, следовательно, более подверженные влиянию внешней среды: кресссалат, редис, горчица, пшеница. Желательно также использовать семена тех культур, которые возделываются на изучаемых почвах.

Навеску почвы в количестве 20-60 г помешают в чашку Петри (опыт проводят нестерильно). Почву увлажняют водой до состояния густой пасты и тщательно размазывают по чашке Петри металлическим шпателем до получения ровной поверхности.

На поверхность такой пластинки раскладывают от 10 до 50 семян испытуемого растения (в зависимости от размера семян), предварительно замоченных в водопроводной воде в течение суток.

Контрольные семена замачивают в воде и раскладывают на увлажненной вате, покрытой фильтровальной бумагой. Семена проращивают 5-7 дней при температуре 25°C и каждый день почву увлажняют равным объемом водопроводной воды. Через каждые сутки отмечают количество проросших семян.

Степень токсичности почвы определяют по разнице ряда показателей в опыте и контроле.

Для всесторонней оценки степени токсичности почвы следует определять:

показатели прорастания семян (всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания) и показатели интенсивности начального роста семян (длина корней, длина зеленых проростков, масса корней (воздушно-сухая) (г/100 семян), масса зеленых проростков (воздушно-сухая) (г/100 семян)).

Показатели прорастания:

Всхожесть - число проросших семян, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания.

Энергия прорастания - число семян проросших за первые 3-е суток, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания.

Дружность прорастания - средний процент семян, проросших за 1 день прорастания:

$$Д = П / А$$

где: Д - дружность прорастания; П - полная всхожесть; А - число дней прорастания.

Скорость прорастания - сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно: $С = а + б / 2 + в / 3 + г / 4 + ...$

где: С - скорость прорастания; а - число семян, проросших за 1-е сутки; б - число семян, проросших за 2-е сутки; в - число семян, проросших за 3-е сутки; г - число семян, проросших за 4-е сутки и т.д.

Кроме показателей прорастания, следует определять **показатели интенсивности начального роста** семян, наиболее полно характеризующие жизнеспособность растений. Между интенсивностью начального роста и продуктивностью растений существует прямая зависимость.

К таким показателям относятся длина зеленых проростков и корней. Менее трудоемким является определение массы сырых и (или) сухих зеленых проростков и корней, выраженной в г или в %, в пересчете на 100 проростков. Каждый из показателей интенсивности начального роста может быть представлен в двух видах: в виде среднего от всех высаженных семян, независимо от всхожести, и в виде среднего от проросших семян.

Показатели интенсивности начального роста семян (особенно, длина или масса корней) являются более информативными, чем показатели прорастания семян (всхожесть, энергия, дружность и скорость прорастания).

Последние целесообразно использовать в случае высокой фитотоксичности почвы. Токсичными считают почвы, вызывающие угнетение прорастания семян на 20-30 % и более.

Определение токсичности почвы рекомендуется проводить на свежих образцах, так как после хранения образцов токсичность их значительно изменяется.

Учет интенсивности разложения растительных остатков в лабораторных условиях

В зависимости от целей и задач исследования растительные остатки определенного состава и массы перемешивают с навеской воздушно-сухой почвы и помещают в оттарированные небольшие стеклянные вегетационные сосуды (химические стаканы или банки) и увлажняют смесь до 60% полной влагоемкости.

Затем сосуды, число которых определяется схемой эксперимента, накрывают стеклами и держат в термостате при температуре 20-25°C. Интенсивность разложения растительных остатков определяют по убыли в массе образцов, взятых в два срока.

Для этого подекадно берут определенное число сосудов, отмывают растительные остатки от почвы на ситах с диаметром ячеек 0,25 мм, описывают их внешнее состояние, делят на две фракции (подвергшуюся и не подвергшуюся разложению), доводят до воздушно-сухого состояния и взвешивают. Оставшиеся для последующих учетов сосуды взвешивают и доводят влажность компостов до 60% полной влагоемкости.

Учет интенсивности разложения растительных остатков в условиях лабораторного эксперимента можно провести по выделению CO₂ с поверхности почвы, находящейся в сосудах. Для этой цели используют лабораторную модификацию определения биологической активности почвы по методу В.И. Штатнова.

Количество CO₂, выделившегося из компостов в начале опыта, определяют каждые 5 дней, а затем подекадно. При планировании учета необходимо предусмотреть контрольные варианты, т.е. сосуды, заполненные исходной почвой без внесения в нее растительных остатков.

Весовой метод учета разложения растительных остатков

Периодически с начала осени до конца весны или начала лета следующего года берут пробы почвы (монолиты) для отмывки и учета растительных остатков.

Для этого на поле или делянке полевого опыта выбирают не менее четырех площадок, на которых методом монолита, рамочной выемки или буром берут почву по слоям, из которой отмывают и учитывают растительные остатки.

По степени разложения растительные остатки делят на две группы - подвергшиеся и не подвергшиеся разложению, затем высушивают до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Для учета разложения растительных остатков в полевых условиях наиболее приемлем и удобен метод рамочной выемки монолита. Чаще всего исследование ограничивают глубиной пахотного слоя до 20-25 см, реже до 40 см.

Учет степени разложения растительных остатков на фиксированных полевых площадках

Сущность метода заключается в том, что растительные остатки (пожнивные остатки, корни, сидераты и т. п.) определенного состава и массы закладывают в почву на точно фиксированных площадках размером 50×50 см.

В зависимости от целей исследования, длительности наблюдений и частоты учетов на поле выделяют 3-4 площадки по 4-6 м². На площадках снимают верхний слой почвы на 20 см или более. Площадки делят на квадраты размером 50х50 см.

Заранее заготовленные и взвешенные образцы (корневые или пожнивные остатки различных культур, сидераты и т. п.) распределяют в один ряд в середине каждого квадрата. Массу растительного материала устанавливают по возможному содержанию его в почве на такой же площади в полевых условиях.

Распределенные по квадратам образцы можно прикрыть сверху крупной сеткой из стеклянной ткани, что облегчает последующий учет. Затем углы каждого квадрата фиксируют колышками, всю площадку осторожно засыпают почвой, уплотняют и выравнивают ее поверхность. Фиксирующие колышки должны выступать над поверхностью почвы на 4-5 см для нахождения образцов во время учета.

В намеченный срок верхний слой почвы соответствующего квадрата снимают, описывают внешнее состояние растительных остатков, переносят их на сито с отверстиями 0,25 мм и отмывают от почвы. Растительные остатки делят на две фракции (подвергшиеся и не подвергшиеся разложению), обе фракции доводят до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Разность в массе образцов, взятых в два срока, указывает на количественное изменение растительного материала и интенсивность разложения его в условиях опыта.

Учет интенсивности разложения растительных остатков по убыли исходной массы целесообразно дополнить подекадными определениями количества CO₂, выделяющегося из почвы. Результаты динамического учета органических остатков и интенсивности выделения CO₂ из почвы представляют в виде графика.

Лабораторная работа № 68

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Для суждения о биологической активности и эколого-биологическом состоянии почвы недостаточно какого-либо одного показателя, так как каждый из них отражает лишь какую-то одну сторону биологических и биохимических процессов в почве. Поэтому необходимо использовать широкий набор показателей состояния почвы.

Для объединения большого количества показателей была разработана методика определения интегрального показателя экологобиологического состояния почвы (ИПЭБСП). Данная методика позволяет оценить совокупность биологических показателей. Для этого в выборке максимальное значение каждого из показателей принимается за 100 % и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах.

$$B_1 = (B_x / B_{\max}) \times 100\%, (1)$$

где B₁ - относительный балл показателя, B_x - фактическое значение показателя, B_{max} - максимальное значение показателя.

После этого, суммируются уже относительные значения многих показателей (например, активность разных ферментов, дыхание, содержание гумуса и др.). Их абсолютные значения суммированы быть

не могут, так как имеют разные единицы измерения (мг, % и т.д.). После этого рассчитывается средний оценочный балл изученных показателей для образца (варианта):

$$\text{Бср.} = (\text{Б1} + \text{Б2} + \text{Б3} \dots + \text{Бn}) / \text{N}, (2)$$

где Бср. - средний оценочный балл показателей, N - число показателей.

Интегральный показатель эколого-биологического состояния почвы рассчитывают аналогично формуле (1):

$$\text{ИПЭБСП} = (\text{Бср.} / \text{Бср. max}) \times 100\%, (3)$$

где Бср. - средний оценочный балл всех показателей, Бср. max - максимальный оценочный балл всех показателей.

При диагностике загрязнений за 100 % принимается значение каждого из показателей в незагрязненной почве и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в загрязненной почве.

При антропогенном воздействии на почву среднее значение выбранных показателей, в большинстве случаев, снижается, в то время как отдельные показатели биологической активности почвы могут увеличиваться. Таким образом, снижение интегрального показателя экологобиологического состояния почвы, как правило, находится в прямой зависимости от степени воздействия антропогенного фактора.

