МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Д.А. Козырь, Д.А. Макеева, Ю.А. Омельчук

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Учебное пособие
для обучающихся образовательных учреждений
высшего профессионального образования

Севастополь
СевГУ
2023

УДК [502.175:005.584.1](075.8)
ББК 20.18я73
К59

Р е ц е н з е н т ы :
П. В. Голеусов – д-р геогр. наук, доцент, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, институт наук о Земле,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
А. Х. Дегтерёв – д-р физ.-мат. наук, профессор,
профессор кафедры «Радиоэкология и экологическая безопасность»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Козырь, Д. А.

К59 Экологический мониторинг : учебное пособие для обучающихся образовательных учреждений высшего профессионального образования / Д. А. Козырь, Д. А. Макеева, Ю. А. Омельчук ; Севастопольский государственный университет, кафедра «Радиоэкология и экологическая безопасность». – Севастополь : СевГУ, 2023. – 164 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-6050377-0-5

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и основной образовательной программы направлений подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование, 20.03.02 «Природообустройство и водопользование».

УДК [502.175:005.584.1](075.8)
ББК 20.18я73

Рекомендовано Ученым советом Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений высшего профессионального образования, протокол № 10 от 23 мая 2023 г.

ISBN 978-5-6050377-0-5
9 785605 037705 >

© Козырь Д. А., Макеева Д. А., Омельчук Ю.А., 2023
© ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7
Глава 1. Научные основы экологического мониторинга 8
1.1. Определение экологического мониторинга 8
1.2. Схема мониторинга и взаимосвязи его блоков 12
1.3. Классификация и характеристика экологического мониторинга 13
1.4. Научное обоснование объектов мониторинга 16
1.5. Вопросы для самоконтроля 18
Глава 2. Экологические нормы загрязнения окружающей среды 20
2.1. Основные понятия, определения системы нормирования 20
2.2. Нормирование качества атмосферного воздуха 24
2.3. Нормирование качества воды 26
2.4. Нормирование качества почвы 37
2.5. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в продуктах питания 40
2.6. Нормирование в области радиационной безопасности 41
2.7. Вопросы для самоконтроля 42
Глава 3. Мониторинг состояния атмосферного воздуха 43
3.1. Организация мониторинга состояния атмосферного воздуха 43
3.2. Виды, размещение и количество постов мониторинга атмосферы 45
3.3. Программы, сроки наблюдений, определение перечня контролируемых веществ при мониторинге атмосферы 46
3.4. Методы отбора проб атмосферного воздуха 49
3.5. Контроль выбросов загрязняющих веществ в период неблагоприятных метеорологических условий 53
3.6 Вопросы для самоконтроля 56
Глава 4. Мониторинг поверхностных вод суши 57
4.1 Загрязнение поверхностных вод суши 57
4.2 Организация системы мониторинга поверхностных вод. Пункты наблюдений 58
4.3 Программы наблюдений при мониторинге поверхностных вод 63
4.4 Методы и сроки отбора проб 65
4.5 Гидробиологические наблюдения за качеством воды и донными отложениями 67
4.6 Вопросы для самоконтроля 68
Глава 5. Мониторинг вод морей и океанов 69
5.1. Мировой океан и источники его загрязнения 69
5.2. Цели и задачи мониторинга Мирового океана 71
5.3. Принципы организации мониторинга Мирового океана 73
5.4 Вопросы для самоконтроля 75
Глава 6. Мониторинг подземных вод и недр 76
6.1. Влияние хозяйственной деятельности на формирование режима подземных вод 76

6.2. Режимные наблюдения подземных вод 78
6.3. Государственный мониторинг состояния геологической среды (недр) 81
6.4. Вопросы для самоконтроля 83
Глава 7. Мониторинг геологической среды и почв. 84
7.1. Источники и виды деградации почв 84
7.2. Государственный мониторинг земель 85
7.3. Организации наблюдений за уровнем химического загрязнения почв 87
7.4. Мониторинг почв 88
7.5. Вопросы для самоконтроля 91
Глава 8. Специализированные виды экологического мониторинга 92
8.1. Глобальный фоновый мониторинг 92
8.2. Климатический мониторинг 95
8.3. Мониторинг радиоактивного загрязнения 100
8.3.1. Мониторинг радиоактивных аэрозолей 100
8.3.2. Мониторинг радиоактивных выпадений, осадков, поверхностных вод и гамма-излучения 101
8.4 Биологический мониторинг 103
8.4.1 Проведение биоиндикации с помощью растений 103
8.4.2 Проведение биоиндикации с помощью животных 107
8.5 Вопросы для самоконтроля 108
Глава 9. Методы и технические средства измерения параметров окружающей среды 109
9.1. Метрологические принципы организации наблюдений за параметрами окружающей среды 109
9.2. Классификация методов исследования состояния окружающей среды 113
9.3. Аналитические методы измерений 114
9.4. Оптико-спектральные методы анализа веществ 115
9.5. Ионизационные методы 119
9.6. Тепловые методы 120
9.7. Хроматографический метод 120
9.8. Методы измерений концентрации пыли в воздухе 121
9.10. Электрохимические методы анализа загрязняющих веществ 122
9.11. Методы оценки и анализа состояния окружающей среды 124
9.12. Методы прогнозирования состояния окружающей среды 127
9.13. Вопросы для самоконтроля 130
Глава 10. Локальный экологический мониторинг породных отвалов горнопромышленных агломераций 131
10.1. Контактные методы контроля теплового состояния породных отвалов 132
10.2. Дистанционные методы контроля теплового состояния породных отвалов 134

10.3. Анализ применения авиационных средств при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха 140
10.4. Применение беспилотных авиационных систем при проведении экологического мониторинга атмосферного воздуха 143
10.5. Вопросы для самоконтроля 147
Глава 11. Аспекты организации систем экологического мониторинга..... 148
11.1. Единая система государственного экологического мониторинга..... 148
11.2. Глобальная система мониторинга окружающей среды 152
11.3. Международные программы системы глобального мониторинга 154
11.4. Производственный экологический мониторинг..... 156
11.5. Вопросы для самоконтроля 159
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 160
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 161

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БВС – беспилотное вертолетное судно
БПЛА – беспилотный летательный аппарат
ГСМОС – глобальная система мониторинга окружающей среды
ЕСГЭМ – единая система государственного экологического мониторинга
ЗВ – загрязняющее вещество
ИЗА – индекс загрязнения атмосферы
НМУ – неблагоприятные метеорологические условия
ОДК – ориентировочная допустимая концентрация
ПДК – предельно допустимая концентрация
ПДК – предельно допустимая концентрация
СЗЗ – санитарно-защитная зона
НДВ – норматив допустимого выброса
НДС – норматив допустимого сброса
ПДН – предельно допустимая нагрузка
ПЭМ – производственный экологический мониторинг
ТМ – тяжелый металл
УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды

ВВЕДЕНИЕ

Взаимоотношение человека и природы в настоящее время носит кризисный характер. Развитие негативных процессов в дальнейшем может составить угрозу благополучию и самому существованию человечества. Преодоление отрицательных тенденций развития мирового сообщества может быть обеспечено при реализации принципа устойчивого развития, декларированного на конференции глав государств в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Претворение в жизнь решений конференции, предполагает в первую очередь наличие объективной информации о состоянии природной среды, которая может быть получена средствами мониторинга.

Целостность природы и многочисленные взаимосвязи и взаимозависимости её компонентов делают желательным получение данных о состоянии таких природных образований, как экосистемы. Однако оценка состояния данных объектов связана со значительными трудностями, так как невозможно определить обобщенные измеряемые показатели, характеризующие все элементы экосистемы. Поэтому на практике выполняется количественная оценка отдельных компонентов природных комплексов. Экологический мониторинг окружающей природной среды обеспечивает регулярную оценку и прогнозирование состояния среды и условий функционирования экосистем планеты.

Учебное пособие составлено в соответствии с учебными планами ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», 20.03.02 «Природообустройство и водопользование».

Целью дисциплины является приобретение будущим специалистом теоретических знаний и умений по получению информации о состоянии объектов окружающей среды, оценке её уровня, разработке научно-обоснованных рекомендаций для проведения природоохранных мероприятий.

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются обучающимися при изучении последующих дисциплин, прохождении учебной или производственной практики, прохождении государственной итоговой аттестации и в профессиональной деятельности.

В данном учебном пособии авторами представлена в удобной для изучения форме информация о понятийном аппарате экологического мониторинга, мониторинге природных сред, специализированных видах мониторинга, методах и средствах экологического мониторинга, и международном опыте его применения. Иллюстративный материал пособия заимствован из общедоступных ресурсов интернета, не содержащих указаний на авторов этих материалов и каких-либо ограничений для их использования.

Учебное пособие содержит теоретическую часть, а также вопросы для самопроверки.

Глава 1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

1.1. Определение экологического мониторинга

Информация о состоянии окружающей природной среды, об её изменении используется человеком достаточно давно. Последние 100 - 200 лет регулярно ведутся гидрометеорологические, астрономические и другие наблюдения. С развитием технологий, когда у человека появилась большая возможность воздействовать на природу, преобразовывать ее, полнее использовать природные ресурсы, геофизическая информация становится для него все более необходимой. С помощью такой информации можно определить оптимальные природные условия для осуществления различных хозяйственных мероприятий, предсказать как благоприятные, так и неблагоприятные факторы ведения хозяйства, повышать эффективность использования природных ресурсов.

В последние десятилетия стало очевидно, что бесконтрольная эксплуатация природы может привести к весьма серьезным негативным последствиям. В связи с этим возникла еще большая необходимость в детальной информации о состоянии биосферы.

Нарушение устойчивости системы «человек – природа – общество» в современных условиях обусловлено существенным деструктивным влиянием человечества на состояние окружающей природной среды вследствие чрезмерного роста производительных сил и количественного роста численности населения. Все это привело к огромному усилению антропогенной нагрузки на экосистемы Земли и практически к необратимым изменениям во всей биосфере. Интенсивное развитие научно-технического прогресса обусловило возникновение ряда глобальных экологических проблем, каждая из которых способна привести к уничтожению нашей цивилизации. Среди этих проблем наиболее приоритетны: дефицит пресной воды, снижение видового биологического и ландшафтного разнообразия планеты, парниковый эффект, озоновые дыры, кислотные дожди, загрязнение Мирового океана, опустынивание, гибель лесов и т.д.

Для решения данных проблем, в соответствии с мировой практикой, предполагается развитие уже существующих и внедрения новых механизмов регулирования экологической безопасности. К таким механизмам относится идентификация опасных видов деятельности как основного критерия при оценке состояния экологической безопасности; лицензирование опасных видов деятельности; осуществление экологического аудита как одного из возможных инструментов оценки уровня опасности; применение понятия риска как интегрального показателя возможных экологических угроз.

Как показывает практика, для правильной организации управления качеством окружающей природной среды необходимым условием является формирование полноценной системы экологического мониторинга. В настоящий момент система мониторинга окружающей среды рассматривается как совокупность подсистем наблюдений, сбора, передачи и обработки, хранения и анализа информации о состоянии качества компонентов окружающей природной среды, прогнозирования изменений данного состояния и разработки эколого-экономически обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений о предотвращении и минимизации негативного техногенного воздействия на компоненты окружающей природной среды и соблюдения требований экологической безопасности. Системы мониторинга позволяют выявлять критические ситуации, выделять критические факторы воздействия и наиболее чувствительные к воздействию элементы биосферы.

Термин «мониторинг» образован от лат. monitor – наблюдающий, предостерегающий.

Мониторинг окружающей природной среды – это регулярные, выполняемые по заданной программе, наблюдения природных сред (атмо-, гидро- и литосферы), природных ресурсов растительного и животного мира, которые позволяют:

- определить экологическое состояние названных сред и объектов;
- происходящие в этих средах и объектах процессы под влиянием антропогенной деятельности;
- контролировать и управлять состоянием окружающей природной среды.

Мониторингом называют систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определёнными целями и в соответствии с заранее подготовленной программой.

Необходимость в детальной информации о состоянии окружающей природной среды стала ещё более очевидной в связи с серьезными негативными последствиями, вызванными чрезмерной эксплуатацией человеком природных ресурсов. Для выявления изменений состояния биосферы под влиянием деятельности человека необходима система наблюдений.

Понятие мониторинга окружающей среды было впервые введено Р. Манном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН. В Российской Федерации одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль. Уточняя определение мониторинга окружающей среды, Ю.А. Израэль ещё в 1974 г. сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение термина «мониторинга окружающей среды» антропогенный фактор как основную причину этих изменений. **Мониторингом окружающей среды** он называет систему наблюдений,

оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды.

Стокгольмская конференция (1972 г.) по окружающей среде положила начало созданию глобальных систем мониторинга состояния окружающей среды (ГСМОС).

Мониторинг включает следующие основные **направления деятельности**:

- наблюдение за факторами, воздействующими на окружающую природную среду, и за состоянием среды;
- оценку фактического состояния природной среды;
- прогноз и оценку состояния природной среды.

Таким образом, **экологический мониторинг** – это многоцелевая информационная система наблюдений, анализа, диагноза и прогноза состояния природной среды, не включающая управлением качеством окружающей среды, но дающая необходимую информацию для такого управления (рис. 1.1).

Рис. 1.1. Структура экологического мониторинга

Мониторинг является лишь основой управления качеством среды, т.е. поставляемая им информация необходима для принятия управленческих решений. В настоящее время выделяются:

- мониторинг антропогенных изменений окружающей среды;
- геофизический мониторинг;
- биологический мониторинг;
- мониторинг факторов воздействия;
- экологический мониторинг и т.д.

В этой классификации особое место занимает экологический мониторинг, связанный с понятием «экосистема». Это совокупность живых организмов и неживой природы, которые, взаимодействуя между собой, образуют единое целое.

Экологический мониторинг является комплексным мониторингом биосферы, он включает наблюдения, оценку и прогноз антропогенных изменений состояния абиотической составляющей биосферы (в том числе и загрязнение природных сред), ответной реакции экосистем на эти изменения и антропогенные изменения в экосистемах, (использование земель, вырубка леса, урбанизация и т.п.). Таким образом, экологический мониторинг включает в себя как биологический, так и геофизический аспекты. Необходимым условием успешного функционирования экологического мониторинга является требование, чтобы конечным результатом стали оценка и прогноз состояния экосистем.

Под **экологическим мониторингом** понимается информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

Другим крупным теоретиком мониторинга являлся академик И.П. Герасимов. В своих работах он определял мониторинг как систему наблюдений и контроля над состоянием окружающей среды с целью рационального использования природных ресурсов, охраны природы и обеспечения стабильного функционирования геосистем различного хозяйственного назначения. При этом должно быть выделено три уровня мониторинга: биологический (санитарно-гигиенический), геоэкологический (геосистемный) и биосферный (глобальный).

Официальное определение дано в Федеральном законе "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ: «**государственный экологический мониторинг** (государственный мониторинг окружающей среды) - комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды».

Цели экологического мониторинга:

1. Постоянная оценка «комфортности» условий среды обитания человека и других биологических объектов.

2. Предоставление информационной составляющей для целей прогнозирования, моделирования и принятия управленческих решений.

Задачи экологического мониторинга:

1. Научно-техническое обеспечение наблюдения, оценки прогноза состояния окружающей среды.

2. Наблюдения за источниками поступления загрязняющих веществ и уровнем загрязнения окружающей среды.

3. Выявление источников и факторов загрязнения и оценки степени их воздействия на окружающую среду.

4. Оценка фактического состояния окружающей среды.

1.2. Схема мониторинга и взаимосвязи его блоков

По определению экологический мониторинг может быть разделен на блоки (рис. 1.2): наблюдения; оценка фактического состояния, прогноз состояния; оценка прогнозируемого состояния.