При расчете интегрального показателя эколого-биологического состояния почвы должны использоваться не любые показатели биологической активности почв, а наиболее информативные. Именно они должны составлять основу интегрального показателя.

Окончательное формирование набора показателей, составляющих интегральный показатель, требует дальнейшей разработки. В перспективе, набор показателей и методики их определения должны быть стандартизированы.

При этом показатели свойств почвы, входящие в интегральный показатель, могут различаться в зависимости от того, действие какого антропогенного фактора исследуется и нормируется.

Лабораторная работа № 69
ЗООЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ.
УЧЕТ КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

При учете более крупных объектов, легко обнаруживаемых невооруженным глазом, таких, как дождевые черви, многоножки, личинки хрущей, щелкунов, жужелиц и т.д., наиболее универсальным и доступным способом учета является метод почвенных раскопок с ручной разборкой выбранной земли.

При раскопках во влажный период года и в более влажных районах оптимальная площадь пробы 0,25 м² (50х50 см), а в сухие периоды года, особенно в аридных местностях, где почвенные беспозвоночные могут мигрировать на значительную глубину, приходится увеличивать пробы до 1 или даже 2 м² (1х1 или 1х2 м), так как вырыть пробу с отвесными стенками на большую глубину при малой площади пробы невозможно.

Определение численности почвенных беспозвоночных производится в пересчете на 1 м² и определяется количеством животных в столбе почвы площадью 1 м² на всю глубину их встречаемости.

Определять число обитающих в почве беспозвоночных на единицу объема или веса, как это делают в отношении бактерий микробиологи, нецелесообразно, так как в зависимости от степени увлажнения и температуры почвы, почвенные животные либо концентрируются в поверхностных горизонтах (в теплые сезоны при влажной почве), либо частично уходят вглубь (в сухое время года и на зимовку).

При достаточной влажности почвы глубина пробы может не превышать 30-50 см, а в сухих местностях в летнее время пробы приходится брать на глубину 1 м или даже более, особенно на песчаных почвах.

Самым простым и доступным способом извлечения беспозвоночных из проб почвы является ручная разборка. В начале намечается площадь пробы. Затем собирают всех беспозвоночных с поверхности почвы и тщательно перебирают войлок и подстилку, учитывая всех встреченных животных. Найденных в подстилке беспозвоночных собирают, подсчитывают, фиксируют и записывают отдельно от собранных в собственно почве.

Затем, после удаления подстилки, приступают к выкапыванию почвы с площади пробы лопатой, лучше с незакругленными краями.

Выбрасываемые на мешковину, клеенку или лист фанеры, разложенные рядом с пробой небольшие порции земли тщательно перебирают руками, причем более крупные комья приходится разбивать, а дернину и корешки - разрывать.

Всю почву из пробы, порцию за порцией, перетирают на весу между ладонями, внимательно рассматривая всю сыпавшуюся на подстилку землю и собирая падающих при этом и легко обнаруживаемых животных.

Их собирают (отдельно из каждой пробы) в пробирки или баночки с небольшим количеством земли. Дождевых червей берут отдельно в матерчатые мешочки с землей (удобны мешочки, применяемые для сбора образцов почвы почвоведом).

Хищных жуков и их личинок лучше помещать в отдельные пробирки, изолировав друг от друга и от других собранных объектов. Мелких и нежных насекомых, многоножек и других, лучше там же на месте помещать в пробирки со спиртом с добавкой формалина или в 4%-ный раствор формалина. Крупных насекомых помещают в морилки с ваткой пропитанной эфиром или хлороформом.

Всех найденных в пробе животных там же в полевых условиях записывают в дневник, с той точностью определения, какая доступна руководителю учета, или под условными названиями. В дневнике дается и возможно более полная характеристика, как всего обследуемого участка, так и места взятия данной пробы. В пробирки, в мешочек с червями и т.д. вкладывают этикетку, в которой отмечен номер пробы.

Если раскопки проводятся послойно, на этикетке числителем отмечается номер пробы, а в знаменателе - номер слоя; при этом материал собирают отдельно из каждого слоя. Фиксацию более крупных собранных беспозвоночных производят в конце работы в камеральных условиях, о чем будет сказано далее.

Наиболее благоприятная влажность почвы для учета почвенной фауны, обеспечивающая наиболее полную выборку почвенных животных и наибольшую производительность работы такая, при которой горсть почвы, зажатой в кулак, образует ком, сохраняющий свою форму, но рассыпающийся от легкого удара. При таком состоянии поверхностного слоя почвы почвенные беспозвоночные держатся неглубоко, а почва легко перетирается и просеивается.

Для изучения корреляций с распределением корневых систем целесообразно проводить послойные раскопки, позволяющие выявить глубину нахождения основных представителей почвенной фауны. При этом образцы почвы (после разборки и удаления подстилки) следует брать слоями в 10 см мощностью, отдельно собирая и записывая животных из каждого слоя.

После взятия пробы следует провести измерение и записать мощность отдельных генетических горизонтов и степень влажности (глазомерно) каждого из них в тех случаях, когда попутно не определяется влажность почвы.

Для установления глубины, на которую следует брать пробу, особенно в летнее время и при изучении вертикальных миграций почвенных животных, первый образец необходимо взять глубже, углубляя на 20- 30 см глубже максимальной глубины встречаемости дождевых червей и многоножек, выявленной при взятии первой пробы.

Во многих случаях очень полезно параллельно с определением глубины взятия пробы устанавливать связь распределения почвенной фауны с почвенно-генетическими горизонтами. При дальнейшей работе на данном участке, если связь установлена, послойный учет целесообразно и удобно вести по этим горизонтам.

При маршрутных обследованиях пробы в пределах каждой выделенной почвенной разности располагаются так, чтобы каждая проба находилась в середине типичной части территории, описываемой в дневнике. В горных местностях маршрут проводится перпендикулярно имеющейся в данном районе поясности растительности.

В каждом подлежащем обследованию однородном сообществе рекомендуется брать не менее четырех проб по 0,25 м².

На площадках, выделенных для стационарных исследований, рекомендуется брать не менее 12 таких проб для каждого варианта, располагая пробы по сетке. При сравнении заселенности граничащих территорий с растительностью разного типа пробы следует располагать параллельно границе участков.

Если на участке ясно выражена микрокомплексность растительного покрова, то одну часть проб необходимо брать в одних условиях, а другую - в других. Так, в типчаково-ковыльной степи часть проб сле-

дует взять на участках с преобладанием типчака; а часть - с преобладанием ковыля; в лесу с несомкнутыми кронами часть проб берется под кронами, а часть - в просветах и т. д.

Собранный и зафиксированный материал подлежит систематической обработке для определения видовой принадлежности с использованием специальных определителей.

Кроме описанного метода раскопок существуют и другие методы учета почвенной мезофауны, среди которых следует отметить **метод приманок, учет после обработки плугом и др.**

Для учета дождевых червей в почве используют также **метод полива поверхности почвы раздражающими покровами червей жидкостями** (0,14-0,5% раствор формалина). В результате черви выползают на поверхность.

Для учета напочвенных животных, особенно имаго жуков (жу-желиц, чернотелок, мертвоедов и др.) используют стандартный метод **ловчих линий**. Для этого выставляют двумя параллельными рядами линии ловушек Барбера (5-10 ловушек в линии с расстоянием между ловушками несколько метров (до 10 м).

В качестве ловушек используют стеклянные (жестяные, пластиковые сосуды емкостью около 0,5 л с фиксатором (чаще всего 4% раствор формалина). Необходимо тщательное установление ловушек.

Они должны быть установлены на типичных участках, на 0,5 см выше поверхности почвы. Для защиты от дождя в жарких районах от Солнца, над ловушками устанавливают на высоте 4-5 см крышки. На дно банок помещают немного почвы.

Ловушки устанавливают на 10 суток. Результаты выражают в единицах динамической плотности уловистостью на 10 ловушек/суток. Доминантами при этом считаются виды, численность которых составляет более 5%, субдоминантами - 2-5% от общего числа собранных особей.

Лабораторная работа № 70

УЧЕТ МЕЛКИХ ПОЧВЕННЫХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ

Так как численность особей мелких членистоногих в почве редко достигает нескольких тысяч и десятков тысяч на 1 м², вероятность их встречи в пробах сравнительно небольшого объема достаточно велика.

Поэтому взятие даже немногих проб небольшой площади (и объема) дает результаты удовлетворительной достоверности в отношении доминирующих на обследуемом участке групп мелких беспозвоночных.

Обычно исследуются пробы, вырезаемые специальной стальной (обычно кубической) формой со сторонами 10х10х10 или 5х5х5 см, вдавливаемой или вбиваемой заостренными нижними краями в почву. Можно также вырезать соответствующий монолит ножом, что обеспечивает несколько меньшую точность. Можно брать пробы меньшей площади, вырезаемые бурами. На почвах с обильным включением щебенки можно осторожно наполнять почвой сосуд определенной емкости, объем которого соответствует данному объему пробы.

Вырезанный монолит рекомендуется брать 5 см толщиной; при послойном взятии проб сначала вырезается монолит поверхностного слоя почвы, затем лопатой зачищается поверхность следующего слоя и из него вырезается следующий монолит и т.д.

Извлечение мелких членистоногих на пробы осуществляется при помощи электора.

Принцип действия электора заключается в использовании таксисов, заставляющих почвенных животных выходить из анализируемого образца почвы. Поэтому метод “автоматической выборки” в электорах применим только в отношении более подвижных объектов; численность неподвижных стадий (яиц, куколок) методами автоматического сбора учесть нельзя.

Плохо извлекаются из проб этим методом различные мелкие черви.

При извлечении из проб мелких членистоногих используют их чувствительность к высушиванию. Мелкие почвенные беспозвоночные не выносят снижения влажности воздуха в почве ниже 100%, и при одностороннем подсушивании (сверху) пробы почвы мигрируют в более влажные слои (вниз).

В естественных условиях подсыханию подвергается верхний горизонт почвы, и избегающие высыхания почвенные беспозвоночные мигрируют в более глубокие слои почвы. Поэтому при подсушивании почвенной пробы ее обитатели проявляют ясно выраженный положительный геотаксис.

Проба доставляется к эклектору возможно скорее, желательно с сохранением естественной влажности (завернутая в клеенку или пергаментную бумагу, в ненарушенном состоянии). Монолит помещается осторожно на сито, вставленное в конусовидную воронку (жестяную, из гладкого картона или чертежной бумаги). Под нижнее отверстие воронки подставляются (прикрепляется) склянка (пенициллиновый флакон) с 2-3%-ным формалином или 70%-ным спиртом.

При подсушивании пробы (которую желательно помещать на сито по возможности в ненарушенном состоянии с сохранением естественного направления в ней слоев) помещаемой над ней лампочкой или на солнце находящиеся в пробе животные передвигаются вниз. Мелкие беспозвоночные проваливаются сквозь сито, попадают в воронку и по гладким крутым стенкам воронки скатываются в склянку, подставленную под воронку.

Необходимо следить, чтобы температура поверхности пробы не поднималась выше 35-40°C. Имеются и другие типы эклекторов, например походная установка.

После окончания просушки пробы фиксирующая жидкость с находящимися в ней беспозвоночными процеживаются через складчатый фильтр, разграфленный графитным карандашом на квадратики (для удобства подсчета).

После процеживания фильтр расправляется на чашке Петри и под бинокулярной лупой подсчитываются все мелкие членистоногие по видам, используя специальные определители. С фильтра мелких насекомых переносят в спирт при помощи препаровальной иглы, заостренной деревянной палочки или мягкой кисточки.

В более влажную погоду для общего учета численности мелких членистоногих можно ограничиться анализом слоя 10 см толщины и удвоить полученные цифры. При учете же в сухой период года или при учете в целях точного выяснения послойного распределения их в почве необходимо выкопать яму, а затем из свежезачищенной стенки ее на разных исследуемых глубинах вырезаются монолиты почвы определенного объема.

Мелких членистоногих (клещей, ногохвосток и др.) лучше всего хранить в пробирках с 70%-ным спиртом, затыкаемых ватными пробками и помещенных в общую банку со спиртом данной концентрации.

Учет других групп микрофауны почвы (нематод, простейших, раковинных амёб и др.) проводят с применением методов, описанных в специальной литературе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время проблема взаимодействия человеческого общества с природой стоит особо остро. Бесспорно, решение проблемы сохранения качества жизни человека немыслимо без определенного осмысления современных экологических проблем: сохранения эволюции живого, наследственных субстанций (генофонда флоры и фауны), сохранения чистоты и продуктивности природных сред (атмосферы, гидросферы, почв, лесов и т. д.), экологического нормирования антропогенного пресса на природные экосистемы в пределах их буферной емкости, сохранения озонового слоя, трофических цепей в природе, биокруговорота веществ и др.

Почвенный покров Земли представляет собой важнейший компонент биосферы нашей планеты. Именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере.

Важнейшее значение почв состоит в аккумуляровании органического вещества, различных химических элементов, а также энергии. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Если это звено биосферы будет разрушено, то сложившееся функционирование биосферы необратимо нарушится. Именно поэтому чрезвычайно важно изучение глобального биохимического значения почвенного покрова, его современного состояния и изменения под влиянием антропогенной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агроэкологическая оценка комплексного применения средств химизации при возделывании яровых зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения почв в агроценозах : монография / Е. М. Милютина, С. Н. Поцепай, Л. Н. Анищенко, В. Ф. Шаповалов ; Министерство сельского хозяйства РФ, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Кафедра информатики, информационных систем и технологий. - Брянск : Изд-во Брянский ГАУ, 2022. - 237 с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 978-5-88517-335-3.
2. Агроэкология / под ред. В.А. Черникова. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Агроэкология и нормирование качества окружающей среды : учеб. пособие / авт.-сост.: Е. М. Шентерова, А. О. Рагимов, М. А. Мазиров. – Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых ; Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. – 128 с. – ISBN 978-5-9984-1801-3.
4. ВетПиН 13.7.1.-00. Ветеринарные правила и нормы по безопасности кормового сырья, кормов и кормовых добавок. – СПС «Консультант Плюс».
5. Воробьева Л.А. Химический анализ почв: учебник. - М.: Изд-во МГУ, 1998. - 272 с.
6. ГН 1.2.3539-18. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Доступ с сайта Консультант Плюс
7. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справ. правовая система. - Электрон. дан. - Доступ с сайта Консультант Плюс
8. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – СПС «Консультант Плюс».
9. ГН 2.1.6.1339-03. Ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – СПС «Консультант Плюс».
10. ГН 2.1.7.2041-06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. - СПС «Консультант Плюс».

11. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // Консультант-Плюс: справ. правовая система. - Электрон. дан. - Доступ с сайта Консультант Плюс

12. ГН 2.1.7.2042-06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. - СПС «Консультант Плюс».

13. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справ. правовая система. - Электрон. дан. - Доступ с сайта Консультант Плюс

14. ГОСТ 15484-81. Излучения ионизирующие и их измерения.

15. ГОСТ 17.4.1.02-83. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений. - СПС «Консультант Плюс».

16. ГОСТ 17.4.1.03-84. Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения. - СПС «Консультант Плюс».

17. ГОСТ 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. - СПС «Консультант Плюс».

18. ГОСТ 4568-95. Калий хлористый. Технические условия [Электронный ресурс]. - Электронная версия печатной публикации. - Доступ с сайта OPENGOST.RU

19. ГОСТ 5716-74. Мука фосфоритная. Технические условия [Электронный ресурс]. - Электронная версия печатной публикации. - Доступ с сайта Библиотеки нормативной документации

20. ГОСТ 5956-78. Суперфосфат гранулированный из апатитового концентрата. Технические условия [Электронный ресурс]. - Электронная версия печатной публикации. - Доступ с сайта OPENGOST.RU

21. ГОСТ Р 70281-2022. Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. - Москва : Стандартиформ, 2023.

22. Гранулометрический и микроагрегатный анализы почв / сост. С.П. Кулижский. - Томск: ТГУ, 1996. - 21 с.

23. Ершова Т.В. Геоэкология и природопользование: УМК. - Томск: ТГПУ, 2006. - 104 с.

24. Жуленко В.Н. Ветеринарная токсикология / В.Н. Жуленко,

М.И. Рабинович, Г.А. Таланов. – М.: Колос, 2001. – 384 с.

25. Загрязнение почв. Способы контроля и нормирования : учебное пособие / Н. С. Горбунова, А. И. Громовик, Т. А. Девятова, И. В. Черепухина ; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет". - Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2022. - 80 с. : табл.; 20 см.; ISBN 978-5-9273-3367-7

26. Изменение биологических и химических свойств почв Калмыкии при их загрязнении нефтью и нефтепродуктами : монография / А. А. Булуктаев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Калмыцкий научный центр Российской академии наук". - Элиста : Калмыцкий научный центр Российской академии наук, 2023. - 162 с. : ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-907659-14

27. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований: / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников - Ростов-на-Дону. – Издательство Южного федерального университета, 2012. - 260 с. ISBN 978-5-9275-1075-7

28. Куликов Я.К. Агроэкология [Электронный ресурс]: учеб. пособие. - Минск: Выш. шк., 2012. - 319 с. - Электронная версия печат. публикации. - Доступ с сайта «Изд-во «Лань»»

29. Макаров О. А. Экологическое нормирование качества окружающей среды и почв [Электронный ресурс] // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. - М.: НИА-Природа, 2013. - 310 с.