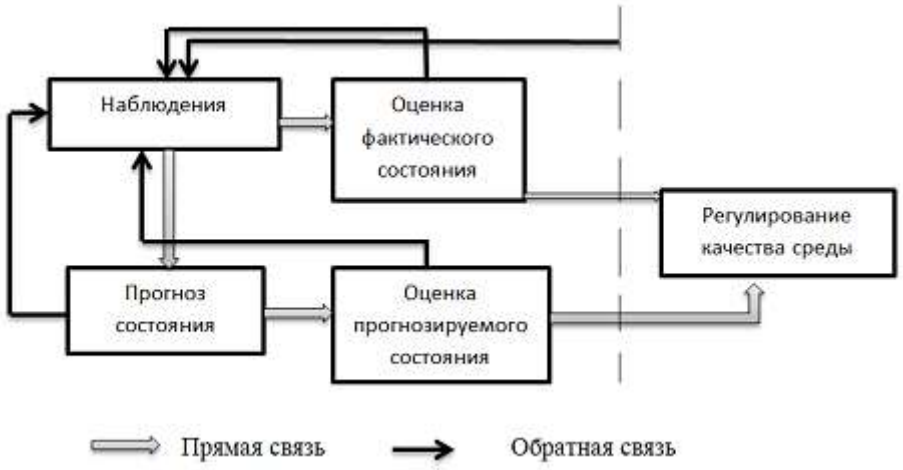

Рис. 1.2. Схема мониторинга и взаимосвязи его блоков

Блоки «Наблюдения» и «Прогноз состояния» тесно связаны между собой, так как прогноз состояния окружающей среды возможен лишь при наличии достаточно репрезентативной информации о фактическом состоянии. Прямая связь блоков мониторинга состоит в том, что построение прогноза подразумевает знание закономерностей изменений состояния природной среды, наличие схемы и возможностей численного расчета. Обратная связь заключается в том, что направленность прогноза должна определять структуру и состав наблюдательной сети.

Данные, характеризующие состояние природной среды, полученные в результате наблюдений или прогноза, должны оцениваться в зависимости от того, в какой области человеческой деятельности они используются. Оценка подразумевает определение ущерба от воздействия, а также выбор оптимальных условий для человеческой деятельности, определение экологических резервов. При такого рода оценках предполагается знание допустимых нагрузок на окружающую среду (ПДК – предельно допустимые концентрации).

Информационные геофизические системы (метео- и гидрологические наблюдения и т.д.), так же, как и информационные системы мониторинга, являются составной частью системы управления состоянием окружающей среды. Результаты оценки существующего и прогнозируемого состояния биосферы в свою очередь дают возможность уточнить требования к системе наблюдений.

1.3. Классификация и характеристика экологического мониторинга

Экологический мониторинг (мониторинг окружающей среды) – комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды.

При организации мониторинга возникает необходимость решения нескольких задач разного уровня, поэтому И.П. Герасимов предложил различать три вида мониторинга: биоэкологический (санитарно-гигиенический), геосистемный (природно-хозяйственный) и биосферный (глобальный) (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Уровни мониторинга (классификация по И.П. Герасимову)

Ступени мониторинга	*Объекты мониторинга*	*Характеризуемые показатели мониторинга*
Биоэкологический (санитарно-гигиенический)	Приземный слой воздуха	ПДК токсичных веществ
	Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.)
	Радиоактивные излучения	Предельная степень радиоизлучения
Геосистемный (природно-хозяйственный)	Исчезающие виды животных и растений	Популяционное состояние видов
	Природные экосистемы	Их структура и нарушения
	Агроэкосистемы	Урожайность сельскохозяйственных культур
	Лесные экосистемы	Продуктивность насаждений
Биосферный (глобальный)	Атмосфера	Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление
	Гидросфера	Загрязнение рек и водоемов, круговорот воды на континентах
	Растительный и почвенный покровы, животное население	Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных.

При **биоэкологическом мониторинге** (локальный) предполагается контроль над содержанием токсичных для человека химических веществ в атмосфере, природных водах, растительности, почве, подверженных воздействию конкретных источников загрязнения (промышленные предприятия, стройки, рудники, мелиоративные системы, предприятия энергетики и т.д.). При этом выявляют источник загрязнения и степень загрязнения природных сред.

Импактный мониторинг – мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий на окружающую среду в особо опасных зонах и местах. Как правило, это мониторинг реальных выбросов, аварий, ката-

строф. Цель такого вида мониторинга оценить степень вреда для окружающей природной среды и человека.

Геосистемный мониторинг (региональный) должен давать оценку антропогенного влияния на природную среду в ходе обычной хозяйственной деятельности человека, которая обязательно предполагает тот или иной вид взаимодействия с природой (градостроительство, сельское хозяйство, промышленность, энергетика, лесное хозяйство, рыболовство, коммунально-бытовая деятельность и т.д.). Этот вид мониторинга предполагает оценку взаимодействия человека и природы во всех направлениях и дает характеристику привнесения и выноса из природной среды вещества и энергии.

Биосферный мониторинг (глобальный, фоновый) предполагает контроль за общепланетарными изменениями в биосфере, которые связаны с деятельностью человека. Фоновый мониторинг проводят в соответствии с Глобальной системой мониторинга окружающей среды, Международной программой «Наблюдения за планетой», Программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Программой ООН по окружающей среде ЮНЕП.

Основные задачи биосферного мониторинга определены в одном из разделов Международной программы «Человек и биосфера» (Man and Biosphere) и состоят в следующем:

1. Установление взаимосвязи между загрязнением, структурой и функционированием экосистем, их звеньев, популяций или отдельных организмов.

2. Определение перечня тех показателей и измерений, которые необходимы для наблюдения и оценки существующего состояния экосистемы и прогноза изменения его в будущем.

3. Анализ путей и скоростей преобразования загрязняющих веществ в экосистеме.

4. Определение критических уровней показателей окружающей среды.

На сегодняшний день в научном сообществе наиболее распространена следующая классификация видов экологического мониторинга:

1. **Пространственное разделение**: выделяют детальный мониторинг, (реализуется в пределах небольших территорий), локальный мониторинг (мониторинг в пределах района), региональный мониторинг (охватывающий территории региона), национальный мониторинг (система экологического мониторинга в пределах государства), глобальный мониторинг.

2. **По объекту слежения** различают:

- фоновый (базовый) экологический мониторинг;
- импактный экологический мониторинг;
- тематический экологический мониторинг;

- территориальный экологический мониторинг;
- акваториальный экологический мониторинг.

3. **По природным компонентам** выделяются следующие виды мониторинга: биологический (в том числе геоботанический и зоологический); геофизический, геологический и почвенный; атмосферный и гидрологический .

4. **По уровню организации** наблюдений следует выделять мониторинг международный, государственный, местный, общественный и ведомственный.

5. Подсистемы экологического мониторинга различаются **по объектам наблюдения**: геофизический мониторинг; климатический мониторинг; биологический мониторинг; мониторинг здоровья населения.

В общем виде процесс экологического мониторинга можно представить схемой: окружающая среда (либо конкретный объект окружающей среды) – измерение параметров различными подсистемами мониторинга – сбор и передача информации – обработка и представление данных (формирование обобщенных оценок), прогнозирование. Система экологического мониторинга предназначена для обслуживания систем управления качеством окружающей среды (далее «система управления»). Информация о состоянии окружающей среды, полученная в системе экологического мониторинга, используется системой управления для предотвращения или устранения негативной экологической ситуации, для оценки неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды, а также для разработки прогнозов социально-экономического развития, разработки программ в области экологического развития и охраны окружающей среды.

В 1975 г. была организована **Глобальная система мониторинга окружающей среды** (ГСМОС) под эгидой ООН. Сегодня сеть наблюдений за источниками воздействия и за состоянием биосферы охватывает уже весь земной шар. Глобальная система мониторинга окружающей среды была создана совместными усилиями мирового сообщества (основные положения и цели программы были сформулированы в 1974 году на Первом межправительственном совещании по мониторингу). Первоочередной задачей была признана организация мониторинга загрязнения окружающей природной среды и вызывающих его факторов воздействия.

Также в рамках программ ГСМОС Всемирная морская организация обеспечивает глобальный мониторинг Мирового океана. В 1990 г. Международный центр научной культуры (Всемирная лаборатория) предложил проект «Глобальный экологический мониторинг» с использованием военных спутниковых технологий. С 1992 г. в названном проекте участвует Российская Федерация, США; Казахстан, Литва и Китай – в качестве наблюдателя.

Определение приоритетов при организации систем мониторинга зависит от цели и задач конкретных программ: так, в территориальном мас-

штабе приоритет государственных систем мониторинга отдан городам, источникам питьевой воды и местам нерестилищ рыб; в отношении сред наблюдений первоочередного внимания заслуживают атмосферный воздух и вода пресных водоемов. Приоритетность ингредиентов определяется с учетом критериев, отражающих токсические свойства загрязняющих веществ, объемы их поступления в окружающую среду, особенности их трансформации, частоту и величину воздействия на человека и биоту, возможность организации измерений и другие факторы.

Отметим, что приоритеты, выбранные общественными организациями при разработке программ мониторинга, могут быть сформулированы иным образом, не повторяющим ранжирование, принятым в ГСМОС. Это решение вполне оправданно, т.к. региональные и локальные приоритеты тесно связаны с экономикой региона, с местными источниками воздействия. Наконец, программа общественного мониторинга может быть связана с совершенно конкретной проблемой, которая и будет определять приоритеты в данном случае.

Программа станций фонового мониторинга предполагает регулярный отбор проб и определение следующих показателей:

1. В атмосфере – взвешенные частицы, мутность, озон, диоксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, сульфаты, 3,4-бензпирен, ДДТ.
2. В атмосферных осадках – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, 3,4-бензпирен, pH.
3. В поверхностных, подземных водах, донных отложениях – свинец, ртуть, метилртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, 3,4-бензпирен, биогенные элементы.
4. В почвах – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, 3,4-бензпирен, биогенные элементы.

1.4. Научное обоснование объектов мониторинга

При осуществлении мониторинга необходима организация достаточно представительной сети наблюдений наиболее важных факторов воздействия и показателей состояния среды. В зависимости от конкретной задачи мониторинга эти факторы и показатели могут быть различными.

При этом факторы, источники и показатели состояния абиотической и биотической составляющих биосферы достаточно многочисленны. Например, в мире зарегистрировано около 1500 пестицидов, при этом число форм их применения в различных странах достигает 100 000. Очевидно, что при такой ситуации необходимо выбрать только наиболее значимые показатели, выявить факторы, ведущие к наиболее серьезным, долговременным изменениям в окружающей среде, элементы биосферы, наиболее

подверженные воздействию (более чувствительные), повреждение которых может привести к разрушению экосистем.

В методах отбора факторов, которые необходимо отслеживать, в настоящее время нет общего практического подхода. Используется метод экспертных оценок, научные исследования и наблюдения за элементами биоты, здоровьем человека, загрязнениями среды и т.д.

Приведем примеры определения приоритетов при организации мониторинга. Если говорить о территориях, то высший приоритет должен быть отдан городам; зонам, где вода отбирается для питьевых целей; местам нерестилищ рыб. Применительно к средам приоритетными выступают атмосферный воздух; вода пресноводных водоемов. По ингредиентам: в воздухе – пыль, SO_2, тяжелые металлы, CO_2, оксиды азота, бензапирен, пестициды; в воде – биогенные вещества, нефтепродукты, фенолы. Среди источников загрязнения приоритетными для наблюдений являются автомобильный транспорт, тепловые электростанции, предприятия цветной металлургии.

В 1974 г. в Найроби состоялось первое межправительственное совещание по мониторингу. Была создана рабочая группа для решения вопросов о приоритетности мониторинга.

Сначала были выработаны **критерии приоритетности мониторинга**:

1) масштаб возможного негативного воздействия на здоровье и благополучие среды обитания человека, на климат или экосистемы;
2) склонность к деградации в окружающей природной среде и накоплению загрязнений и негативных воздействий в человеке и пищевых цепях;
3) возможность химической трансформации в физических и биологических системах, в результате чего вторичные вещества могут оказаться более токсичными;
4) мобильность и подвижность загрязняющих веществ;
5) фактические или возможные тренды поведения загрязняющих веществ в окружающей среде или человеке;
6) частота и величина воздействия загрязнений на природные среды и человека;
7) возможность измерений загрязняющих веществ в различных средах;
8) распространение загрязнений в окружающей природной среде (их расположение и возможные потребители);
9) возможность однородных измерений в глобальных и субрегиональных программах.

Методика предусматривала оценку по этим девяти критериям, которые оценивались в баллах (от 0 до 3). По наибольшей сумме баллов были определены приоритеты (чем выше сумма баллов, тем больше приоритет).

Найденные таким образом приоритеты были разбиты на восемь классов (чем меньше порядковый номер класса, тем выше приоритет).

При проведении глобального мониторинга приняты следующие перечни приоритетных загрязнителей, подлежащих определению в процессе системного наблюдения за следующими объектами и параметрами окружающей природной среды:

1. В воздухе - взвешенные частицы, оксиды серы, азота и углерода, озон, сульфаты, свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, 3,4-бензпирен, ДДТ и другие пестициды;

2. В атмосферных осадках – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк сульфаты, 3,4-бензипирен, ДДТ и другие пестициды, pH, главные катионы и анионы (катионы калия, натрия, магния и кальция; сульфат-, хлорид-, нитрат- и гидрокарбонат-анионы);

3. В пресных водах – свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, 3,4-бензпирен, ДДТ и другие пестициды, биогенные элементы (фосфор, азот, кремний);

4. В донных отложениях и почве – то же, что и в пресных водах;

5. В биоте – свинец, кадмий, ртуть и мышьяк, 3,4-бензпирен, ДДТ и другие пестициды.

Были также перечислены виды измерений, которые следует проводить, когда загрязнитель сам по себе трудноизмерим (косвенный мониторинг). Для этого требуется измерение следующих величин:

1) индикаторов качества воды (коли бактерии, $БПК_5$, ХПК, сине-зеленые водоросли);

2) индикаторов качества почвы (соленость, кислотность, содержание нитратов, органика);

3) индикаторов здоровья человека и животных;

4) индикаторов поражения растений (случаи заболевания, генетические последствия, чувствительность к лекарствам);

5) растительных индикаторов загрязнений.

Кроме того, были перечислены сопутствующие наблюдения, необходимые для интерпретации измерений загрязнений: метеорологические, гидрологические, геофизические параметры.

Очевидно, что организация мониторинга является сложной многоплановой задачей. Приоритеты мониторинга, размещение сети наблюдений будут непрерывно совершенствоваться, видоизменяться так, чтобы наиболее полно и адекватно отражать состояние экосистем.

1.5. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое экологический мониторинг?
2. Выделите цели и задачи экологического мониторинга.
3. Что такое загрязнение? Виды загрязнений окружающей среды.
4. Дайте определение биоэкологическому мониторингу.

5. Дайте определение импактному мониторингу.
6. Дайте определение геосистемному мониторингу.
7. Дайте определение биосферному мониторингу.
8. Классификация видов экологического мониторинга.
9. Назовите приоритетные загрязнители, подлежащие определению в процессе системного наблюдения за окружающей средой?

Глава 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1. Основные понятия, определения системы нормирования

Система нормирования качества окружающей природной среды позволяет правильно интерпретировать материал, полученный при проведении экологического мониторинга.

Экологический мониторинг является частью системы охраны окружающей среды. В настоящее время основным методом оценки качества окружающей среды является **экологическое нормирование**. Сравнение данных экологического мониторинга с показателями, устанавливаемыми экологическим нормированием, позволяет оценить качество окружающей среды и его влияние на здоровье населения.

В соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации нормирование качества окружающей природной среды производится с целью установления предельно допустимых норм воздействия, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранение генофонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности. При этом под воздействием понимается антропогенная деятельность, связанная с реализацией экономических, рекреационных, культурных интересов и вносящая физические, химические, биологические изменения в природную среду.

Нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека, рационального использования природных ресурсов, сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

Как экологическое, так и санитарно-гигиеническое нормирование основаны на знании эффектов, оказываемых разнообразными факторами воздействия на живые организмы. Одним из важных понятий в нормировании является понятие загрязнения.

Загрязнение окружающей среды – поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Обычно выделяют следующие виды загрязнения:

1. *Химическое*. Загрязнение ксенобиотиками и другими химическими веществами.

2. *Физическое*. Тепловое, световое, шумовое, электромагнитное, радиоактивное воздействие.

3. *Биологическое*. Загрязнение микроорганизмами (гниение, болезнетворность), животными (паразиты), растениями (цветение водоёмов).

В зависимости от времени поступления загрязнителей различают три вида загрязнений:

1. *Первичное загрязнение* – вызванное поступлением загрязняющих веществ и процессами непосредственного их превращения. В цикле первичного загрязнения могут появляться вторичные и последующие загрязняющие вещества.

2. *Вторичное загрязнение* – развивается как следствие первичного загрязнения и представляет собой новый цикл загрязнения.

3. *Повторное загрязнение* – вызванное повторным выносом загрязняющих веществ вследствие первичного загрязнения. Например, вынос осевших на дно или вмерзших в лед нефтепродуктов во время паводка или таяния льда.

В настоящее время существует фактическое разделение на экологическую безопасность в отношении человека и экологическую безопасность в отношении к окружающей природной среде. Принцип антропоцентризма верен в отношении истории развития нормирования: значительно ранее прочих были установлены нормативы приемлемых для человека условий среды (прежде всего, производственной). Тем самым было положено начало работам в области санитарно-гигиенического нормирования. В частности, были выведены такие группы нормативов как предельно-допустимая концентрация (ПДК) и предельно допустимый уровень воздействия (ПДУ).

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) – утверждённый в законодательном порядке санитарно-гигиенический норматив содержания вредного вещества в окружающей (производственной) среде, практически не влияющего на здоровье человека и не вызывающего неблагоприятных воздействий.

Предельно-допустимый уровень (ПДУ) – утверждённый в законодательном порядке санитарно-гигиенический норматив, связанный с нагрузкой физических факторов (шума, электромагнитного излучения и др.) в окружающей (производственной) среде, практически не влияющего на здоровье человека и не вызывающего неблагоприятных воздействий.

В тех случаях, когда для вредных факторов не определён санитарно-гигиенический норматив, а исследование находится только на стадии опытных или опытно-промышленных разработок, применяются **ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ), ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) и ориентировочные допустимые уровни (ОДУ).**

Нормативы, ограничивающие вредное воздействие, устанавливаются и утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов. Основная информация о ПДК и токсикологических показателях различных химических веществ

приведена в санитарных правилах и нормах **СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»**.

Указанными санитарными правилами устанавливаются в числе прочего:

- гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений;
- химические и биологические факторы производственной среды;
- нормативы качества и безопасности воды;
- нормативы почвы населенных мест и сельскохозяйственных угодий;
- физические факторы (за исключением ионизирующего излучения);
- гигиенические нормативы по устройству, содержанию и режиму работы организаций воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи;
- гигиенические требования к печатным учебным изданиям для общего образования и среднего профессионального образования, изданиям электронным учебным для общего и среднего профессионального образования, изданиям книжным, журнальным и газетным для взрослых;
- канцерогенные факторы;
- гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды.

Установление нормативов качества окружающей среды и продуктов питания основывается на концепции порогового воздействия.

Порог вредного действия – это минимальная доза вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Стандарт ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация и общие требования безопасности» устанавливает следующие признаки для определения класса опасности (таблица 2.1). По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

1-й – вещества *чрезвычайно опасные*: бензапирен, бериллий, диэтилртуть, тертаэтилсвинец, таллий и др.

2-й – вещества *высокоопасные*: бор, ДДТ (сумма изомеров), кадмий (суммарно), мышьяк, нитриты, свинец (суммарно), селен, стронций, сурьма, формальдегид.

3-й – вещества *умеренно опасные*: алюминий, марганец, медь (суммарно), нитраты, озон, хром.

4-й – вещества *малоопасные*: сероводород, сульфаты, хлориды.

Таблица 2.1 – Критерии определения класса опасности

Наименование показателя	*Норма для класса опасности*			
	1-го	*2-го*	*3-го*	*4-го*
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/куб.м	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/куб.м	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности. Таким образом, санитарно-гигиеническое нормирование охватывает все среды, различные пути поступления вредных веществ в организм, хотя редко отражает *комбинированное действие* (одновременное или последовательное действие нескольких веществ при одном и том же пути поступления) и не учитывает эффектов *комплексного* (поступления вредных веществ в организм различными путями и с различными средами – с воздухом, водой, пищей, через кожные покровы). Существуют лишь ограниченные перечни веществ, обладающих эффектом суммации при их одновременном содержании в атмосферном воздухе.

Для ориентировочного определения комбинированного действия обычно предлагается использовать следующую формулу:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \ldots + \frac{C_n}{ПДК_n} \le 1, \qquad (2.1)$$

где C_i – концентрация вещества в исследуемой среде; $ПДК_1$ – предельно допустимая концентрация данного вещества.

Среда считается допустимой, если конечное значение меньше единицы.

Однако человек не самый чувствительный из биологических видов, и принцип «защищен человек – защищены и экосистемы» не верен. Экологическое нормирование предполагает учет так называемой допустимой нагрузки на экосистему.

Допустимой считается такая нагрузка, под воздействием которой отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений и, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведет к ухудшению качества среды.

Всю совокупность экологических нормативов можно упорядочить следующим образом:

1. *Органолептические нормативы*. Определяются с помощью органов чувств (мутность, цвет, запах, вкус).

2. *Общесанитарные нормативы*. Определяются для малотоксичных и нетоксичных веществ.

3. *Санитарно-токсикологические нормативы.* Определяются для токсичных веществ.

4. *Фитоаккумуляционные нормативы*. Определяются по накоплению в тканях растений.

5. *Водно-миграционные нормативы*. Определяются по миграции в водной среде.

6. *Воздушно-миграционные нормативы*. Определяются по миграции в воздушной среде.

Антропогенное загрязнение окружающей среды весьма разнообразно. Основными источниками являются промышленные предприятия, энергетический комплекс, транспорт, сельское хозяйство и бытовые отходы.

2.2. Нормирование качества атмосферного воздуха

Под **качеством атмосферного воздуха** понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в производственной (предназначенной для размещения промышленных предприятий, опытных производств научно-исследовательских институтов и т.п.), так и в селитебной зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов.

Нормативы допустимых выбросов (НДВ) определяются для стационарного источника и (или) совокупности стационарных источников в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, расчетным путем на основе нормативов качества окружающей

среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций, с учетом фонового состояния компонентов природной среды

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКрз) – концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов, или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДКмр) – концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20 - 30 минут. Понятие ПДКмр используется при установлении научно-технических нормативов – предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. В результате рассеяния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе санитарно-защитной зоны предприятия концентрация вредного вещества в любой момент времени не должна превышать ПДКмр.

Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДКсс) – концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов. Таким образом, ПДКсс рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде.

Предельно допустимая концентрация среднегодовая (ПДКг) – концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии.

Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) – норматив максимального допустимого содержания загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест. ОБУВ используется при решении вопросов предупредительного надзора, для обоснования требований к разработке оздоровительных мероприятий по охране атмосферного воздуха проектируемых, реконструируемых и опытных малотоннажных производств. ОБУВ устанавливается на срок 3 года, по истечении которого он должен быть пересмотрен или заменен значением ПДК.

Аварийные пределы воздействия (АПВ) отравляющих веществ для атмосферного воздуха населенных мест, как гигиенические нормативы, предназначены для организаций, занимающихся проектированием и эксплуатацией производств по уничтожению химического оружия, а также

специалистов учреждений государственной санитарно-эпидемиологической службы, осуществляющих надзор в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Аварийные пределы воздействия предназначены для сохранения здоровья работников объектов по уничтожению отравляющих веществ и населения, проживающего в районах их размещения в случае аварий на этих объектах путем регламентирования времени пребывания человека в зоне химического заражения (защита временем).

Для сравнительной оценки загрязнения воздушной среды используются комплексный **индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)**, который позволяет учесть присутствие нескольких загрязняющих веществ. Его рассчитывают по формуле

$$\text{ИЗА} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{q_{cpi}}{\text{ПДК}_{cci}}\right)^{c_i}, \qquad (2.2)$$

где q_{cpi} – средняя концентрация i-го вещества; $\text{ПДК}_{cc.i}$ – ПДК_{cc} для i-го вещества; c_i – безразмерная константа приведения степени вредности i-го вещества к вредности диоксида серы, зависящая от того, к какому классу опасности принадлежит загрязняющее вещество (для 1-го класса – 1,7, для 2-го класса – 1,3, для 3-го класса – 1,0, для 4-го класса – 0,9).

В зависимости от токсичности все химические соединения подразделяются на 4 класса опасности. Учет класса опасности позволяет дифференцированно подходить к обоснованию необходимых профилактических мероприятий (например, к мерам безопасности при работе с различными веществами), а также предварительно оценивать сравнительную опасность воздействия тех или иных веществ на организм человека. Для сопоставления данных о загрязненности несколькими веществами атмосферы разных городов или районов города комплексные индексы загрязнения атмосферы должны быть рассчитаны для одинакового количества (n) примесей. При составлении ежегодного списка городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы для расчета комплексного ИЗА используют значения единичных индексов тех пяти веществ, у которых эти значения наибольшие.

2.3. Нормирование качества воды

Исключительная роль воды в жизни человека и всего живого на Земле обусловливает возрастающее внимание к изучению гидросферы и состоянию водных объектов. Информация о состоянии объектов гидросферы используется в сельском хозяйстве, энергетике, строительстве, транспортной инфраструктуре, для системы водоснабжения, для предупреждения чрезвычайных ситуаций, обусловленных активностью водных объектов (наводнения, сели, лавины, засухи и др.).

Основные термины, используемые в системе мониторинга водных объектов:

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через загрязненную территорию.

В зависимости от условий образования сточные воды делятся на хозяйственно-бытовые, атмосферные и промышленные.

Хозяйственно-бытовые воды – это стоки душевых, прачечных, столовых, туалетов, от мытья полов и др. Они содержат примеси, из которых ~58 % органических веществ и 42 % минеральных.

Атмосферные воды образуются в результате выпадения атмосферных осадков и стекающие с территорий предприятий. Они загрязняются органическими и минеральными веществами.

Промышленные сточные воды – это жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке органического и неорганического сырья.

Сточные воды загрязнены различными веществами: 1) биологически нестойкие органические соединения; 2) малотоксичные неорганические соли; 3) нефтепродукты; 4) биогенные соединения; 5) вещества со специфичными токсичными свойствами, в т.ч. тяжелые металлы, биологически жесткие неразлагающиеся органические синтетические соединения.

Промышленные и бытовые сточные воды содержат взвешенные частицы растворимых и нерастворимых веществ. Взвешенные примеси подразделяются на твердые и жидкие, образуют с водой дисперсную неоднородную систему. Сточные воды многих производств, кроме растворимых неорганических и органических веществ содержат коллоидные примеси, а также взвешенные грубодисперсные и мелкодисперсные примеси, плотность которых может быть больше или меньше плотности воды.

Неоднородные системы характеризуются массовым или объемным соотношением фаз и размерами частиц дисперсной фазы. Дисперсную фазу, состоящую из частиц неодинакового размера, принято характеризовать фракционным или дисперсным составом, т.е. процентным содержанием частиц различного размера.

Сточные воды представляют собой полидисперсные гетерогенные (неоднородные) агрегативно-неустойчивые системы. В процессе осаждения размер, плотность, форма частиц, а также физические свойства частиц системы изменяются. Свойства сточных вод отличаются от свойств чистой воды. Они имеют более высокую плотность и вязкость.

В соответствии с Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.4.559-96 питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства. Под качеством воды в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования; при этом показатели

качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

Показатели качества природных и сточных вод можно разделить на пять основных групп:

– органолептические;
– физические;
– химические;
– бактериологические;
– биологические.

К **органолептическим показателям** относятся запах, привкус, цветность, окраска и температура воды. На перечисленные показатели реагируют органы чувств человека. Органолептический анализ обычно проводится для природных вод, при исследованиях сточных вод он не применяется.

Запах и вкус обусловливается присутствием природных примесей, так и промышленных загрязнений. Различают природные примеси минерального и биологического происхождения. Из минеральных примесей, придающих воде запах и вкус, следует выделить сероводород, соединения железа и марганца, сульфаты, хлориды. Запах и вкус воды биологического происхождения (травяной, болотный, земляной, рыбный и др.) является следствием жизнедеятельности и отмирания высших водных растений, лучистых грибков, плесени, водорослей, некоторых форм бактерий.

Цветность воды, ее окраска объясняется наличием гуминовых соединений, танина, солей железа, окрашенных отходов производства. Цветность устанавливают визуально. Степень цветности выражается в условных градусах, определяемых путем сравнения со стандартными растворами платиново-кобальтовой шкалы, и характеризуется как бурая, серая, коричневая и др. В большинстве шахтных вод величина цветности воды находится в пределах 20 - 60 град.

К **физическим показателям качества воды** относятся концентрация взвешенных веществ, прозрачность, мутность, температура и др.

Концентрацию взвешенных веществ определяют либо весовым способом, или нефелометрическими методами, например, с помощью фотоэлектроколориметра (в единицах оптической плотности, перечисляемых в мг/л).

Сущность весового метода заключается в фильтровании отобранной и тщательно перемешанной пробы исследуемой воды (объем 1 л) через предварительно высушенный и взвешенный беззольный бумажный фильтр, который после окончания фильтрования с задержанными грубодисперсными частицами вновь высушивают при температуре 105 ^{o}C до постоянной массы. На основании полученных данных рассчитывают содержание загрязняющего вещества в воде. Описанный метод отличается вы-

сокой точностью, однако, длительный и весьма трудоемкий. Поэтому для оперативного контроля наличия взвешенных веществ используют или разные нефелометрические методы, или косвенные приемы, заключающиеся в определении прозрачности или мутности.

Прозрачность воды определяют по «шрифту» или по «кресту». Для первого метода применяют градуированный на сантиметры стеклянный цилиндр высотой 30 см, под дно которого подложены специальный шрифт Снеллена. Столб воды, выраженный в сантиметрах, через который можно прочитать текст, определяет прозрачность воды.

Мутность воды пропорциональна концентрации в воде загрязняющих веществ. Её определяют, сравнивая исследуемую пробу с определенным эталоном мутности, содержание взвесей в котором заранее известен. Чаще всего при этом используются приборы фотоэлектроколориметра.

Химические показатели характеризуются ионным составом, значением водородного показателя pH, удельной электрической проводимостью растворов, растворимость газов, окисляемость, минеральный, сухой и прокаленный остатки, плотный осадок, щелочность, жесткость и др.

Ионный состав воды. Определение ионного состава минерализованной воды производится химическими методами. Концентрацию ионов-примесей выражают в единицах мг/л или мг-экв/л.