30. Мосина Л.В. Основы экотоксикологии: Учебное пособие / Л.В. Мосина. М.: Издво РГАУ - МСХА, 2013. 100 с.

31. МУ 2.1.7.730-99 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. - СПС «Консультант Плюс».

32. Мусатова, О. В. Биоиндикация и биоповреждения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для студентов 4-го курса дневной и заочной формы обучения / О. В. Мусатова, О. Н. Минаева, А. С. Курдина ; М-во образования РБ, УО "ВГУ им. П. М. Машерова", Каф. экологии и охраны природы. - Электрон. текстовые дан. (1файл: 1,02 Мб).

- Витебск., 2009. - Режим доступа: www.lib.vsu.by. - Загл. с экрана.

33. Основы агропочвоведения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / авт.-сост.: А. О. Рагимов [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2024. – 770 с. – ISBN 978-5-9984-1946-1. – Электрон. дан. (25,5 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CDROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

35. Оценка загрязнения почв с помощью биотестирования : монография / А. А. Околелова, В. Н. Капля, Г. С. Егорова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Департамент координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" [и др.]. - Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2023. - 139 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-4479-0423-4

36. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304с.

37. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Нефтегазовая геоэкология - наука XXI века [Электронный ресурс] // Геополитика и экогеодинамика регионов. -2014. - Т. 10, № 2. - С. 56-62. - Электронная версия печатной публикации. Доступ с сайта Elibrary.ru

38. Пименова Е.В. Нормирование качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции. [Текст]: / Е.В. Пименова. ФГОУ ВПО Пермская ГСХА. - Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009.- 74 с.-100 экз.

39. Практикум по агрохимии: учеб. пособие [Электронный ресурс] / В.В. Кидин [и др.]; под ред. В.В. Кидина. - М.: КолосС, 2008. - 599 с. - Электрон. верс. печат. публ. - Доступ с сайта электронной библиотеки факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

40. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. - Доступ с сайта Консультант Плюс

41. Разработка экологически безопасных приемов антропогенного

воздействия на агроэкосистемы : учеб. пособие / М. А. Мазиров [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. – 116 с. ISBN 978-5-9984-0764-2

42. СанПиН 2.1.4.1074-00. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. - СПС «Консультант Плюс».

43. СанПиН 2.1.7.1287-03. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – СПС «Консультант Плюс».

44. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов – СПС «Консультант Плюс».

45. СанПиН 2.3.2.1280-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Дополнения и изменения №2 к СанПин2.3.2.1078-01. – СПС «Консультант Плюс».

46. Титова В. И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога): учеб. пособие. - 2е изд., перераб. и доп. - Н. Новгород: НГСХА, 2002. - 205 с.

47. Федеральный закон «Об охране окружающей среды». - СПС «Консультант Плюс».

48. ФЗ N 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16.07.1998 (ред. от 05.04.2016) [Электрон. дан.]. - Доступ с сайта Консультант-Плюс. - URL: <http://www.consultant.ru/>

49. ФЗ N 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19 июля 1997 года [Электронный ресурс]. - Доступ с сайта Консультант плюс.

50. Химизация сельского хозяйства [Электронный ресурс] : учеб.-практ. пособие / авт.-сост.: А. О. Рагимов, М. А. Мазиров ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. – 902 с. – ISBN 978-5-9984-1700-9. – Электрон. дан. (36,9 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

51. Шапиро, Я. С. Агроэкология : учебное пособие / Я. С. Шапиро.

- Санкт-Петербург : Проспект науки, 2024. - 280 с. - ISBN 978-5-906109-98-9. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2134280> (дата обращения: 03.11.2024). – Режим доступа: по подписке.

52. Angon, Prodipto Bishnu, et al. "Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain." *Heliyon* (2024).

53. Atemoagbo O. P. Risk Assessment and Remediation Options for Oil-Contaminated Soil and Groundwater: A Comparative Analysis of Chemical, Physical, And Biological Treatment Methods //Valley International Journal Digital Library. – 2024. – С. 01-22.

54. Mamikhin S.V., Manakhov D.V., Shcheglov A.I., Tsvetnov E.V. Some aspects of evaluation of the role of soils as a shielding medium from ionizing radiation / *Moscow University Soil Science Bulletin*. – 2017. – V.72, №2. – p. 66–70

55. Zhang, X. Predicting the modifying effect of soils on arsenic phytotoxicity and phytoaccumulation using soil properties or soil extraction methods / X. Zhang, E. A. Dayton, N. T. Basta // *Environmental Pollution*. – 2020. – Vol. 263. – P. 114501

56. Zhao Y. et al. Migration and remediation of typical contaminants in soil and groundwater: A state of art review // *Land Degradation & Development*. – 2024. – T. 35. – №. 8. – С. 2700-2715.

ГЛОССАРИЙ

Адаптация (лат. *adaptatio* - приспособление) - приспособление функций и строения организма к условиям существования.

Аденин - пуриновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот (одна из четырех "букв" генетического кода), других биологических веществ.

Адсорбция (лат. *ad-* на, при и *sorbeo* - поглощаю) - поглощение газов, паров или жидкостей поверхностным слоем твердого тела (адсорбента) или жидкости.

Адроны (греч. *adros* - сильный) - элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии (барионы и мезоны, включая все резонансы).

Аккреция (лат. *accretio* - приращение, увеличение) - гравитационный захват вещества и последующее его падение на космическое тело.

Алкалоиды (ср.-век. лат. *alcali* - щелочь и греч. *eidos* -вид) - обширная группа азотсодержащих циклических соединений, главным образом растительного происхождения.

Аллотропия (греч. *allos* -другой и *tropos* - поворот, свойство) - существование химических элементов в виде двух или более простых веществ (например, кислород O₂ и озон O₃).

Алюмосиликаты - группа пороодообразующих минералов класса силикатов; алю-мокремниевых соединений, главным образом растительного происхождения.

Аминокислоты - класс органических соединений, содержащих карбоксильные (-COOH) и аминогруппы (-NH₂), обладающих свойствами кислот и оснований.

Аминопласты (карбамидные пластики) - пластмассы на основе мочевино- или мела-миноформальдегидных смол.

Анизотропия (греч. *anisos* - неравный и *tropos* - направление) - зависимость свойств среды от направления. Она характерна, например, для механических, оптических, магнитных, электрических и других свойств кристаллов.

Аннигиляция (лат. *annihilatio* - превращение в ничто, уничтожение) - превращение элементарных частиц и античастиц в другие частицы, число и вид которых определяются законами сохранения

(например, при аннигиляции пары электрон - позитрон образуются фотоны).

Антивещество - материя, состоящая из античастиц.

Античастицы - элементарные частицы, имеющие ту же массу, спин, время жизни и некоторые другие внутренние характеристики, что и их "двойники", но отличающиеся от них знаками электрического заряда и магнитного момента, барионного заряда, лептонного заряда, странности и др.

Астеносфера (греч. *asthenes* - слабый и сфера) - слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли, подстилающей литосферу.

Ауксины (греч. *аихапо* - увеличиваю, расту) - группа гормонов растений, регулирующих их рост, ростовые реакции на свет и силу тяжести.

Ацетальдегид (уксусный альдегид) CH_3CHO - бесцветная жидкость с резким запахом, являющаяся сырьем в производстве уксусной кислоты, уксусного альдегида и др.

Ацетилен - бесцветный газ, получаемый из природных газов или карбида кальция и служащий сырьем для синтеза винилхлорида, ацетальдегида и др.; используется как горючее при сварке и резке металлов.

Аэробные организмы - большинство живых организмов, которые могут существовать только при наличии свободного молекулярного кислорода.

Барионы (греч. *barys* - тяжелый) - "тяжелые" элементарные частицы с полуцелым спином и массой, не меньшей массы протона.

Белки - природные высокомолекулярные органические соединения, построенные из остатков 20 аминокислот, соединенных пептидными связями в длинные цепи.

Биогеоценоз (био, гео и греч. *koīnos* - общий) - однородный участок земной поверхности с определенным составом живых и косных компонентов.

Биосинтез - образование необходимых организму веществ в живых клетках с участием биокатализаторов - ферментов.

Биосфера - область распространения жизни на Земле; включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и литосферу, населенные живыми организмами.

Биота (греч. biote - жизнь) - исторически сложившаяся совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, объединенных общей площадью распространения; в отличие от биоценоза может не иметь связей между видами.

Биотехнология - использование живых организмов и биологических процессов в промышленном производстве ферментов, витаминов, белков, аминокислот, антибиотиков и т.п.

Биоценоз (био и греч. koinos - общий) - совокупность растений, животных и микро-организмов, населяющих данный участок суши или воды и характеризующихся определенными отношениями между собой и приспособленностью к условиям окружающей среды (например, биоценоз озера, леса и т.д.).

Бифуркация (лат. bifurcus - раздвоенный) - раздвоение, вилообразное разделение, разветвление траектории движения и т.п.

Бозоны - частицы или квазичастицы с целым спином, подчиняющиеся статистике Бозе-Эйнштейна.

Борогидриды металлов - соединения общей формулы $M[BH_4]$, где М - металл в степени окисления п; применяются как восстановители, источники H_2 для приготовления катализаторов, нанесения металлических покрытий.

Бридер (англ. breeder) - разновидность атомного реактора-размножителя.

Валентность (лат. valentia - сила) - способность атомов химического элемента (или атомной группы) образовывать определенное число химических связей с другими атомами (или атомными группами); вместо валентности часто пользуются более узкими понятиями, например степень окисления, координационное число.

Вивисекция (лат. vivus - живой isectio - рассечение) - операция на живом животном с целью изучения функций организма, действия на него различных веществ, методов лечения и т.п.

Геоид (гео и греч. eidos - вид) - фигура Земли, ограниченная уровнем поверхности, продолженной под континенты; поверхность геоида отличается от физической поверхности Земли, на которой резко выражены горы и океанические впадины.

Гербициды (лат. herba - трава и caedo - убиваю) - химические препараты из группы пестицидов для уничтожения главным образом сорной растительности.

Гиббереллины - группа гормонов растений (фитогормонов); стимулируют рост и развитие растений, способствуют прорастанию семян.

Гидрокрекинг - переработка высококипящих нефтяных фракций, мазута или гудрона для получения бензина, дизельного и реактивного топлив, смазочных масел и др. Осуществляется при действии водорода в присутствии катализатора при 330-450 °C и давлении 5-30 Мпа.

Гидросфера (гидро и сфера) - совокупность всех водных объектов земного шара: океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, подземных вод, ледников и снежного покрова.

Глюоны - гипотетические электрически нейтральные частицы с нулевой массой и спином, равным единице; ими обуславливается взаимодействие между кварками.

Гормоны (греч. *hormao* - возбуждаю, привожу в действие) - биологически активные вещества, вырабатываемые в организме специализированными клетками или органами (железами внутренней секреции) и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность других органов и тканей.

Гравитация (лат. *gravitas* - тяжесть) - тяготение, универсальное взаимодействие между любыми видами физической материи.

Гравитон - квант гравитационного поля, имеющий нулевую массу покоя, нулевые электрический заряд и спин (экспериментально пока не обнаружен).

Графитопласты - пластмассы, содержащие в качестве наполнителя графит.

Гуанин - пуриновое основание, содержащееся в клетках всех организмов в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех "букв" генетического кода.

Детерминизм (лат. *determino* - определяю) - философское учение об объективной закономерности взаимосвязи и причинной обусловленности всех явлений, противостоит индетерминизму, отрицающему всеобщий характер причинности.

Детонация моторных топлив - чрезмерно быстрое сгорание топливной смеси в цилиндрах карбюраторного двигателя из-за накопления органических пероксидов в топливной смеси.

Деформация (лат. *deformatio* - искажение) - 1) изменение положения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними в результате внешнего воздействия; 2) изменение формы, искажение сущности чего-либо (например, деформация социальной структуры).

Дискретный (лат. *discretus* - отдельный, прерывистый) - прерывистый, состоящий из отдельных частей.

Диссипация (лат. *dissipatio*) - рассеяние; например, диссипация газов земной атмосферы в межпланетное пространство; диссипация энергии - переход части энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии электрического тока и т. д.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном итоге - в тепло.

Диссоциация (лат. *dissociatio* - разъединение) - распад частицы (молекулы, радикала, иона) на несколько более простых частиц.

Доломит - породообразующий минерал класса карбонатов ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$).

Естественный отбор - процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных; следствие борьбы за существование.

Живое вещество - в концепции В.И. Вернадского - совокупность растений и животных, включая человека.

Иерархия (греч. *Mews* - священный и *arche* - власть) - расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему.

Изомеры (изо и греч. *meros* - доля, часть) - химические соединения, одинаковые по молярной массе и составу, но различающиеся по строению или расположению атомов в пространстве и, следовательно, по свойствам.

Изостазия (изо и греч. *stasios* - равный по весу) - равновесное состояние земной коры и мантии, вызванное действием гравитационных сил, при котором земная кора как бы плавает на более плотном и пластичном подкорковом слое.

Изотопы (изо и греч. *topos* - место) - разновидность химических элементов, ядра атомов которых отличаются числом нейтронов, но содержат одинаковое число протонов и поэтому занимают одно и то же место в периодической системе элементов.

Изотропность (изо и греч. tropos - свойство) - одинаковость свойств объектов (пространства, вещества и др.) по всем направлениям.

Иммунитет (лат. immunitas - освобождение, избавление) - способность живых существ противостоять действию повреждающих агентов, сохраняя свою целостность и индивидуальность; защитная реакция организма.

Инвариант (лат. invarians - неизменяющийся) - величина, остающаяся неизменной при тех или иных преобразованиях.

Инвариантность - неизменность какой-либо величины при изменении физических условий или по отношению к некоторым преобразованиям.

Ингибиторы (лат. inhibeo - удерживаю) - вещества, снижающие скорость химических, в том числе и ферментативных, реакций или подавляющие их.

Инсектициды (лат. insectum - насекомое и caedere - убивать) - химические препараты для борьбы с насекомыми - вредителями сельскохозяйственных растений; относятся к группе пестицидов.

Интеграция (лат. integratio - восстановление, восполнение, от integer-целый) - объединение отдельных частей в целом, также процесс, ведущий к такому образованию.

Ионизация - превращение атомов и молекул в ионы.

Ионная имплантация - внедрение посторонних (примесных) атомов внутрь твердого тела путем бомбардировки его ионами.

Ионы (греч. ion - идущий) - электрически заряженные частицы, образующиеся из атомов (молекул) в результате потери или присоединения одного или нескольких электронов.

Канцерогенные вещества (лат. cancer- рак и ... ген) - химические вещества, воздействие которых на организм при определенных условиях вызывает рак и другие опухоли.

Карбиды - химические соединения углерода с металлами и некоторыми неметаллами, например карбид кальция, карборунд, цементит. Карбиды вольфрама, титана, тантала, ниобия и др. тугоплавки, тверды, износостойки, жаропрочны; входят в состав твердых сплавов, используемых для изготовления резцов, буровых коронок, деталей газовых турбин и реактивных двигателей.

Карбонилы металлов - химические соединения металлов с оксидом углерода CO. Например, карбонилы никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$ и железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ - жидкости, кобальта

Катализ (греч. *katalysis* - разрушение) - ускорение химической реакции в присутствии веществ-катализаторов, которые взаимодействуют с реагентом, но в реакции не расходуются и не входят в состав конечного продукта.

Катастрофа (греч. *katastrophe* - переворот) - внезапное бедствие, событие, влекущее за собой тяжелые последствия.

Квезары (англ. *quasar*, сокр. от *quasistellar radiosource* - квазизвездные источники излучения) - космические объекты чрезвычайно малых угловых размеров, имеющие значительное красное смещение линий в спектрах, что указывает на их большую удаленность.

Кварки - гипотетические частицы с дробным электрическим зарядом, из которых, возможно, состоят элементарные частицы.

Кизерит - минерал класса сульфатов $\text{Mg}[\text{SO}_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$; по происхождению - осадочный; руда магния.

Клон (греч. *klon* - ветвь, отпрыск) - популяция клеток или организмов, происшедших от общего предка путем бесполого размножения; клонирование клеток применяют в генетике соматических клеток, онкологии и др.

Коацервация (лат. *coacervatio* - накопление) - возникновение в растворе капель, обогащенных растворенным веществом; обычно происходит в водных растворах белков и полисахаридов при добавлении электролитов и некоторых органических соединений.

Композиционные материалы (композиты)-материалы, образованные объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними; характеризуются свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов, взятый в отдельности.

Континуум (лат. *continuum* - непрерывное) - в математике: непрерывная совокупность, например, совокупность всех точек отрезка на прямой или всех точек прямой, эквивалентная совокупности всех действительных чисел.

Корпускула (лат. *corpusculum* - частица) - частица в классической (неквантовой) физике.

Коррозия (позднелат. *corrosio* - разъедание) - разрушение твердых тел, вызванное химическими или электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Кортизон - гормон животных и человека, вырабатываемый корой надпочечников; участвует в регуляции обмена белков, жиров и углеводов в организме.

Космохимия - наука, изучающая химический состав космических тел, законы распространенности и распределения химических элементов во Вселенной.

Лептоны (греч. *leptos* - легкий) - элементарные частицы со спином $1/2$, не участвующие в сильном взаимодействии.

Липиды (греч. *lipos* - жир) - обширная группа природных органических соединений, включающая жиры и жироподобные вещества.

Литосфера (греч. *lithos* - камень лито и сфера) - внешняя сфера "твердой" Земли, включающая земную кору и верхнюю часть подстилающей ее мантии.