После окончания химического анализа проводят проверку правильности определения концентраций анионов и катионов, то есть солей. В общем случае для этого используют закон электронейтральности раствора. Его существование обусловлено тем, что вода всегда электрически нейтральна. Если концентрация ионов выражена в мг-экв/л, то уравнение закона имеет вид

$$\sum Ск = \sum Са \ , \qquad (2.3)$$

где Ск и Са – концентрация соответственно катионов и анионов.

Если правая и левая части приведенного равенства различаются менее чем на 1%, анализ можно считать выполненным правильно.

Водородный показатель. Для упрощения обозначения реакции среды вместо истинной концентрации ионов водорода указывают логарифм её величины, взятый с обратным знаком. Эту величину называют водородным показателем (pH):

$$pH = -\lg\left[H^{+} \right]. \qquad (2.4)$$

Таким образом, водородный показатель pH характеризует реакцию воды (кислая, щелочная, нейтральная) и учитывается при всех видах обработки воды. В зависимости от величины показателя pH реакцию среды классифицируют следующим образом: pH=1-3 (кислая); pH=4-6 (слабокислая); pн=7 (нейтральная); pH=8-10 (слабощелочная); pH=11-14 (щелочная).

В природных водах обычно pH=6-8 и зависит в основном от соотношения в воде концентраций HCO_3^- и H_2CO_3.

Измерение pH основано на определении разности электрических потенциалов (метод потенциометра) двух помещенных в анализируемый раствор электродов - индикаторного и электрода сравнения.

Минеральный остаток (мг-экв/л) характеризует общее солесодержание в воде. Он подсчитывается путем суммирования концентраций катионов и анионов, определенных при проведении полного химического анализа воды.

Сухой остаток (мг/л) выражает суммарное количество минеральных и органических примесей, содержащихся в воде как в истинно растворенном, так и коллоидном состояниях. Его получают путем испарения определенного объема (1 л) заранее профильтрованной пробы, последующей просушки остатка при температуре 105-120 ^oC и взвешивания.

Прокаленный осадок (мг/л) характеризует содержание в воде минеральных веществ; его определяют путем прокаливания при 800^oC сухого остатка. При прокаливании сгорают органические вещества и частично разлагаются карбонаты.

Общей щелочностью воды ($Щ_o$), мг-экв/л, называется сумма концентраций всех анионов слабых кислот ($Ca^{сл.к}$) и гидроксид ионов (OH^-) за вычетом концентрации ионов водорода (H^+).

$$Щ_o = Ca^{сл.к} + C_{OH^-} - C_{H^+} \quad (2.5)$$

Каждый анион имеет свою (частную) щелочность, входящую составной частью в общую щелочность. В связи с этим различают щелочность бикарбонатную – $Щ_б$ (HCO^{3-}), карбонатную $Щ_к$ ($COз^{2-}$), силикатную, – $Щ_с$ ($HSiO_3^-$, SiO_3^{2-}), фосфатную, – $Щ_ф$ ($H_2PO_4^{2-}$, PO_4^{3-}) и гидратную – $Щ_г$ (OH^-).

$$Щ_{щ} = Щ_б + Щ_к + Щ_с + Щ_ф + Щ_г \quad (2.6)$$

Экспериментально щелочность определяют титрованием пробы воды кислотой в присутствии щелочно-кислотных индикаторов, меняющих свою окраску при различных значениях pH. Зная затраты кислоты, по справочным таблицам идентифицируют бикарбонатную, карбонатную, гидратную и другие виды щелочности.

Жёсткость воды – один из важнейших показателей ее качества. Общей жесткостью ($Ж_o$) называют суммарную концентрацию ионов кальция и магния (мг-экв/л). 1 мг-экв/л жесткости соответствует 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,16 мг/л Mg^{2+}.

Согласно общей жёсткости природные воды классифицируют на пять типов:

– малая жесткость ($Ж_o$ <1,5 мг-экв/л);

– средняя ($Ж_о$ =1,5-3,0 мг-экв/л);
– повышенная ($Ж_о$ =3,0-6,0 мг-экв/л);
– высокая ($Ж_о$ =6,0-12,0 мг-экв/л);
– очень высокая ($Ж_о$ >12,0 мг-экв/л)

Общую жёсткость подразделяют на кальциевую и магниевую, а также карбонатную и некарбонатную.

Часть общей жёсткости ($Ж_о$), эквивалентная содержанию бикарбонатов ($НСО^{3-}$) и карбонатов ($СО_3^{2-}$), называется карбонатной жесткостью ($Ж_к$), разница между общей и карбонатной жесткостью называется некарбонатной жесткостью ($Ж_{н.к}$).

$$Ж_о = Ж_к + Ж_{н.к} \quad (2.7)$$

Некарбонатная жёсткость ($Ж_{н.к}$) эквивалентная содержания всех других анионов слабых кислот (за исключением $НСО^{3-}$ и $СО_3^{2-}$) и сильных кислот (типа хлоридов Cl^-, сульфатов SO_4^{2-}).

Растворённый кислород является одним из присутствующих в воде газов. Его растворимость растет с понижением температуры и минерализации, а также при повышении давления. Кроме того, она зависит от состояния поверхности водоёма и условий перемешивания воздуха с водой, поскольку кислород пополняется вновь, в основном, за счет диффузии из воздуха. Растворенный кислород характеризует степень чистоты или загрязнения воды органическими веществами: чем меньше содержание кислорода, тем сильнее загрязнена вода в связи с его повышенным расходом на окисление органики. Наличие растворенного кислорода оказывает решающее влияние на процессы самоочищения загрязненных вод в естественных водных объектах путем окисления органических примесей.

Биохимическая потребность в кислороде - количество растворенного кислорода, необходимое для биохимического окисления органических веществ в аэробных условиях. Она определяется лабораторным путем в пробах специально обработанной воды (которые выдерживают в термостате при температуре 20 ^oC в течение 1, 2, 5, 8, 10 и 20 суток и более) по разнице содержания кислорода в начале и конце выдержки каждой пробы.

Химическая потребность в кислороде выражает количество кислорода, необходимое для полного химического окисления всех органических веществ в сточных водах. Значение ХПК обычно всегда больше БПК, потому что химическое окисление ведет к полному распаду органических веществ в сравнении с биологическим.

К **бактериологическим показателям качества** воды относят микробное число, коли-титр (к-т) и коли-индекс (к-и).

Микробное число выражает общее количество бактерий, что растут в течение 24 ч при температуре 37 ^oC при посеве 1 мл исследуемой воды на 1,5%-ный питательный агар.

Коли-титр – наименьший объем воды, выраженный в $см^3$, в котором содержится одна кишечная палочка или микробная клетка.

Коли-индекс (или наиболее вероятное число) – количество кишечных палочек, находящихся в 1 л воды.

По степени бактериальной загрязненности воды разделяют на сильно загрязненные (к-и >10000), загрязненные (к-и>1000), слабозагрязненные (к-и>100); удовлетворительные (к-и>10) и хорошие (к-и<3).

Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ($ПДК_в$) – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей ($ПДК_{вр}$) – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Нормативы качества вод поверхностных водных объектов устанавливаются для речного бассейна или его части, водного объекта или его части, учтенных в государственном водном реестре, для участков внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации с учетом условий целевого использования водных объектов, а также их природных особенностей

Поддержание поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем требованиям законодательства, обеспечивается путем установления и соблюдения нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются на основании предельно допустимых концентраций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах.

Количество веществ и микроорганизмов, содержащихся в сбросах сточных, в том числе дренажных, вод в водные объекты, не должно превышать установленные нормативы допустимого воздействия на водные объекты. Нормативы качества разрабатываются и устанавливаются на предельно допустимом уровне значений, полученных на основании результатов лабораторных испытаний, или для территорий и акваторий на уровне значений (в интервале допустимого отклонения от значений) показателей природного фона, сформировавшегося под влиянием природных факторов, характерных для конкретной территории, акватории.

Значения (интервал допустимого отклонения от значений) показателей природного фона территорий и акваторий определяются на основании данных наблюдений за состоянием окружающей среды, отбора проб и (или) измерений по химическим и физическим показателям на соответ-

ствующем эталонном участке, а также информации и сведений, содержащихся в едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, государственном водном реестре, государственном фонде недр, государственном лесном реестре, Едином государственном реестре недвижимости, фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).

Под эталонным участком понимаются выбранные в пределах оцениваемой территории или акватории земельный участок, водный объект или его часть, характеризующиеся отсутствием признаков деградации естественной экологической системы (изменение видовой или трофической структуры экосистем, их естественной продуктивности, морфологических или обменных свойств почв, исчезновение видов животных и растений, нарушение биологических циклов животных и растений).

При наличии особо охраняемой природной территории, имеющей аналогичные с оцениваемой территорией (водным объектом или его частью) природные условия, эталонный участок выбирается в пределах такой особо охраняемой природной территории.

Критерии выбора эталонного участка, методы и способы определения значений нормативов качества устанавливаются соответствующими методиками и методическими указаниями, утверждаемыми Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Нормативы допустимых сбросов (НДС) определяются для стационарного источника и (или) совокупности стационарных источников в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный Правительством Российской Федерации, расчетным путем на основе нормативов качества окружающей среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций, с учетом фонового состояния компонентов природной среды

При сбросе сточных вод или других видах хозяйственной деятельности, влияющих на состояние водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целей, нормы качества поверхностных вод (или их природный состав и свойства в случае природного превышения этих норм) должны выдерживаться на водотоках, начиная со створа, расположенного в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.п.) вплоть до самого места водопользования, а на водоемах – на акватории в радиусе одного километра от пункта водопользования. Ближайшие пункты водопользования определяются органами санитарно-эпидемиологической службы.

При сбросе сточных вод или других видах хозяйственной деятельности, влияющих на состояние рыбохозяйственных водотоков и водоемов, нормы качества поверхностных вод (или их природный состав и свойства в

случае природного превышения этих норм) должны соблюдаться на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа.

При интерпретации результатов мониторинга состояния водной среды важно знать, к какому типу водных объектов отнесены река, озеро, водохранилище, и использовать для оценки ситуации соответствующие нормативы.

В гидрохимической практике используется и метод интегральной оценки качества воды, по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ и частоты их обнаружения. В этом методе для каждого ингредиента на основе фактических концентраций рассчитывают баллы кратности превышения $ПДК_{вр}$ – K_i и повторяемости случаев превышения H_i, а также общий оценочный балл – B_i:

$$K_i = \frac{C_i}{ПДК_i};\ H_i = \frac{N \cdot ПДК_i}{N_i};\ B_i = \frac{K_i}{H_i}, \qquad (2.8)$$

где C_i – концентрация в воде i-го ингредиента; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i-го ингредиента для водоемов рыбохозяйственного назначения; $N{\cdot}ПДК_i$ – число случаев превышения ПДК по i-му ингредиенту; N_i – общее число измерений i-го ингредиента.

Ингредиенты, для которых величина общего оценочного балла больше или равна 11, выделяются как лимитирующие показатели загрязненности (ЛПЗ). **Комбинаторный индекс** загрязненности рассчитывается как сумма общих оценочных баллов всех учитываемых ингредиентов. По величине комбинаторного индекса загрязненности устанавливается класс загрязненности воды.

Также оценка качества воды и сравнение современного состояния водного объекта с установленными в прошлые годы характеристиками проводятся на основании **индекса загрязнения воды** по гидрохимическим показателям (ИЗВ). Этот индекс представляет собой формальную характеристику и рассчитывается усреднением как минимум пяти индивидуальных показателей качества воды. Обязательны для учета следующие показатели: концентрация растворенного кислорода, водородный показатель pH и биологическое потребление кислорода $БПК_5$:

$$ИЗВ = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{C_i}{ПДК_i}. \qquad (2.9)$$

В последнее десятилетие в системе Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и других службах, наряду с индексом загрязненности воды (ИЗВ), широкое практическое применение получил удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ).

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) – относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод. Условно оценивает в виде безразмерного числа долю загрязняющего эффекта, вносимого в общую степень загрязненности воды, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, в среднем одним из учтенных при расчете комбинаторного индекса ингредиентов и показателей качества воды. Позволяет проводить сравнение степени загрязненности воды в различных створах и пунктах при условии различия программы наблюдений.

Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большему значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах, пунктах и т. д. Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности: 1-й класс – условно чистая; 2-й класс – слабо загрязненная; 3-й класс – загрязненная; 4-й класс – грязная; 5-й класс – экстремально грязная.

С помощью комбинаторного индекса загрязненности воды оценивается степень ее загрязненности по комплексу загрязняющих веществ, устанавливается класс качества воды. Комбинаторный индекс загрязненности воды может рассчитываться для любого створа, либо пункта наблюдений за состоянием поверхностных вод, для участка, либо акватории водного объекта, для водных объектов в целом, речных бассейнов, гидрографических районов и т. д. По мере укрупнения объекта изучения возрастает относительность расчетных характеристик. Это обстоятельство относится не столько к комбинаторному индексу, сколько к любому из показателей, характеризующих однозначно сложные и крупномасштабные природные системы.

Комбинаторный индекс загрязненности воды может рассчитываться для любого периода времени: суток, декады, месяца, квартала, гидрологического сезона, полугодия, года, любого многолетнего периода при наличии достаточного числа проб. Расчет значения комбинаторного индекса загрязненности и относительная оценка качества воды проводится в 2 этапа в соответствии с РД 52.24.643–2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям: сначала по каждому изучаемому ингредиенту и показателю загрязненности воды, затем рассматривается одновременно весь комплекс загрязняющих веществ и выводится результирующая оценка.

По каждому ингредиенту за расчетный период времени для выбранного объекта исследований определяются следующие характеристики:

1. Повторяемость случаев загрязненности α_{ij} т. е. частота обнаружения концентраций, превышающих ПДК:

$$\alpha_{ij} = \frac{n'_{ij}}{n_{ij}} 100\%, \quad (2.10)$$

где n'_{ij} – число результатов химического анализа по i-му ингредиенту в j-м створе за рассматриваемый период времени, в которых содержание или значение их превышает соответствующие ПДК; n_{ij} – общее число результатов химического анализа за рассматриваемый период времени по i-му ингредиенту в j-м створе. По значению повторяемости рассчитывается частный оценочный балл по повторяемости $S_{\alpha ij}$.

2. Среднее значение кратности превышения ПДК $\overline{\beta_{ij}}$, рассчитанное только по результатам анализа проб, где такое превышение наблюдается. Результаты анализа проб, в которых концентрация загрязняющего вещества была ниже ПДК, в расчет не включают. Расчет ведется по формуле

$$\overline{\beta_{ij}} = \frac{\sum_{f=1}^{n'_{ifj}} \beta_{ifj}}{n'_{ij}}, \quad (2.11)$$

где $\beta_{ifj} = C_{ifj}/ПДК_i$ – кратность превышения ПДК по i-му ингредиенту в f-м результате химического анализа для j-го створа; C_{ifj} – концентрация i-го ингредиента в f-м результате химического анализа для j-го створа, мг/дм^3.

3. Обобщенный оценочный балл S_{ij} по каждому ингредиенту. Он рассчитывается как произведение частных оценочных баллов по повторяемости случаев загрязненности и средней кратности превышения ПДК:

$$S_{ij} = S_{\alpha ij} + S_{\beta ij}, \quad (2.12)$$

где $S_{\alpha ij}$ – частный оценочный балл по повторяемости случаев загрязненности i-м ингредиентом в j-м створе за рассматриваемый период времени; $S_{\beta ij}$ – частный оценочный балл по кратности превышения ПДК i-го ингредиента в j-м створе за рассматриваемый период времени.