Мантия Земли - оболочка "твердой" Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли.

Масс-спектрометрия - метод исследования вещества путем определения спектра масс частиц, содержащихся в веществе, и их относительного содержания.

МГД-генератор (магнитогидродинамический генератор) - энергетическая установка, в которой энергия электропроводящей среды (обычно низкотемпературной плазмы), движущейся в магнитном поле, непосредственно преобразуется в электрическую энергию.

Мезоны - нестабильные элементарные частицы с нулевым или целым спином, принадлежащие к классу адронов.

Метагалактика - часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследований; содержит несколько млрд галактик.

Метан - бесцветный газ (CH_4); основной компонент природных (97-99 %), попутных нефтяных (31-90 %), рудничного и болотного газов; служит сырьем для получения многих ценных продуктов химической промышленности - формальдегида, ацетилена, сероуглерода и др.; применяется как топливо.

Метанол (метиловый спирт) - древесный спирт (CH_3OH) - бесцветная жидкость со слабым спиртовым запахом; ядовит, действует на нервную и сосудистую системы; служит сырьем в производстве формальдегида, сложных эфиров и других продуктов.

Метафизика (греч. *meta taphysika* - после физики) - философское учение о сверх-чувствительных (недоступных опыту) принципах бытия.

Митоз (греч. *mitos* - нить) - способ деления ядерных клеток, обеспечивающий тождественное распределение генетического материала между дочерними клетками и преемственность хромосом в ряду клеточных поколений.

Мониторинг - наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидро-сферы, почвенно-растительного покрова, а также техногенных систем) с целью ее контроля, прогноза и охраны.

Мутации (лат. *mutatio* - изменение, перемена) - возникающие естественно или вызываемые искусственно изменения наследственных свойств организма в результате перестроек и нарушений в генетическом материале организма - хромосомах и генах; мутации - основа изменчивости в живой природе.

Наследственность - свойство организма повторять в роду поколений сходные типы обмена веществ и индивидуального развития в целом; обеспечивается самовоспроизведением материальных единиц - генов, катализированных в специфических структурах ядра клетки (хромосомах) и цитоплазмы.

Нейрон (греч. *neuron* - нерв) - нервная клетка, состоящая из тела и отходящих от него отростков - относительно коротких дендритов и длинного аксона.

Нейтрино (итал. *neutrino*, уменьшит, от *neutrone* - нейтрон) - стабильная незаряженная элементарная частица со спином $1/2$, относящаяся к лептонам.

Нейтронграфия - совокупность методов исследования вещества с помощью рассеяния нейтронов низких энергий; позволяет изучать расположение частиц в конденсированной среде.

Нитинол - сплав титана с никелем (55 % Ti, 45 % Ni), обладающий "эффектом памяти", а также высокой коррозионной и эрозионной стойкостью.

Нитраты - соли и эфиры азотной кислоты HNO_3 .

Нуклеотиды - фосфорные эфиры нуклеозидов; состоят из азотистого основания (пу-ринового или пиримидинового), углевода и одного или нескольких остатков фосфорной кислоты.

Нуклид - общее название атомных ядер (и атомов), характеризующихся числом нейтронов в ядре, числом протонов и общим числом нуклонов, называемым массовым числом. Радиоактивные ядра и атомы называются радионуклидами.

Нуклон (лат. nucleus - ядро) - общее название протона и нейтрона, являющихся составными частями атомных ядер.

Облучение - воздействие различных излучений (инфракрасного, ультрафиолетового, рентгеновского, радиоактивного и др.) на вещество или биологические объекты с целью лечения (например, ультрафиолетовая, лучевая терапия), случайное (например, при аварии и у лиц, работающих с источником излучения).

Обменное взаимодействие - специфическое взаимное влияние тождественных частиц, эффективно проявляющееся как результат некоторого особого взаимодействия; чисто квантовый эффект, отражающий свойства симметрии системы тождественных частиц относительно перестановки пары таких частиц. Обменное взаимодействие объясняет закономерности атомных и молекулярных спектров, химическую связь, ферромагнетизм и др.

Озон (греч. ozon - пахнущий) - аллотропная модификация кислорода (O₃); бесцветный газ с резким запахом, сильный окислитель. Озоновый слой предохраняет живые организмы от вредного воздействия ультрафиолетового излучения; озон используется для обеззараживания воды и воздуха.

Октан - бесцветный жидкий углеводород C₈H₁₈, содержащийся в нефти и в больших количествах в синтетическом жидком топливе; имеет низкую детонационную стойкость.

Октановое число - условная количественная характеристика стойкости к детонации моторных топлив, применяемых в карбюраторных двигателях внутреннего сгорания. Октановое число наиболее распространенных отечественных марок автобензинов 76-89, авиа-бензинов 91-95.

Онтогенез (греч. ontos - сущее и генез) - индивидуальное развитие организма, совокупность преобразований организма от зарождения до конца жизни.

Оптическая связь - связь посредством электромагнитных колебаний оптического диапазона (10¹³-10¹⁵ Гц), обычно с применением лазеров.

Органеллы - "органы" простейших, выполняющие различные функции: двигательные, сократительные, рецепторные, пищеварительные и др.

Органоге́ны (от орган и греч. *genos* - рождающий) - главные химические элемен-ты, входящие в состав органических веществ: углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера.

Органоиды (орган и греч. *eidos* - вид) - постоянные специализированные структуры в клетках животных и растений; к ним относятся хромосомы, митохондрии и др. Органоиды часто называют органеллами.

Парсек (сокр. от параллакс и секунда) - единица длины, применяемая в астрономии, равна 3,26 световых года (3,09 10 м).

Пептидная связь -химическая связь (-CO-NH-), соединяющая аминокгруппу одной аминокислоты с карбоксильной группой другой в молекулах пептидов и белков.

Пептиды - органические вещества, состоящие из остатков аминокислот, соединенных пептидной связью; в живых клетках пептиды синтезируются из аминокислот, либо являются продуктами обмена белков.

Пестициды (лат. *pestis* - зараза и *caedo* - убиваю) - химические препараты для борьбы с сорняками (гербициды), вредителями (инсектициды, акарициды, зооциды и др.), болезнями (фунгициды, бактерициды и др.) культурных растений.

Пирит (серный колчедан, железный колчедан) - FeS₂ - самый распространенный минерал класса сульфидов; примеси Cu, Au, Fe, Ni, Co и др.; служит сырьем для получения серной кислоты; руда золота, меди, кобальта.

Пиролиз (греч. *pyr* - огонь и *lysis* - разложение) - разложение химических соединений при нагревании; промышленное значение имеет пиролиз нефтяного сырья, древесины.

Плазмотрон - плазменный генератор - газоразрядное устройство для получения низкотемпературной плазмы (Т 10⁴К); применяется

главным образом в технологических целях, например плазменная металлургия, плазменная обработка, плазмохимия.

Плазмохимия - наука, изучающая химические процессы в низкотемпературной плазме и основы плазмохимической технологии; типичные промышленные плазмохимические процессы - синтез ацетилена из природного газа, производство сверхчистых материалов, например пленок кремния, и т. п.

Пластмассы (пластические массы) - материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения; помимо полимера могут содержать наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и другие компоненты.

Подложка - пластина из диэлектрика монокристалла или металла, на поверхность которой осаждаются тонкопленочные слои из различных материалов.

Полиамиды - синтетические полимеры, содержащие в молекуле амидные группы - CO-NH -; твердые роговидные или прозрачные стеклообразные вещества.

Поливинилхлорид $[-CH_2CHCl-]_n$ - синтетический полимер, продукт полимеризации винилхлорида; на основе поливинилхлорида получают жесткие (винипласт) и мягкие (пластикат) пластмассы, пластизолы, волокна.

Полнимиды - синтетические полимеры, содержащие в молекуле имидную группу. Из полиимидных материалов получают пластмассы, пленки, лаки, клеи, волокна, используемые главным образом в авиации и космической технике.

Полимеры (от поли... и греч. meros - доля, часть) - вещества, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся звеньев; их молекулярная масса может изменяться от нескольких тысяч до многих миллионов. По происхождению полимеры делятся на природные, или биологические (например, белки, нуклеиновые кислоты, натуральный каучук) и синтетические (например, полиэтилен, полиамиды и др.); полимеры - основа пластмасс, химических волокон, резины и т. п.; из биополимеров состоят клетки всех живых организмов; термин "полимеры" введен И. Берцелиусом в 1833 г.

Полинуклеотиды - полимерные органические соединения, образованные остатками моонуклеотидов; природные полинуклеотиды - нуклеиновые кислоты.

Полистирол $[-CH_2CH(C_6H_5)-]_n$ -синтетический полимер, продукт полимеризации стирола; твердое стеклообразное вещество; применяется в производстве пенопластов, корпусов радио- и телеаппаратуры, деталей автомобилей и др.

Полиэфиры - синтетические полимеры, содержащие в молекуле простую эфирную или сложноэфирную группу.

Популяция (лат. *populus* - народ, население) - совокупность особей одного вида, населяющая некоторую территорию, относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом; рассматривается как элементарная единица эволюции.

Порошковая металлургия - производство порошков металлов и изделий из них, их смесей и композиций с неметаллами; с помощью порошковой металлургии получают тугоплавкие и твердые пористые, фрикционные и другие материалы.

Пропан - бесцветный газ, содержащийся в природном и нефтяном газах; образуется при крекинге нефтепродуктов; применяется, например, для получения пропилена, нитрометана и др. В смеси с бутаном используется как бытовой газ.

Простагландины - группа физиологически активных веществ, гормонов, вырабатываемых в ничтожно малых количествах клетками различных тканей большинства животных и человека.

Протоплазма (греч. *protos* - первый и *plasma* - вылепленное, оформленное) - содержимое живой клетки - ее цитоплазма и ядро; термин почти не встречается в современной научной литературе.

Пульсары (англ. *pulsars* - пульсирующие источники радиоизлучения) - космические источники импульсного электромагнитного излучения, открытые в 1967 г.

Рацемазы - ферменты класса изомераз, катализирующие в живых клетках обратимое превращение стереоизомеров, например аминокислот.

Реактопласты (термопластические пластмассы) - пластмассы, переработка которых в изделия сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала; производятся на основе полиэфирных, эпоксидных и

других смол; содержит обычно большое количество наполнителей - стекловолокна, сажи, металла и др.

Реголит (лунный грунт) - разнотернистое обломочно-пылевое вещество, обломки которого состоят из лунных пород и минералов, стекла и других компонентов.

Редукционизм - сведение сложного к простому, составного к элементарному.

Рекомбинация (лат. re - обратно, назад, снова и combinatio - соединение): 1) рекомбинация ионов и электронов в ионизированных газах и плазме - образование нейтральных атомов и молекул из свободных электронов и положительных атомных или молекулярных ионов (процесс, обратный ионизации); 2) рекомбинация свободных радикалов - образование ковалентной связи путем обобществления двух неспаренных электронов, принадлежащих разным частицам.

Реликтовое излучение - фоновое космическое излучение, спектр которого близок к спектру абсолютно черного тела с температурой 2,7 К; происхождение реликтового излучения связывают с эволюцией Вселенной, которая в прошлом имела очень высокую температуру и плотность излучения (горячая Вселенная).

Рецепторы (лат. receptor - принимающий) - окончания чувствительных нервных волокон или специализированные клетки (сетчатки глаза, внутреннего уха и др.), преобразующие раздражения, воспринимаемые извне или из внутренней среды организма, в нервное возбуждение, передаваемое в центральную нервную систему.

Самоорганизация - целенаправленный процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы; свойством самоорганизации обладают объекты различной природы: клетка, организм, биологическая популяция, биогеоценоз, человеческий коллектив и др.

Сверхпроводимость - физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников) при охлаждении их ниже определенной температуры и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и в выталкивании магнитного поля из объема образца; критическая температура высокотемпературных сверхпроводников составляет более 100 К.

Селекция (лат. *selectio* - выбор, отбор) - выведение новых и улучшение существующих сортов растений, пород животных путем применения научных методов отбора.

Синергетика (греч. *synergetikos* - совместный, согласованно действующий) - научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических и др.) благодаря интенсивному (потокowому) обмену веществами и энергией с окружающей средой в неравно-весных условиях; в таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т.е. уменьшается энтропия (так называемая самоорганизация)

Синтез (греч. *synthesis* - соединение, сочетание) - соединение (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему).

Синтез-газ - газ, состоящий из CO (40-60%) и H₂ (30-50%); получают конверсией природного горючего с водяным паром и кислородом, а также газификацией топлив; служит сырьем в производстве водорода, углеводородов, метилового спирта и др.

Спектроскопия - раздел физики, посвященный изучению спектра электромагнитного излучения.

Спин (англ. *spin* - вращение) - собственный момент импульса микрочастицы, имеющий квантовую природу.

Стеклопластики - пластмассы, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя стеклянное волокно.

Стохастический (греч. *stochastikos* - умеющий угадывать) - случайный, вероятностный.

Стратосфера (лат. *stratum* - слой и сфера) - слой атмосферы, лежащий над тропосферой от 8-10 км в высоких широтах и от 16-18 км вблизи экватора до 50-55 км; характеризуется повышенным по сравнению с ниже- и вышележащими слоями содержанием озона.

Терпены - природные углеводороды общей формулы (C₅H₈)_n; особенно богаты тер-пенами эфирные масла; к терпенам относятся, например, камфора, ментол и др.

Тимин - пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе ДНК; одна из четырех "букв" генетического кода.

Тритий (лат. tritium, от греч. tritos - третий) - сверхтяжелый радиоактивный изотоп водорода с массовым числом 3.

Урбанизация (лат. urbanus - городской) - процесс сосредоточения промышленности и населения в крупных городах.

Утилизация (лат. utilis - полезный) - использование для переработки отходов производства и домашнего хозяйства.

Фауна (лат. Fauna - богиня лесов и полей, покровительница животных в римской мифологии) - исторически сложившаяся совокупность видов животных, обитающих на определенной территории.

Фаянс (франц. faïence от названия итальянского города Фаэнца, где производился фаянс) - керамические изделия (облицовочные плиты, посуда и др.), имеющие плотную мелкопористую структуру, покрытые прозрачной или непрозрачной глазурью.

Фенопласты - пластмассы на основе главным образом фенолформальдегидных смол; используются как коррозионностойкие конструкционные материалы.

Ферменты (лат. fermentum - закваска) - биологические катализаторы, присутствующие во всех живых клетках; осуществляют превращение веществ в организме, направляя и регулируя тем самым его обмен веществ; по химической природе - белки.

Феромоны - химические вещества, вырабатываемые экзокринными железами (или специальными клетками) животных, выделяясь во внешнюю среду одними особями, феромоны оказывают влияние на поведение, а иногда на рост и развитие других особей того же вида; феромоны и их химические аналоги применяются в борьбе с насекомыми-вредителями.

Флора (лат. Flora - богиня цветов и весеннего цветения в римской мифологии) - исторически сложившаяся совокупность видов растений какой-либо местности или геологического периода.

Флуктуация (лат. fluctuatio - колебание) - случайное отклонение физических величин от их средних значений.

Формальдегид (муравьиный альдегид) - бесцветный газ с резким запахом; химическая формула HCHO ; служит сырьем в производстве фенолформальдегидных смол, изопрена и др.

Фосфин (фосфористый водород PH_3) - бесцветный газ с неприятным запахом, сильный восстановитель; самопроизвольно воспламеняется на воздухе, токсичен.

Фотолиз - превращение молекул вещества под действием поглощенного света.

Фотолитография (фото и литография) - фотохимический способ изготовления печатной формы плоского рисунка на металлическом слое, пластине и т.п.

Фунгициды - химические препараты для уничтожения или предупреждения развития патогенных грибов - возбудителей болезней сельскохозяйственных растений.

Хемосорбция - поглощение вещества поверхностью какого-либо тела в результате образования химической связи.

Хиральность - свойство молекулы не совмещаться со своим отображением в идеальном плоском зеркале; является необходимым условием оптической активности молекул.

Хроматография (греч. chromatós - цвет и ... графин) - метод разделения и анализа смесей, основанный на различном распределении их компонентов между двумя фазами - неподвижной и подвижной.

Хромосомы - структурные элементы ядра клетки, содержащие ДНК, в которой заключена последовательная информация организма; в хромосомах в линейном порядке расположены гены.

Целлулоид - пластмасса на основе пластифицированного нитрата целлюлозы.

Целлюлоза - полисахарид, образованный остатками глюкозы; используется в производстве бумаги, картона, пластмасс, лаков и др.

Центромера - участок хромосомы, удерживающий вместе две ее нити; во время деления центромера направляет движение хромосом к полюсам клетки.

Цитозин - пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех "букв" генетического кода.

Цитокинины - группа гормонов растений, производные азотистых оснований пурина; повышают скорость деления клеток.

Цитоплазма - внеядерная часть протоплазмы животных и растительных клеток.

Штамм (нем. Stamm) - чистая культура микроорганизмов одного вида.

Эволюция (лат. *evolutio* - развертывание) - одна из форм движения в природе и обществе - непрерывное, постепенное количественное изменение в отличие от революции.

Экосистема (греч. *oikos* - жилище, местопребывание и система) - единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания.

Эластомеры - полимеры, обладающие при обычных температурах высокопластичными свойствами; типичные эластомеры - каучук и резина.

Эпитаксия (греч. *epi* и *taxis* - расположение в порядке) - ориентированный рост одного монокристалла на поверхности другого (подложки).