Затем определяются комбинаторный индекс и удельный комбинаторный индекс загрязненности воды по следующим формулам:

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_j} S_{ij}, \quad (2.13)$$

где S_j – комбинаторный индекс загрязненности воды в j-м створе; N_j – число учитываемых в оценке ингредиентов;

$$S'_j = \frac{S_j}{N_j}, \quad (2.14)$$

где S'_j – удельный комбинаторный индекс загрязненности воды в j-м створе.

Помимо вышеуказанного важного места среди критериев экологической оценки состояния водных объектов занимают *индикационные критерии оценки*. В последние годы *биоиндикация* получила достаточно широкое

распространение при оценках качества поверхностных вод. Она по функциональному состоянию тест-объектов (ракообразные – дафнии, водоросли – хлорелла, рыбы – гуппи) позволяет ранжировать воды по классам состояний (норма, риск, кризис, бедствие) и по существу даёт интегральную оценку их качества, а также определяет возможность использования воды для питьевых и других, связанных с биотой целей.

Лимитирующим фактором использования метода биотестирования является высокая продолжительность анализа (не менее 4 суток) и отсутствие информации о химическом составе воды. Пример использования биотестов для определения качества воды приводится в табл. 2.2.

Цифры в таблице: для дафний - % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде; для хлореллы - % уменьшения числа клеток в тестируемой воде по сравнению с контрольной; для гуппи - % гибели в течение 96 часов экспозиции в тестируемой воде.

Таблица 2.2 – Критерии оценки состояния поверхностных и сточных вод на основе биотестов

Оценочные показатели (тест-объекты)	Классы состояния поверхностных вод			
	норма (Н)	риск (Р)	кризис (К)	Бедствие (Б)
Ракообразные (дафнии)	менее 10	20	40	более 60
Водоросли (хлорелла)	менее 10	20	40	более 60
Рыбы (гуппи)	менее 10	20	40	более 60

Приведённые в таблице классы состояния поверхностных вод соответствуют: Н - нормальной степени загрязнения; Р - малой степени превышения нормы загрязнения; К - средней степени превышения нормы загрязнения; Б - катастрофически высокой степени загрязнения.

2.4. Нормирование качества почвы

Принцип нормирования содержания химических соединений в почве основан на том, что поступление их в организм происходит преимущественно через контактирующие с почвой среды. Основные понятия, касающиеся химического загрязнения почв, определены ГОСТ 17.4.1.03-84 «Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения».

Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы ($ПДК_п$) – это концентрация вредного вещества в верхнем пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающуюся способность почвы.

Нормативы $ПДК_п$ разработаны для веществ, которые могут мигрировать в атмосферный воздух или грунтовые воды, снижать урожайность или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции.

Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на 4 основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально:

- транслокационном, характеризующем переход вещества из почвы в растение;
- миграционном водном, характеризующем способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- миграционном воздушном, характеризующем переход вещества из почвы в атмосферный воздух;
- общесанитарном, характеризующем влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность.

При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания вещества по каждому показателю вредности. Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК.

Ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) – гигиенический норматив, характеризующий ориентировочную допустимую концентрацию вещества в почве. Выражается в миллиграммах вещества на килограмм почвы. Государственный временный гигиенический регламент максимального допустимого содержания экзогенного химического вещества в почве, определяемый расчетным путем.

ОДК устанавливаются для пестицидов, допущенных к опытно-производственному применению, находящихся на стадии государственных производственных испытаний, если ПДК пестицида в почве еще не обоснована, или ее экспериментальное обоснование нецелесообразно в связи с ограниченным объемом применения или малой стойкостью в почве (менее 2-х месяцев). Обязательным условием утверждения ОДК является наличие метода химического контроля остаточных количеств соответствующего пестицида в почве. При контроле состояния почв преимущество следует отдавать ПДК. Для контроля состояния почв могут быть использованы нормативы, установленные для различных форм химических веществ в почве: валовых, подвижных или водорастворимых. При оценке состояния почв фактическое содержание вещества сравнивается с их ОДК (ПДК) для той формы вещества в почве, которая определялась при проведении исследования. При наличии аналитических данных по разным формам содержания вещества (валовые, подвижные, водорастворимые) оценку проводят по более «жесткому» нормативу.

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов проводится по показателям, разработанным при сопряжённых геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими

показателями являются коэффициент концентрации химического элемента K_c и суммарный показатель загрязнения Z_c.

Коэффициент концентрации химического элемента определяется как отношение реального содержания элемента в почве C_i к фоновому $C_{фi}$:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{фi}}. \quad (2.10)$$

Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими элементами, то для них рассчитывают суммарный показатель загрязнения, отражающий эффект воздействия группы элементов:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n}(K_{ci}+\ldots+K_{cn}) - (n-1), \quad (2.11)$$

где K_{ci} – коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения; n – число определяемых суммируемых вещества.

Суммарный показатель загрязнения может быть определен как для всех элементов в одной пробе, так и для участка территории по геохимической выборке.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю Z_c проводится по оценочной шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

Загрязненность почвы органическими веществами, в частности отходами производств химических продуктов из углеводородов нефти и газа, оценивают по комплексному показателю «санитарное число», представляющему собой отношение количеств почвенного белкового и органического азота (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Характеристика почвы по санитарному числу

Чистая	0,98 - 1,00
Слабо загрязненная	0,85 - 0,98
Загрязненная	0,70 - 0,80
Сильно загрязненная	Менее 0,70

Мониторинг почвы тесно сопряжён с биологическим мониторингом, в частности с фитоаккумуляционными нормативами. Выделяют такие интегральные показатели как фитотоксичность (свойство почвы подавлять рост и развитие высших растений) и генотоксичность (способность влиять на структурно-функциональное состояние почвенной биоты).

Геодинамические критерии литосферы используются преимущественно для оценки состояния рельефа и развития природных и техногенно-активизированных геологических процессов. Для рельефа и подземного пространства можно предложить два показателя: площадь и глубину тех-

ногенной переработки (степень нарушения, освоенности, застройки), пример использования которых приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Геодинамические критерии оценки состояния литосферы

Оценочные показатели изменения рельефа	Классы экологического состояния территории			
	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
Площадь техногенного рельефа к площади участка	менее 10 %	10 - 25 %	25 - 50 %	более 50 %
Техногенный размах рельефа (м)	менее 10	10-20	20-50	-
Площади подработанных территорий (%)	более 10	10-20	20-40	более 50

Приведённые в таблице классы состояния литосферы соответствуют:

Н - благоприятное состояние территории (норма);

Р - ограниченно благоприятное состояние территории;

К - неблагоприятное состояние территории;

Б - катастрофическое состояние территории.

Рекомендованные градации геодинамических критериев оценок состояния литосферы довольно условны и ориентировочны.

Нормативы образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение устанавливаются в целях предотвращения их негативного воздействия на окружающую среду.

Лимитирование размещения твердых промышленных отходов (разработка проектов лимитов размещения) осуществляется на основании нормативно-правовых актов. При этом под организованным размещением отходов понимаются регламентированные и осуществляемые в соответствии с установленными нормами и правилами процессы выделения, концентрирования, сбора, транспортировки, накопления, временного хранения отходов, предусматривающего возможность их дальнейшего использования, переработки, или ликвидации, захоронения.

2.5. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в продуктах питания

При разработке нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в продуктах питания учитываются материалы по токсикологии и гигиеническому нормированию данных веществ в различных объектах природной среды (в воздухе, воде, почве), а также информация о естественном содержании различных химических элементов в пищевых продуктах.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в продуктах питания (ПДКпр) – это концентрация вредного вещества в про-

дуктах питания, которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека. Санитарно-гигиеническое нормирование загрязненности пищевых продуктов касается главным образом пестицидов, а также тяжелых металлов и некоторых анионов (например, нитратов).

2.6. Нормирование в области радиационной безопасности

В природе существует три основных вида радиоактивного излучения: альфа, бета и гамма.

Гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение высокой энергии и обладает наибольшей проникающей способностью. Соответственно, защита от внешнего гамма-излучения представляет наибольшие проблемы.

Бета-излучение – это поток электронов. Оно обладает небольшой проникающей способностью и защититься от него при внешнем источнике сравнительно легко. Максимальную опасность представляют бета-активные радионуклиды, попавшие в организм.

Альфа-излучение представляет собой поток ядер гелия, это положительно заряженные массивные частицы (по сравнению с относительно легкими электронами). Этот вид излучения легко поглощается любой средой. Альфа-частицы могут вызывать ядерные реакции.

Количественной характеристикой источника излучения служит активность, выражаемая числом радиоактивных превращений в единицу времени. В Международной системе СИ единицей активности является беккерель (Бк) – 1 распад в секунду ($с^{-1}$). Иногда используется внесистемная единица – кюри (Ки), соответствующая активности 1 г радия. Соотношение этих единиц определяется следующей формулой: $1\ Ки = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Экспозиционная доза измеряется по ионизации воздуха и равна количеству электричества, образующегося под действием гамма-излучения в 1 кг воздуха. Распространена также внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген. Это доза гамма-излучения, при которой в 1 $см^3$ воздуха при нормальных физических условиях образуется $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, несущих одну электростатическую единицу количества электричества.

В системе нормирования «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) используются следующие основные понятия:

Поглощенная доза – фундаментальная дозиметрическая величина, определяемая количеством энергии, переданной излучением единице массы вещества. За единицу поглощенной дозы облучения принимается грей – поглощенная доза излучения, переданная массе облучаемого вещества в

1 кг (1 Гр = 1 Дж/кг) и измеряемая энергией в 1 Дж любого ионизирующего излучения (1 Гр =1 Дж/кг).

Эквивалентная доза - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения. Единицей эквивалентной дозы является Зиверт - доза любого вида излучения, поглощенная биологической тканью массой в 1 кг и создающая такой же биологический эффект, как и поглощенная доза фотонного излучения в 1 Гр.

Эффективная эквивалентная доза - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Эффективная эквивалентная доза отражает суммарный эффект облучения для организма и измеряется в Зивертах.

2.7. Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные контролируемые параметры атмосферного воздуха. Дайте определение $ПДК_{сс}$.
2. Охарактеризуйте индексы загрязнения атмосферного воздуха.
3. Назовите основные контролируемые параметры воды.
4. Дайте классификацию вод и фазового состояния загрязнителей.
5. Приведите определение $ПДК_{в}$ и $ПДК_{вр}$.
6. Охарактеризуйте индексы загрязнения водных объектов.
7. Назовите основные контролируемые параметры почвы. Дайте определение $ПДК_{п}$.
8. Охарактеризуйте индексы загрязнения почвы.
9. Назовите основные контролируемые параметры продуктов питания. Дайте определение $ПДК_{пр}$.
10. Дайте определение поглощенной и эквивалентной дозе радиоактивного излучения.

Глава 3. МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

3.1. Организация мониторинга состояния атмосферного воздуха

Мониторинг атмосферного воздуха – информационно-техническая систему наблюдений, оценки и прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха, и предоставление на этой основе рекомендаций по охране атмосферного воздуха.

Государственный контроль над охраной атмосферного воздуха осуществляют федеральный орган исполнительной власти в области охраны окружающей среды и его территориальные органы в порядке, определенном Правительством Российской Федерации.

Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации организуют и проводят государственный контроль (государственный экологический контроль) над охраной атмосферного воздуха, за исключением контроля на объектах хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю. Сеть мониторинга качества атмосферного воздуха создана и осуществляется в системе организаций Росгидромета.

Она включает 260 городов России. Регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся на 710 станциях. Контрольно-наблюдательная сеть других ведомств включает еще 50 станций.

В составе Государственной службы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха действуют также специализированные подсистемы мониторинга, в частности станции в биосферных заповедниках, в том числе за трансграничным переносом загрязняющих воздух веществ.

По статистическим данным около 80 % всех попадающих в атмосферу загрязняющих веществ являются результатом разнообразных энергетических процессов – от добычи до переработки и использования энергоносителей. При этом почти 90 % мировых потребностей в энергии удовлетворяется за счет использования ископаемого топлива (нефть, уголь, газ). Ежегодно в мире сжигается более 1 млрд тонн топлива, что приводит к выбросам в атмосферу около 220 млн. т диоксида серы, 450 млн т оксида углерода, 7,5 млн т оксидов азота и 150 млн. т других веществ.

Наблюдения за загрязнением атмосферы проводятся в странах СНГ с начала 60-х годов 20-го столетия. В 1972 г. под руководством Главного управления гидрометеослужбы СССР была создана общегосударственная служба наблюдений и контроля за состоянием атмосферы, занимавшаяся также организацией системы мониторинга загрязнения природной среды.

Задачи мониторинга состояния атмосферного воздуха:

- оценивать уровень загрязнения атмосферы;

- изучать влияние загрязнения воздушного бассейна на заболеваемость населения;

- оценивать ущерб, наносимый сельскому хозяйству, лесам, животноводству, зданиям и сооружениям;

- планировать размещение промышленных предприятий и определять санитарно-защитные зоны (СЗЗ);

- уточнять и проверять расчетные методы рассеяния примесей от источников загрязнения;

- оценивать фоновое загрязнение атмосферы.

Для успешного решения этих задач необходимо грамотно выбирать методы измерений, оптимальные периоды наблюдений и количество постов, а также сформировать программу работы стандартной сети мониторинга.

Степень загрязнения атмосферы зависит от количества выбросов вредных веществ и их химического состава, от высоты, на которой осуществляются выбросы, и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ.

Источники загрязнения атмосферы различаются по мощности выброса (мощные, крупные, мелкие), высоте выброса (низкие, средние и высокие), температуре выходящих газов (горячие и холодные). К мощным источникам загрязнения относятся производства типа металлургических и химических заводов, тепловые электростанции и т.д. К мелким источникам – небольшие котельные и предприятия местной и пищевой промышленности, трубы печного отопления. Большое количество мелких источников может значительно загрязнять воздух.

В выбросах предприятий различных отраслей промышленности и транспорта содержится большое число различных вредных примесей. Почти из всех источников загрязнения поступают в атмосферу диоксид серы (SO_2), пыль, окись углерода (CO), оксиды азота (NO, NO_2). При неполном сжигании топлива выделяются ароматические углеводороды, часть которых относится к канцерогенным веществам. Много выбросов дают транспортные средства. При работе двигателей внутреннего сгорания выбрасываются свинец, хлор, бром, фосфор, сажа, оксид углерода, альдегиды и др.

На степень загрязнения атмосферы кроме концентрации примесей в выбросах влияют и метеорологические условия. Рассеивающая способность атмосферы зависит от вертикального распределения температуры и скорости ветра. Если температура с высотой падает, то создаются условия интенсивного турбулентного перемешивания. Если есть место инверсии температуры, то рассеивание примесей ослабевает. Скорость ветра прямо влияет на рассеивание примесей.

3.2. Виды, размещение и количество постов мониторинга атмосферы

Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах осуществляются на постах. **Пост** – это точка местности, на которой размещается павильон или автомобиль, оборудованный соответствующими приборами. Посты бывают трех категорий:

1) стационарные;
2) маршрутные;
3) передвижные (подфакельные).

Стационарный пост предназначен для обеспечения непрерывной регистрации содержания загрязняющих веществ. Из числа стационарных постов выделяются опорные стационарные посты, которые предназначены для выявления долговременных изменений содержания основных загрязняющих веществ.

Маршрутный пост служит для регулярного отбора проб воздуха, когда невозможно или нецелесообразно установить стационарный пост или необходимо более детально изучить состояние загрязнения воздуха в отдельных районах.

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника промышленных выбросов.

Стационарные посты оборудованы специальными павильонами, которые устанавливаются в заранее выбранных местах.