Этан - бесцветный газ, содержащийся в газах нефтепереработки; входит в состав коксового газа; служит сырьем для синтеза винилхлорида, этилового спирта, полиэтилена и др.

Эукариоты (греч. *eu* - хорошо и *кагуоп* - ядро) - все организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделенное оболочкой от цитоплазмы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Содержание питательных веществ различных видов удобрений
Азотные удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	Основное вещество, не менее	Азот, не менее
Аммиачные		
Аммиак жидкий	99,6 NH_3	82,0
Аммиачная вода техн. марка Б (для сельского хозяйства)	25,0 NH_3	20,5
Аммонийные		
Сульфат аммония	NH_3	
Высший сорт	25,7	21,0
I сорт - крист.	25,4	20,8
II сорт - крист. или аморфн.	25,4	20,8
Сульфат аммония техн.		
I сорт	-	20,8
II сорт	-	20,8
Сульфат аммония гран. (коксохим.)	25,4	20,8
Сульфат аммония-натрия	Сульфат натрия не более	17
Нитратные		
Селитра натриевая техн. (ГОСТ)	NaNO_3	
I сорт	99,5	16,4
II сорт	99,0	16,3
Селитра натриевая техн. (МРТУ)	94,0	15,5
Селитра кальциевая техн.	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	17,5
Аммонийно-нитратные и цитратные		
Селитра аммиачная гран. со знаком качества	NH_4NO_3	34,65
марка А	99,0	
марка Б	98,0	34,2
	97,7	34,0
Амидные		
Карбамид (мочевина)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
со знаком качества	-	46,3
для сельск. хоз.	-	46,0

Т а б л и ц а 2

Фосфорные водорастворимые удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	P ₂ O ₅ усв., не менее	P ₂ O ₅ вод., не менее
Суперфосфат простой порошковидный из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат гран. из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат простой порошковидный сушеный нейтрализованный из ап. конц.	20±1	Не норм.
Суперфосфат двойной гран.		
марка А	49±1	42
марка Б	49±1	37
Суперфосфат двойной порошковидный из кингисеп- пского флот. конц.	42±1	38±1
Суперфосфат аммонизированный гранулированный из фосф. Каратау (1,5-2,5% N)	15±1	Не норм.
Суперфосфат аммонизированный порошковидный из фосф. Каратау (1,5-2,5% N)	15±1	Не норм.
Суперфосфат простой с бором гран. (0,2±0,05 % В)	20±1	Не норм.
Суперфосфат двойной с бором гран.(0,4±0,05 % В)	43±1	36,0
Суперфосфат простой марганизированный (1-2% Mn)	20±1	Не норм.

Таблица 3

Фосфорные водонерастворимые удобрения

Удобрение	Содержание, %
	P ₂ O ₅ , не менее
Фосфат осажденный (преципитат)	22
Преципитат удобрительный (из отходов производ- ства желатины)	38,0
Фосфоритная мука	
I сорт	29±1
II сорт	23±1
III сорт	20±1

Таблица 4

Калийные удобрения

Удобрение	Содержание, %	
	KCl	K ₂ O
Калий хлористый гран. (спрессованный) или естественно крупнокрист.		
I сорт	95±1	60±0,6
II сорт	91±1	57,5±0,6
Калий хлористый крупнокрист.	85,0	53,7±0,6
Соль калийная смешанная 40%	63,3	40,0
Хлоркалий - электролит отработанный крист.		
марка А	72,0	45,5
марка Б	50,0	31,6
Сульфат калия для сельск. хоз.	-	46±1
Сульфат калия техн.	-	48,0
Калий сернокислый удобрительный		
I сорт	-	50,0
II сорт	-	46,0
Калимагнезия порошковидная (9±1%)	-	18±1
Каинит природный	-	10±0,5

Таблица 5

Комплексные удобрения

Удобрение	Содержание, %, не менее				
	Всего N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	N	P ₂ O ₅		K ₂ O
			Усв.	Вод.	
Аммофос гран.					
со знаком качества	61±1	11	50±1	47	-
марка А	61±1	11	50±1	46	-
марка Б	57±1	11	46±1	34	-
Аммофос порошковидн.					
марка А	61±1	11	50±1	47	-
марка Б	57±1	11	46±1	37	-
Аммофос на основе рядовой руды Каратау					
со знаком качества	54	10	44	35	-
гран.	51	9	42	34	-
порошковидн.	51	9	42	36	-
Аммофос удобрительный					
марка А	51±1	12,0	39±1	29±0,5	-
марка Б	47,2	11,7	35,5	26,5	-
Диаммоний фосфат гран.	68	19	49	48	-
Нитроаммофос гран.					

марка А	46	23	23	22	-
марка Б	40	16	24	23	-
марка В	45	25	20	19	-
Нитроаммофоска					
сорт А (1:1:1)	51	17±1	17±1	15	17±1
сорт А (1:1,5:1,5)	51	13±1	19±1	16	19±1
Нитрофос гран.					
марка А	40,5	23,5	17	7	-
марка Б	38	24,0	14	6	-
уравновешенный	44±1	22±1	22±1	18	-
Нитрофоска азотносульфатная	32	11	10	5,5	11
Селитра калиевая техн.	КШЗ				
со знаком качест.	99,9	13,84	-	-	46,60
I сорт	99,8	13,82	-	-	46,48
II сорт	99,7	13,78	-	-	46,35

Среднее содержание тяжелых металлов в фосфорных удобрениях
(мг/кг)

Таблица 2

Удобрения	Элементы							
	Си	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Sn	Hg
Суперфосфат простой	6,0-9,2	12,1-16,0	0,8-0,9	5,8-7,5	8,6	11,6	2,8	0,08
Суперфосфат аммонизирован-	6,0	6,3	0,5	6,0	-	3,8	-	-
Суперфосфат двойной	7,2^0,0	9,6-40,0	0,4-2,7	9,1-26,4	24,1	7,0-13,2	2,0	0,04
Фосфоритная мука	137,0	185,0-210,0	0,9-1,4	11,0-21,1	55,0-180,0	15,0-62,0	-	5,9
Фосфатшлак	13,2	10,0	0,4	11,0	-	-	-	-
Фосфогипс	29,8	38,5	2,6	25,0	69,0	9,0	-	17,0
Средневзвешенное	33,1	48,7	1,4	13,1	46,1	20,5	-	-

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов в азотных, калийных, сложных и комплексных удобрениях (мг/кг)

Удобрение	Элементы								
	Co	Cr	Cu	Mn Ni Pb			Zn	As	Cd
Калийные удобрения									
Калийная селитра	<0,3	147	12,7	21	21,3	13,3	<7,3	0,5	*
Сульфат калия	5,0	58	16,5	42	<9,3	<8,0	9,0	<0,6	<0,2
Калий хлористый гранулированный	<0,3	27	10,3	122	17,3	10,3	14,7	2,0	3,3
Калий хлористый негранулированный	<0,6	34	18,4	15,3	12,1	4,9	39,9	2,0	<1,5
Средневзвешенное	1,5	57	16	101	14	8	23	1,4	0,3
Азотные удобрения									
Карбамид	<0,44	15	14,6	29	11,2	*	14,3	<0,2	*
КАС	1	62	40,5	149	24	<1	44	*	*
Вода аммиачная	5	92	41,0	172	54	<0,2	86	5,4	<0,4

Сульфат аммония	<1,5	64	24,7	137	27,9	<0,8	46,1	<7,5	<0,5
Селитра аммиачная	<0,5	13	8,8	35	8,3	<0,1	14,4	*	<0,1
Кальциевая селитра	4	170	3,5	40	6,5	4,5	15	1	<0,5
Средневзвешенное	1,3	42	26	76	19	0,4	30	2,5	0,2
Сложные и комплексные удобрения									
Удоб. для теплиц	<3	131	33,4	78	27,8	4,8	19,4	2,2	2,4
Аммофос	3,8	153	14,1	290	10,1	10,9	62,3	3,8	3,9
Азофоска	<1,3	149	117	196	37,3	10,0	137,8	3,8	3,0
Нитроаммофос	<2,8	33	10,6	116	6,2	2,2	24,4	2,0	1,8
Нитрофос	8,0	41	15,5	187	5,5	1,5	12,0	3,0	2,0
Нитроаммофосфат	9,0	65	36,0	198	10,5	8,5	37,0	3,0	3,5
Средневзвешенное	3,6	116	39	194	184,8	7,5	59	3	3

Учебное электронное издание

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Учебное пособие

Авторы-составители:

ШЕНТЕРОВА Екатерина Михайловна
РАГИМОВ Александр Олегович
МАЗИРОВ Михаил Арнольдович
и др.

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;
дисковод CD-ROM.

Тираж 300 экз.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Изд-во ВлГУ
rio.vlgu@yandex.ru

Институт биологии и экологии
кафедра почвоведения, агрохимии и лесного дела
k.vlgu@yandex.ru