Наблюдения на маршрутных постах производятся с помощью передвижных лабораторий. Маршрутные посты предполагают остановки в заранее выбранных постоянных местах. Одна машина за рабочий день объезжает 4-5 точек. Порядок объезда должен быть постоянным, чтобы обеспечить определение концентрации в определенные сроки. Наблюдения под факелом производятся также с помощью оборудованных автомашин. Подфакельные посты представляют собой точки, расположенные на фиксированных расстояниях от источника. Они перемещаются в соответствии с направлением факела.

Репрезентативность наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы в городе зависит от правильности расположения поста на обследуемой территории. При выборе места расположения поста учитывается характер выдаваемой информации. Если надо получить фоновые данные, пост располагается на участке местности, который не подвергается воздействию отдельно стоящих источников выбросов. Благодаря значительному перемешиванию городского воздуха уровень загрязнения в районе поста будет определяться всеми источниками. Если необходимо получить данные об отдельном источнике, пост размещают в зоне наибольшей концентрации.

Каждый пост находится на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке с не пылящим покрытием: асфальт, бетон, твердый грунт, газон.

Посты размешаются в местах, которые выбираются на основе предварительного исследования загрязнения воздушной среды. При этом следует учитывать повторяемость направления ветра над территорией города. Выбору местоположения стационарных постов должно предшествовать ознакомление с генеральным планом развития города, чтобы учесть планируемое размещение источников и жилых районов. Посты размещаются в жилых районах (в первую очередь там, где концентрация выше), затем в административном центре населенного пункта и в жилых районах с различным типом застройки, а также в парках и зонах отдыха. К числу наиболее загрязненных районов относятся зоны наибольших максимальных разовых и среднесуточных концентраций, создаваемые выбросами промышленных предприятий (такие зоны обычно находятся в 0,5 - 2 км от низких источников и в 2 - 3 км от высоких), а также автомагистрали (в 50 - 100 м от них).

Число стационарных постов определяется в зависимости от численности населения, площади города, рельефа местности, степени индустриализации. При численности населения 50 тыс. чел. устанавливается 1 пост, на 50 - 100 тыс. чел. необходимо 2 поста, на 100 - 200 тыс. чел. необходимо 2-3 поста, на 200 - 250 тыс. чел. необходимо 3 - 5 постов, на более 500 тыс. чел. необходимо 5 - 10 постов, для более 1 млн чел. необходимо 10 - 20 стационарных и маршрутных постов. Естественно, количество постов может быть увеличено при сложном рельефе, большом количестве источников, а также при наличии объектов, для которых чистота воздуха имеет первостепенное значение (уникальные парки, исторические сооружения).

При подфакельных наблюдениях место отбора проб выбирают с учетом ожидаемых наибольших концентраций примесей на расстояниях 0,5, 1, 2, 3, ..., 10 км.

3.3. Программы, сроки наблюдений, определение перечня контролируемых веществ при мониторинге атмосферы

Регулярные наблюдения на стационарных постах проводятся по одной из четырех программ наблюдений: полной, неполной, сокращенной и суточной.

Полная программа наблюдения предназначена для получения информации о разовых и среднесуточных концентрациях. Наблюдения выполняются ежедневно путем непрерывной регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно через равные промежутки времени не менее 4 раз в сутки при обязательном отборе в 1, 7, 13 и 19 ч по местному времени.

По **неполной программе** наблюдения проводятся с целью получения информации о разовых концентрациях ежедневно в 7, 13 и 19 ч местного времени.

По **сокращенной программе** наблюдения выполняются с целью получения информации только о разовых концентрациях ежедневно в 7 и 13 ч местного декретного времени. Такие наблюдения обычно проводят в экстраординарных условиях: температура воздуха ниже 45°С в местах, где среднемесячные концентрации ниже 20 максимальной разовой ПДК. Допускается проводить наблюдения по скользящему графику в 7, 10 и 13 ч во вторник, четверг, субботу и в 16, 19, 22 ч в понедельник, среду, пятницу.

Программа суточного отбора проб предназначена для получения информации о среднесуточных концентрациях. В отличие от наблюдений по полной программе, наблюдения в данном случае проводятся путем непрерывного суточного отбора проб и не позволяют получить разовые значения.

Все программы дают возможность получить среднемесячные, среднегодовые значения и т.д.

Одновременно с отбором проб воздуха определяют метеорологические параметры: направление и скорость ветра, температуру воздуха, состояние погоды и подстилающей поверхности. Для стационарных постов допускается смещение сроков наблюдений на 1 ч. Кроме того, наблюдения могут быть проведены в воскресенье и праздничные дни.

Наблюдения на маршрутных постах также проводятся по полной, неполной и сокращенной программам. Для этих типов постов разрешается смещение сроков на 1 ч в обе стороны от стандартного времени.

Сроки отбора проб при подфакельных наблюдениях должны обеспечить выявление наибольших концентраций примесей, связанных с особенностями режима выбросов и метеоусловий рассеяния, и они могут отличаться от стандартных сроков.

При неблагоприятных метеоусловиях и значительных выбросах наблюдения проводятся через 3 ч. Необходимость организации контроля загрязнений атмосферного воздуха в зоне антропогенного воздействия определяется предварительными экспериментами и теоретическими исследованиями. Обследование территории проводят передвижными лабораториями в течение 1-2 лет.

Для получения достоверных оценок, как метеорологических параметров, так и уровня загрязнения атмосферы необходимо обеспечить проведение не менее 200 наблюдений в разных погодных условиях и режимах выбросов.

В климатологии чем длиннее ряд наблюдений, тем надежнее среднее значение. Период наблюдений за уровнем загрязнений атмосферы должен быть ограничен пятью годами или меньшим периодом, в течение которого не происходило резких изменений этого уровня, поскольку вследствие

воздействия антропогенных факторов он может измениться более чем в 2 раза (например, при введении в эксплуатацию новых предприятий, изменение технологии производств и т.д.).

Таким образом, опыт показывает, что максимальный период, для которого целесообразно рассчитывать одно среднее значение концентрации примеси из всех результатов наблюдений, не должен превышать 5 лет.

Количество веществ, выбрасываемых в атмосферу в результате антропогенной деятельности, постоянно растет. Уже несколько десятков лет ведутся измерения по основным примесям, рекомендованным ВОЗ для обязательного контроля: пыль, SO_2, CO, NO_2.

Перечень веществ для измерения устанавливается на основании сведений о составе и характере выбросов. Определяются выбрасываемые вещества и оценивается возможность превышения ПДК. В результате составляется список веществ, подлежащих контролю. Помимо этих веществ обязательно включаются в список:

– растворимые сульфаты и бенз(а)пирен (в городах с населением более 100 тыс. чел.);

– формальдегид и соединения свинца (в городах с населением более 500 тыс. чел.; эти вещества выбрасываются автомобилями);

– металлы в городах, где есть предприятия черной и цветной металлургии;

– пестициды в городах, расположенных вблизи крупных сельскохозяйственных полей.

На опорных стационарных постах организуются наблюдения за содержанием основных загрязняющих веществ: пыли, CO, SO_2, NO, NO_2 и по специфическим веществам, характерны для промышленных выбросов большинства предприятий города.

На неопорных и маршрутных постах проводят наблюдение за содержанием специфических примесей приоритетного списка, характерных для близлежащих источников выбросов. Наблюдение за основными примесями выполняют по сокращенной программе. Одна специфическая примесь контролируется на 2-3 стационарных постах одновременно.

Один раз в три года происходит пересмотр списка. Перед этим проводят предварительные наблюдения для того, чтобы ориентировочно оценить состояние загрязнения. При подфакельных наблюдениях основные примеси не измеряют. Наблюдения ведутся только за специфическими веществами, выбрасываемыми данным предприятием. Программа подфакельных наблюдений составляется таким образом, чтобы число наблюдений на каждом расстоянии от источника было не менее 50.

3.4. Методы отбора проб атмосферного воздуха

Определение концентраций большинства ЗВ в атмосферном воздухе выполняют лабораторными методами. Отбор проб атмосферного воздуха является важной составляющей анализа его качества и осуществляется двумя основными методами: аспирационным и методом заполнения сосудов ограниченной емкости.

Отбор проб первым методом осуществляется путем аспирации определенного объема воздуха через поглотительный прибор, заполненный твердым или жидким сорбентом для улавливания загрязняющего вещества, или аэрозольный фильтр, задерживающий частицы, содержащиеся в воздухе (рис. 3.1).

В результате аспирации происходит концентрирование ЗВ в поглотительном растворе (например, растворение и химическая реакция анализируемого газообразного загрязняющего вещества) или на твердом сорбенте (силикагель, алюмогель, измельченное стекло и др.). Поглотительные приборы чаще всего имеют U-образную форму и производятся из инертных материалов: стекло, фторопласт.

Рис. 3.1. Аспиратор для отбора проб воздуха

Уловленные при аспирации газы могут анализироваться на газоанализаторах. Газоанализаторы оснащены сенсорами: O_2, CO, CO_2, NO, NO_x, NO_2, SO_2, CH_4, H_2S и др. (рис. 3.2).

Для улавливания из воздуха взвешенных частиц (пыли, сажи) используются фильтры, изготовленные из бумаги или волокнистых полимерных материалов (полихлорвинила, полистирола, ацетилцеллюлозы), а также мембранные и стекловолокнистые. Фильтр устанавливается в металлическом фильтродержателе с конусной насадкой.

Рис. 3.2. Газоанализатор «Полар-7»

Метод заполнения сосудов ограниченной емкости может быть:

- вакуумный, когда из герметично закрытого сосуда откачивают воздух, а затем непосредственно в месте отбора пробы сосуд открывают;
- принудительного продувания сосуда 10-кратным объемом воздуха в месте отбора пробы, после чего сосуд герметизируют;
- вытеснение предварительно залитой в сосуд инертной жидкости воздухом месте отбора пробы, после чего сосуд герметизируют.

В качестве сосуда можно использовать обычные стеклянные емкости.

Чаще эти методы используют для определения оксида углерода или других газообразных примесей, тип и происхождение которых неизвестно. Для взвешенных примесей применят только аспирационный метод отбора проб воздуха, а для газообразных – оба.

Высота и продолжительность отбора проб. При определении приземной концентрации примеси в атмосферном воздухе отбор проб производится на высоте 1,5 - 3,5 м от поверхности земли.

Пробы подразделяются в зависимости от режима отбора:

– на разовые, при длительности отбора 20 - 30 минут;

– средние суточные, когда отбор осуществляется непрерывно в течение 24 часов или дискретно через равные интервалы времени в течение суток (отбирают не менее 4 разовых проб).

Средства измерения. На стационарных постах средства измерения размещаются в комплектных лабораториях «Пост-1» и «Пост-2», а на маршрутных и подфакельных постах – в лаборатории «Атмосфера-II» (рис. 3.3).

Для отбора проб воздуха используют электроаспиратор ЭА-1, ЭА-2, ЭА-2С, ЭА-3. ЭА-1 применяют для отбора разовых проб газообразных ЗВ; ЕА-2С – для отбора суточных проб пыли на 1 фильтр в циклическом не-

прерывном режиме на «Пост-2»; ЭА-3 – для разовых и суточных проб большого объема (пыли и газовых ЗВ) на 1 фильтр и в один поглотительный прибор станциях фонового мониторинга.

Рис. 3.3. Передвижной экологический пост контроля атмосферы «Атмосфера-II»

Отборники воздуха «Компонент» применяют для циклического отбора разовых проб в поглотительные приборы с целью дальнейшего определения концентраций газообразных примесей.

Для регистрации объемов воздуха используют электроаспираторы, реометры, ротаметры и другие расходомеры. Электроаспираторы ЭА-1, ЭА-2, ЭА-3 состоят из возбудителя расхода воздуха (ротационный насос, пылесос, вихревой вентилятор), фильтродержателя, блока аспирации с расходомером и пультом управления. Воздухоотборник «Компонент» состоит из вакуумного насоса и корпуса, в котором расположены реле времени, вакуумметр и система клапанов.

В лаборатории «Пост-1» размещается основное и вспомогательное оборудование для проведения наблюдений и измерения метеопараметров. Лаборатория работает при температуре 10 - 35 ^{o}C, относительной влажности до 80 %. Оборудование включает автоматические газоанализаторы ГМК-3(CO) и ГКП-1(SO_2), системы для проведения отбора проб и метеорологических наблюдений, мачты для установки датчика ветра, система электроснабжения и освещения.

В специальной камере располагается метеостанция М-49. С четырех сторон павильона на высоте 1,5 м – люки с крышками, в которые можно вставить блок для отбора проб на пыль и сажу. Над крышкой на высоте 50 см расположен заборный трубопровод (с фторопласта или стекла) с защитным колпачком для отбора газообразных веществ.

«Пост-2» отличается наличием автоматического воздухозаборника «Компонент» и ЭА-2С. Для измерения метеопараметров в лаборатории используется автоматический метеорологический комплекс.

Передвижная лаборатория «Атмосфера-II» предназначена для определения уровня загрязнение атмосферы и измерение метеопараметров при проведении маршрутных и подфакельных наблюдений. Это автофургон, в приборном отсеке установлены приборы и оборудование для отбора проб на газовые примеси, сажу и пыль; газоанализаторы, метеостанция М-49 (или М-47) и пульт управления. На крыше расположен датчик скорости и направления ветра, выносную штангу для датчиков температуры, влажности и анеморумбометра.

Условия отбора проб. При отборе разовых проб воздуха необходимо обеспечивать условия изокинетичности – скорость пропускаемого воздуха через фильтр, должна равняться скорости набегающего потока.

Выравнивание скоростей осуществляется за счет применения конусных насадок, выбор которых зависит от скорости ветра. Фильтродержатель должен быть ориентирован навстречу ветровому потоку.

При суточном отборе проб воздуха в условиях высокой запыленности масса пыли на фильтре может превысить его пылеёмкость (5 мг/см^2). При отборе проб при минусовых температурах воздух подогревается до 20 ^{o}C.

Сорбционные трубки устанавливают строго вертикально, слоем сорбента вниз, чтобы воздух проходил через слой сорбента.

Организация химического анализа проб. При определении концентрации примеси с помощью ручных методов отбора проб и химического анализа могут возникнуть ошибочные результаты. Погрешности определения концентраций примеси при отборе проб воздуха обусловлены следующими причинами:

1. Погрешность при определении объема воздуха, прошедшего через поглотительный прибор.

2. Погрешность при измерении времени отбора проб воздуха в минуту, увеличивает погрешность измерения на 5 %.

3. Погрешности при занижении скорости аспирации (отсос пыли).

4. Сорбция или частичная десорбция вещества, определяемого на поверхности отборщика, если используют резиновые шланги.

6. Недостаточная герметизация системы отбора воздуха или неправильное присоединение поглотительных приборов, что приводит к подсасыванию воздуха.

Метеорологические наблюдения при отборе проб воздуха. Учитывая, что метеорологические факторы определяют перенос и рассеивание вредных веществ в атмосферном воздухе, отбор проб воздуха должен сопровождаться наблюдениями за дымовыми факелами источников выбросов и основными метеорологическими параметрами, к числу которых относятся: скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферные явления, состояние погоды и подстилающей поверхности. Результаты наблюдений записываются в рабочий журнал наблюдателя, а

обработанные результаты – в книжку записи наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и метеорологическими элементами (КЗА-1).

Проведение подфакельных наблюдений. Подфакельные наблюдения – измерение концентраций примесей под проекцией факела выбросов из трубы промышленного предприятия. Место расположения точек отбора проб меняется в зависимости от направления факела (направления ветра). Радиус проведения наблюдений – не менее 10 - 15 км. За рабочее изменение наблюдения проводят в 8-10 точках – как правило, в 4 - 5 точек по 2 раза в день. Отбор проб производят на расстояниях 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 и 30 км. На расстоянии 0,5 км – определяют загрязнение атмосферы от низких источников, а на дальних – суммарное загрязнение низких, неорганизованных и высоких источников выбросов.

Измерение концентрации загрязняющих веществ производят в центральных точках по оси факела и в точках слева и справа по перпендикуляру от оси. Расстояние между точками зависит от ширины факела: сектор расширяется от 50 до 300 - 400 м. При изменении направления ветра наблюдения перемещаются в зону воздействия факела. При наличии препятствий (водоемы, отсутствие дорог и т.д.) выбирают другие точки. Чаще стоит проводить наблюдения на расстоянии 10 - 40 средних высот трубы от источника выброса, где существует большая вероятность появления максимума концентраций.

Сбор и обработка результатов химических анализов. Данные о результатах наблюдений загрязнения атмосферного воздуха и метеорологических параметров, о результатах подфакельных и других наблюдений и сводятся в специальные таблицы, так называемые таблицы наблюдений за загрязнением атмосферы (ТЗА), таблицы подразделяются на четыре вида: ТЗА-1. ТЗА-2, ТЗА-3 и ТЗА-4:

- ТЗА-1 – результаты разовых наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха сети постоянно действующих стационарных и маршрутных постов в одном городе или промышленном центре, а также данные метеорологических и аэрологических наблюдений;
- ТЗА-2 – результаты подфакельных наблюдений;
- ТЗА-3 – данные средних суточных наблюдений за выпадением и концентрацией пыли и газообразных примесей;
- ТЗА-4 – данные суточных наблюдений с помощью газоанализаторов или других приборов и устройств непрерывного действия.

3.5. Контроль выбросов загрязняющих веществ в период неблагоприятных метеорологических условий

Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) — это условия, при которых затруднено рассеивание выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, и происходит их накопление в приземном слое атмо-

сферного воздуха. К ним относятся штиль или очень слабый ветер, температурная инверсия, туман, неблагоприятное направление ветра.

В соответствии с Федеральным законом «Об охране атмосферного воздуха» при получении прогнозов НМУ все юридические лица и индивидуальные предприниматели, имеющие источники выбросов, обязаны проводить мероприятия по уменьшению выбросов. Это требование не распространяется на объекты IV категории.

Указанные мероприятия должны быть согласованы с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными на осуществление регионального государственного экологического надзора.

В ряде случаев осуществление радикальных мер по защите воздушного бассейна бывает затруднительным, рассчитано на длительный период и требует значительных капитальных вложений. В связи с этим большое значение приобретает разработка и осуществление мероприятий по временному сокращению вредных выбросов в атмосферу в периоды неблагоприятных метеорологических условий (отсутствие ветра, туман, температурная инверсия).

Загрязнение приземного слоя воздуха, создаваемое выбросами промышленных предприятий, тепловых электростанций, транспорта и других объектов в большой степени зависит от метеорологических условий. В отдельные периоды, когда метеорологические условия способствуют накоплению вредных веществ в приземном слое атмосферы, концентрации примесей в воздухе могут резко возрастать. Чтобы в эти периоды не допускать возникновения высокого уровня загрязнения, необходимо заблаговременное прогнозирование таких условий и своевременное сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу.

Под **регулированием выбросов** вредных веществ в атмосферу понимается их кратковременное сокращение в периоды неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), приводящих к формированию высокого уровня загрязнения воздуха. Регулирование выбросов осуществляется с учетом прогноза НМУ на основе предупреждений о возможном опасном росте концентраций примесей в воздухе с целью его предотвращения.

Прогноз загрязнения атмосферы и регулирование выбросов являются важной составной частью всего комплекса мероприятий по обеспечению чистоты воздушного бассейна. Эти работы особенно необходимы в городах с относительно высоким средним уровнем загрязнения воздуха, поскольку принятие радикальных мер по его снижению требует, как правило, больших усилий и времени, а эффект от регулирования выбросов может быть практически незамедлительным. В то же время для предотвращения роста концентраций в отдельные периоды выполнение таких работ полезно практически в любом городе.

Мероприятия по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в периоды НМУ разрабатывают предприятия, организации, учреждения, расположенные в населенных пунктах, где проводится или планируется проведение прогнозирования НМУ.

Предупреждения о повышении уровня загрязнения воздуха в связи с ожидаемыми неблагоприятными метеорологическими условиями составляют в прогностических подразделениях Росгидромета.

Применяют два вида предупреждений о возможном формировании повышенного уровня загрязнения воздуха: от отдельных источников и по городу в целом. В первом случае предупреждения связаны с ростом концентраций примесей в воздухе, создаваемых выбросами одного или группы источников; во втором - с ростом общегородского загрязнения воздуха. Предупреждения составляются наряду с ежедневными прогнозами загрязнения атмосферы при возникновении угрозы значительного роста концентраций.

В зависимости от ожидаемого уровня загрязнения атмосферы составляются предупреждения трех степеней, которым соответствуют три режима работы предприятий в периоды НМУ.

Предупреждение **первой степени** составляется, если ожидаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше ПДК.

Предупреждение **второй степени** составляется в двух случаях:

1) если ожидаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше 3 ПДК;

2) если после передачи предупреждения первой степени - поступающая информация показывает, что принятые меры не обеспечивают необходимую чистоту атмосферы.

Предупреждение **третьей степени** составляется в случае, когда после передачи предупреждения второй степени сохраняется высокий уровень загрязнения атмосферы, ожидается сохранение НМУ; при этом ожидаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше 5 ПДК.

При разработке мероприятий по регулированию выбросов следует учитывать вклад различных источников в создание приземных концентраций примесей. В каждом конкретном случае необходимо определить, на каких источниках следует сокращать выбросы в первую очередь, чтобы получить наибольший эффект. С этой целью используют формулы для расчета максимальной концентрации примесей в воздухе, которые приведены в «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных веществ в атмосферном воздухе» (приказ Минприроды России от 6 июня 2017 года № 273).

Максимальная концентрация примесей в воздухе значительно уменьшается с увеличением высоты трубы, особенно в случае горячих вы-

бросов. Следовательно, в периоды НМУ при прочих равных условиях необходимо в первую очередь сокращать низкие выбросы.

При наступлении НМУ следует в первую очередь снижать выбросы, поступающие в атмосферу из большого числа мелких источников. Чем холоднее выбросы, тем более эффективным для уменьшения приземных концентраций является их кратковременное сокращение.

Для эффективного предотвращения повышения уровня загрязнения воздуха в периоды НМУ следует в первую очередь сокращать низкие, рассредоточенные, холодные выбросы. Соблюдение указанных принципов способствует практическому осуществлению мероприятий по регулированию выбросов и предотвращению роста концентраций в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

Контроль за концентрацией загрязняющих веществ при горении породного отвала должен осуществляться стационарными постами Гидрометеорологической службы. Однако отсутствие необходимого количества стационарных постов вблизи горящих породных отвалов не позволяет достоверно контролировать состояние атмосферного воздуха.

3.6. Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение мониторинга атмосферного воздуха.
2. Каковы основные задачи мониторинга атмосферного воздуха?
3. Охарактеризуйте категории постов наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах.
4. Что влияет на число стационарных постов?
5. Назовите и опишите программы наблюдения на стационарных постах.
6. Какие примеси рекомендованы всемирной организацией здоровья для обязательного контроля?
7. Что относится к неблагоприятным метеорологическим условиям?

Глава 4. МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ

4.1. Загрязнение поверхностных вод суши

Роль ресурсов поверхностных вод в жизни и в производственной деятельности человека чрезвычайно велика. Поверхностные воды используются для водоснабжения и орошения, рыболовства и транспорта (судоходство и лесосплав), производства электроэнергии и промышленных товаров.

Антропогенное загрязнение гидросферы носит глобальный характер и существенно уменьшает доступные эксплуатационные ресурсы пресной воды на планете. Общая масса загрязняющих гидросферу веществ составляет около 15 млрд тонн в год. Ежегодно речной сток выносит в Мировой океан 2,3 млн тонн свинца, 1,6 млн тонн марганца, 6,5 млн тонн фосфора, 230 млн тонн железа и т.д. К наиболее опасным веществам относятся соли тяжелых металлов, фенолы, пестициды, нефтепродукты, органические яды, синтетические поверхностно активные вещества, минеральные удобрения и т.д.

Загрязнение природных вод – это процесс изменения их физических, химических и биологических свойств, которые могут вредно влиять на человека и другие живые организмы, а также ограничивать возможность целевого использования воды. Водные объекты считаются загрязнёнными, если показатели состава и свойств воды в них изменяются под прямым или косвенным воздействием производственной деятельности и бытового использования и становятся частично или полностью непригодны для одного из видов водопользования.

Современный уровень загрязнения поверхностных (континентальных) вод определяется комплексом антропогенных факторов-воздействий:

- органические нетоксичные загрязнения;
- органические и минеральные токсические загрязнения;
- минеральные вещества, стимулирующие рост водорослей, преимущественно соединения фосфора и азота;
- кислотные дожди;
- радионуклиды.

Неочищенные и частично очищенные сточные воды приводят к изменению физико-химических свойств водных объектов и их загрязнению.

Совокупность гидродинамических, биологических, химических и физических процессов, которые приводят к снижению концентрации загрязняющих веществ в воде, называется самоочищением.

Истощение поверхностных вод — это сокращение количества воды в водном объекте под влиянием человеческой деятельности, носящее устойчивый характер. Часто недостаток пресной воды обусловлен качественным истощением водных ресурсов, т.е. загрязнением различными химическими веществами.

Промышленные предприятия, несмотря на использование оборотных циклов водопользования, сбрасывают в окружающую природную среду сточные воды, загрязненные опасными химическими компонентами. Значительное количество загрязняющих веществ сбрасывается в реки и водоемы с коммунально-бытовыми стоками. В последние годы в связи с интенсификацией сельского хозяйства все большее значение приобретает проблема загрязнения природных вод стоками с полей и других угодий. Эти воды содержат соединения азота, фосфора, ядохимикаты, продукты водной эрозии. Огромную опасность для природных вод, а также для здоровья и жизни человека представляют различные радиоактивные отходы.

Таким образом, охрана поверхностных вод от загрязнения является актуальной задачей и один из важных её элементов - мониторинг поверхностных вод.

Наблюдения за химическим составом природных вод были начаты с 1936 г. в системе Гидрометеослужбы СССР. С созданием в 1972 г. Общегосударственной службы наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК) наблюдения за качеством поверхностных вод приобрели характер систематического контроля за загрязнением вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям.

4.2. Организация системы мониторинга поверхностных вод. Пункты наблюдений

Мониторинг поверхностных вод – это система последовательных периодических наблюдений, сбора и обработки информации о состоянии водных объектов, прогнозирование возможных изменений качества воды и разработка научно обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений по улучшению состояния открытых водных объектов.

Основными задачами мониторинга поверхностных вод являются наблюдение, оценка и прогнозирование изменений качества воды в открытых водных объектах.

Система мониторинга поверхностных вод является необходимой составной частью государственной системы управления окружающей средой и регулирования её качества.

Основной целью системы мониторинга водных объектов является получение достоверной информации о качестве воды и анализе изменений качества воды под действием антропогенных факторов.

Наблюдения осуществляются Росгидрометом РФ (Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации). **Задачами** Росгидромета являются:

– проведение наблюдений;

– предоставление государственным органам и заинтересованным организациям данных о состоянии водного объекта;

– предоставление государственным органам и заинтересованным организациям прогнозов о загрязнении водных объектов;

– предоставление государственным органам и заинтересованным организациям информации о катастрофических загрязнениях;

– анализ состояния поверхностных вод на основе режимных наблюдений и установлении тенденций развития процесса.

В основе проведения режимных наблюдений лежат следующие основные принципы: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями, определение показателей состава и свойств воды едиными методами.

В последние годы в рамках международных соглашений уделяется большое внимание организации и ведению трансграничного мониторинга поверхностных вод. Для бассейнов рек, особенно трансграничных, разрабатываются и внедряются планы управления речными бассейнами с учетом принципов интегрированного управления водными ресурсами и рекомендаций Еврокомиссии, главным образом, Водной рамочной директивы 2000/06/ЕС (ВРД).

В ВРД программам организации мониторинга вод посвящена 8 статья «Мониторинг состояния поверхностных вод, подземных вод и охранных зон». Программы мониторинга поверхностных вод должны охватывать объем, уровень или расход потока воды, экологическое и химическое состояние, а также экологический потенциал водных объектов. Для подземных вод такие программы должны охватывать мониторинг химического и количественного состояния.

ВРД требует для каждого бассейна реки создать программу контрольного мониторинга (преимущественно для оценки долгосрочных изменений в водных объектах в ненарушенных условиях и изменений, возникающих из-за антропогенной деятельности) и программу рабочего мониторинга (преимущественно для объектов, испытывающих антропогенное давление). В некоторых случаях создаются программы исследовательского мониторинга.

Под **пунктом наблюдений за загрязнением поверхностных вод** понимают место на водном объекте, где производится комплекс работ по получению данных о составе и свойствах воды. При наличии в населенном пункте нескольких точек наблюдений под пунктом наблюдений понимают весь участок водоема, а не отдельные точки.

Важным этапом в организации наблюдений за загрязнениями является выбор местоположения пункта наблюдений – применяются две схемы размещения пунктов гидрохимических наблюдений: **объектное и территориальное местоположение пункта наблюдений**.

Объектная схема применяется для изучения гидрохимического режима больших и средних водных объектов и включает пункты, расположенные на больших и средних реках и каналах, имеющих большое хозяйственное значение, а также в створах больших рек, на больших озерах и водоемах.

Территориальная схема применяется для фоновых наблюдений, изучения и регионального обобщения характеристик гидрохимического режима малых рек. Пункты наблюдений по этой схеме намечаются в створах, замыкающих сравнительно малые речные водозаборы, хорошо отражающих местные условия природных районов исследуемой территории.

Одно из главных требований, предъявляемых к расположению пункта наблюдений - репрезентативность в отношении масштабов и видов загрязнения сточными водами отдельных отраслей хозяйства.

Систематические наблюдения за уровнем загрязнений поверхностных вод проводятся на постоянных и временных пунктах наблюдений, которые размещаются в местах наличия или отсутствия влияния хозяйственной деятельности. При этом обязательно организуется:

– стационарная сеть пунктов наблюдений за природным составом и загрязнением поверхностных вод;

– специализированная сеть пунктов наблюдений загрязнённых водных объектов для решения научно-исследовательских задач;

– временная экспедиционная сеть пунктов наблюдений на объектах, не охваченных первыми двумя видами наблюдений.

При организации сети наблюдений обязательны следующие требования:

– предпочтение должно отдаваться изучению антропогенных воздействий на поверхностные воды;

– систематичность и комплексность наблюдений за качеством воды физическими, химическими и биологическими показателями с параллельным проведением соответствующих гидрологических измерений;

– согласование сроков наблюдений с характерными гидрологическими ситуациями;

– определение показателей качества воды едиными методами на всей сети, обеспечивающими возможность сравнения результатов;

– оперативность получения информации о качестве воды и состоянии водных объектов.

Пункты наблюдений организуются в первую очередь на водоёмах, имеющих большое народно-хозяйственное значение, а также подверженных значительным загрязнениям. На чистых (незагрязнённых) водоемах создаются пункты для фоновых наблюдений.

Пункты наблюдений организуются в районах:

– расположения городов, сточные воды которых сбрасываются в водоём;

– сброса сточных вод крупными промышленными предприятиями;

– мест нереста и зимовки ценных промысловых рыб;

– плотинных участков рек, являющихся важными для рыбного хозяйства;

– пересечения реками государственной границы;

– замыкающих створов больших и средних рек.

В пункте наблюдений организуется один или несколько створов.

Под **створом пункта наблюдения** понимается условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Посты наблюдений размещаются с учетом гидрометрических условий и морфологических особенностей водоема или водотока, размещение источников загрязнения, объёма и состава сточных вод.

При наблюдении за качеством воды устанавливается не менее трех створов: один створ выше источника загрязнения, два створа ниже источника загрязнения.

Один створ устанавливается:

- при отсутствии организованного сброса сточных вод;
- на незагрязненных участках водотоков;
- на плотинных участках рек;
- в местах пересечения границы.

Два и более створов устанавливаются при наличии организованного сброса сточных вод: один створ – выше источника сброса, другой – ниже. Верхний створ характеризует фоновое состояние и находится в 1 км выше источника. Нижний створ располагают так, чтобы происходило достаточно полное (не менее 80 %) смешение сточных вод с водами реки.

Створы наблюдений за содержанием пестицидов в донных отложениях должны совпадать со створами наблюдений поверхностных вод. Пробы отбирают в местах, в которых донные отложения достигают максимального развития (места поступления сточных вод, зоны подпора боковых притоков и приплотинная часть в водохранилищах), а также в местах, где обмен загрязняющими веществами между водой и донными отложениями характеризуется экстремальными значениями (на судовом ходу, на глубинах до 10 м, на перекатах и др.). На водоемах пробы отбирают в створах питающих их водотоков, в зонах влияния сброса сточных вод и верхнего створа водохранилища.

На водоёмах должно быть не меньше двух вертикалей отбора проб. Первая устанавливается не далее 0,5 км от моста сброса сточных вод или берега, а последняя – непосредственно за границей загрязненности.

На реке число вертикалей зависит от условий смешения: одна вертикаль, если смешение хорошее, и три вертикали при неоднородности химического состава - на расстоянии 0,1 ширины реки от берегов.

Число горизонтов отбора проб:

- глубина до 5 м – один горизонт, на глубине 0,2 - 0,5 м или подо льдом зимой;
- глубина 5 - 10 м – два горизонта, 0,2 - 0,5 м от поверхности и в 0,5 м от дна;
- глубина более 10 м – вводится третий горизонт, дополнительный, на половине глубины.

На глубоких водоемах устанавливаются следующие горизонты: 10, 20, 50, 100 м и у дна.

Пункты наблюдений подразделяются на четыре категории:

I категория:

- на средних и больших водотоках и водоёмах, имеющих важное народно-хозяйственное значение;
- в городах с населением свыше 1 млн человек;
- в местах нереста и зимовки ценных рыб;
- в местах сброса сточных вод, в результате которого образуется высокое загрязнение вод;

Допускается располагать, если есть необходимость, пункты I категории на малых водоёмах и водотоках.

II категория:

- в городах с населением 0,5 - 1,0 млн человек;
- в местах нереста и зимовки ценных рыб;
- в важных для рыбного хозяйства приплотинных участках реки;
- в местах организованного сброса сточных вод;
- при пересечении реками государственной границы;
- в районах со средней загрязненностью вод.

III категория:

- в городах с населением менее 0,5 млн человек;
- в замыкающих створах больших и средних рек;
- в районах незначительного загрязнения вод.

IV категория – это пункты на незагрязнённых участках водоёмов и водотоков, а также на водных объектах в заповедниках, национальных парках и других охраняемых территориях.

При организации мониторинга поверхностных вод проводят предварительные обследование, включающие изучение состояния водного объекта, получение данных о водопользователях, источниках загрязнения, количестве, составе и режиме сброс сточных вод. Далее составляется карта-схема водного объекта, на которой определяют координаты расположения постов наблюдений, определяют характеристики загрязняющих веществ и складывается программа работ.

4.3. Программы наблюдений при мониторинге поверхностных вод

В настоящее время применяют четыре программы по гидрологическим и гидрохимическим показателям:

1. **Обязательная**. Определяются следующие показатели:

- расход воды, скорость течения и уровень;
- визуальные наблюдения, температура, цветность в градусах, прозрачность, запах, pH, концентрация растворенных газов (кислорода, диоксида углерода), жесткость, $БПК_5$, ХПК, взвешенные вещества, концентрация ионов (хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, кальций, магний, натрий, калий), загрязняющие вещества (нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы).

2. **Сокращенная программа 1:**

- визуальные наблюдения;
- расход, уровень воды;
- температура, удельная электропроводность, концентрация растворенного кислорода.

3. **Сокращенная программа 2:**

- расход, уровень воды;
- визуальные наблюдения, температура, pH, удельная электрическая проводимость, кислород, взвешенные вещества, ХПК, $БПК_5$, концентрация 2-3 загрязняющих веществ (основных для данного пункта).

4. **Сокращенная программа 3:**

- расход, уровень воды;
- визуальные наблюдения, температура, pH, кислород, взвешенные вещества, ХПК, $БПК_5$, все загрязняющие вещества в данном пункте.

В пунктах 1 категории наблюдения по гидрохимическим и гидрологическим показателям проводят ежедневно на первом после выпуска сточных вод створе по сокращенной программе № 1, ежедекадно – по сокращенной программе № 2, ежемесячно – по сокращенной программе № 3, в основные фазы водного режима – по обязательной программе.

В пунктах II категории – ежедневно (визуальные), ежедекадно – по сокращенной программе № 1, ежемесячно – по сокращенной программе № 3, в основные фазы водного режима – по обязательной программе.

В пунктах III категории – ежемесячно по сокращенной программе № 3, в основные фазы водного режима – по обязательной программе.

В пунктах IV категории – в основные фазы водного режима по обязательной программе.

Наблюдения за содержанием пестицидов проводят в пунктах, расположенных:

- в районе применения пестицидов;
- в районах населенных пунктов, где есть предприятия, производящие пестициды;

- на участках, где установлены повторяющиеся случаи нарушения качества воды;

- в районе пересечения границы.

В воде водоёмов рекомендуется определять порядка 20 наименований пестицидов, среди которых ГХЦГ (гексохроан), ДДТ, карбофос и др.

Кроме того, пестициды определяют и в донных отложениях.

Программу наблюдений по биологическим показателям проводят по фито- и зоопланктону. По фитопланктону:

- общая численность клеток (клет./мл);
- общее число видов;
- общая биомасса (мг/л);
- численность основных групп (кл./мл);
- биомасса основных групп (мг/л);
- число видов в группе.

По зоопланктону:

- общая численность организмов (экз./м^3);
- общее число видов;
- количество групп;
- общая биомасса (мг/л);
- число видов в группе.

Аналогичные наблюдения проводятся по зообентосу, перифитону, макрофитам.

Программа проведения наблюдений по токсикологическим (биотестовым) показателям для проб включает в себя определение острого, подострого и хронического токсического действия проб воды в биотестах на следующих организмах:

- дафниях;
- водорослях;
- парамециях;
- коловратках;
- рыбах.

Для биотестирования могут быть использованы лабораторные культуры и природные популяции водных организмов.

Наблюдения по биологическим показателям в пунктах всех категорий проводят ежемесячно в вегетационный период. Наблюдения по токсикологическим показателям в пунктах категории 1 - 3 рекомендуется проводить ежеквартально.

Кроме воды на постах берут пробы донных отложений, которые затем направляются в лабораторию для определения гидрохимических, гидробиологических и токсикологических показателей. Это позволяет более полно характеризовать экологическое состояние водного объекта.

4.4. Методы и сроки отбора проб

По обязательной программе наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими показателями определяется водный режим реки. Для большинства водотоков отбор проб проводят 7 раз в год: во время половодья – на подъёме, максимуме и спаде; во время летней межени – при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка; осенью перед ледоставом и во время зимней межени. Есть и другой подход – отбор проб проводят 4 раза в год (во время половодья – на подъеме; во время летнего предела – при наименьшем расходе; осенью перед ледоставом и во время зимней межени).

Количество отбираемых проб для анализа по обязательной программе, может изменяться, в зависимости от особенностей водного режима отдельных водотоков:

– на водотоках с длинным паводком (больше месяца) пробы воды отбирают на подъёме, максимуме, в начале и конце убывания паводка (8 раз в год);

– на водотоках со слабо выраженным осенним подъёмом воды количество наблюдений составляет 5-6 раз в год;

– на временных водотоках количество наблюдений не превышает 3-4 в год;

– на водотоках в горных районах, в зависимости от типа водотока, количество наблюдений колеблется от 4 до 11.

Наблюдения за химическим составом воды водоёмов делятся на стандартные (обязательные) и специальные.

Стандартные наблюдения:

– регулярные наблюдения за химическим составом воды в постоянных пунктах, определяющие состояние водоёма в естественных условиях;

– регулярные наблюдения за уровнем загрязнения воды в контрольных пунктах, расположенных в районах наиболее значительных сбросов сточных вод.

К специальным наблюдениям относятся гидрохимические исследования водоёма для оценки распространения загрязнений, изучения процессов самоочищения, определение запасов веществ в объекте и балансовых расчетов.

Для правильной оценки качества воды необходимо выполнить следующие условия:

1) правильно отобрать пробы воды соответствующего количества;

2) пробы должны быть репрезентативными (под репрезентативностью пробы понимают её соответствие поставленной задаче как по качеству и объёму, так и по выбранным точкам и времени отбора, а также техникой отбору, предварительной обработке, условиям хранения и транспортировки).

Проба должна представлять водоём или водоток и характеризовать состояние воды за определенный промежуток времени. Одиночная проба может быть репрезентативной для большой массы воды при следующих условиях:

а) отобранная водная масса однородна;

б) достаточное количество точек отбора проб;

в) достаточные размеры отдельных проб;

г) стандартизированные методы отбора.

Предварительная обработка, транспортировка и хранение проб должны производиться таким образом, чтобы в воде не проходило значительных изменений.

Выделяют простые и смешанные пробы. Простые пробы характеризуют качество воды в данном пункте отбора, отбираются в определенное время в требуемом объёме. Смешанные пробы объединяют несколько простых проб. Они характеризуют качество воды за определенный период времени.

В зависимости от цели отбора проб они могут быть разовыми и регулярными. Разовый отбор проб применяется в случаях, когда:

– измеряемые параметры несущественно изменяются во времени, а также глубиной и акваторией водоёма;

– предварительно известны закономерности изменения определяемых параметров;

– есть потребность только в наиболее общих данных о качестве воды в водоеме.

Регулярный отбор – это отбор проб, при котором каждая проба отбирается во временной и пространственной взаимозависимости с другими.

При стационарных наблюдениях пробы воды на химический анализ нужно отбирать на глубине 0,2 - 0,5 м. При глубоком русле и течении целесообразнее брать пробы на разных глубинах. Пробы предпочтительно отбирают эмалированным ведром объемом 10 л. Из ведра водой наполняют сосуды для определения pH, содержания в воде кислорода, диоксида углерода, фиксируют растворенный в воде кислород, а также наполняют водой бутылки для определения $БПК_5$ и дальнейшего анализа в лаборатории. Пробы для определения концентраций нефтепродуктов, фенолов, СПАВ, тяжелых металлов, пестицидов отбирают в отдельные бутылки.

Для отбора проб на разной глубине используют также специальные устройства – батометры разных типов. Для хранения проб используют полиэтиленовую и стеклянную посуду. Перед использованием посуду моют концентрированной кислотой и ополаскивают водопроводной водой. Основные требования к посуде – это его прочность, стойкость к растворению и плотность закрывания. Консервирование проб производят при отборе проб для определения неустойчивых компонентов. Анализ этих проб проводят не позднее чем через 3 дня после отбора.

4.5. Гидробиологические наблюдения за качеством воды и донными отложениями

В водной среде сосредоточены сложные комплексы различных химических соединений, влияние которых на живые организмы существенно отличается от воздействия отдельных составляющих этих соединений. В результате преобразований загрязняющих веществ образуются химические соединения, имеющие молекулярную устойчивость, токсичность, выраженный мутагенный эффект. Поэтому контроль только по физическим и химическим показателям, даже по наличию экологически обоснованных норм, часто оказывается недостаточным.

Наблюдение за качеством поверхностных вод по гидробиологическим показателям выполняют с целью получения объективных и полных данных, накопление которых необходимо для выявления долговременных изменений в водных экосистемах. **Гидробиологические показатели позволяют**:

1) оценивать качество поверхностных вод как среды жизни организмов, которые населяют водоемы и водотоки;

2) определять суммарный эффект действия загрязняющих веществ;

3) определять специфический химический состав воды и его происхождение;

4) проверять наличие или отсутствие повторного загрязнения вод;

5) выявлять долгосрочные изменения, происходящие в водных объектах;

6) определять экологическое состояние водных объектов.

Оценкой степени загрязнения водоёмов по гидробиологическим показателям является **шкала сапробности** – степень насыщенности воды органическими веществами. Сапробность устанавливается по видовому составу организмов – сапробионтов в водных биоценозах.

При оценке воды по шкале Кольквица – Марсона необходимо учитывать не отдельные организмы, а сумму видов, характерных для данной зоны: I – полисапробная (зона очень сильного загрязнения); II – α-мезосапробная и β-мезосапробная (зоны средней загрязненности); III – олигосапробная (зона чистой воды). На основании данных о видовом составе гидробионтов, найденных в водоеме, можно составить представление о его загрязнении.

Организмы, характерные для зон разной сапробности, называются биоиндикаторами степени загрязнения водоемов. Индикаторная роль гидробионтов характеризуется не только фактом наличия или отсутствия их в водоеме, но и степенью их количественной представленности.

Основными **гидробиологическими показателями состояния водного объекта** являются количественный и качественный состав гидробионтов и их биомасса. Фитопланктон является базисом всей трофической пи-

рамиды, т.е. производительно-функциональные характеристики определяют, как производительность всех последующих компонентов биоты, так и энергетические показатели экосистемы на входе.

Поскольку единственного гидробиологического показателя качества воды в настоящее время нет, то его определяют по совокупности гидробиологических показателей: зообентосом, перифитоном, зоопланктоном, фитопланктоном.

Зообентос характеризует изменение водной среды за длительный период времени. Изучение состояния зообентоса, отобранного в разных местах водоёма, позволяет получить интегральные оценки качества воды и степень загрязнения донных отложений. Основу перифитона составляют прикреплённые гидробионты, ракообразные, двустворчатые моллюски, губки, черви, водоросли. Перифитон используется для оценки усредненного качества воды водного объекта длительный период времени. Перифитон позволяет устанавливать факты загрязнения водного объекта даже в том случае, когда в момент наблюдения вода уже полностью очистилась.

Зоопланктон является достаточно надежным индикатором качества воды в малопроточных водоёмах, озерах, водохранилищах и прудах. Он используется для получения характеристики качества воды в пунктах наблюдения за относительно короткий период времени. Список гидробиологических показателей качества поверхностных вод определяется, главным образом, эколого-зональным типом водного объекта, составом и объёмом сточных вод, их токсичностью и требованиями потребителей воды. Определение гидробиологических показателей обязательны не для всех пунктов наблюдения.

4.6. Вопросы для самоконтроля

1. Назовите источники антропогенного загрязнения гидросферы.
2. Что такое мониторинг поверхностных вод, его цели и задачи?
3. Что такое пункт наблюдений за загрязнением поверхностных вод? Опишите схемы его размещения
4. Что такое створ пункта наблюдения?
5. Какие критерии выбора количества створов наблюдения?
6. Охарактеризуйте категории пунктов наблюдений за поверхностными водами.
7. Какие бывают программы по гидрологическим и гидрохимическим показателям?
8. Что такое шкала сапробности?
9. Охарактеризуйте гидробиологические показатели состояния водного объекта.

Глава 5. МОНИТОРИНГ ВОД МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

5.1. Мировой океан и источники его загрязнения

Самым крупным водоёмом на Земле является Мировой океан. Площадь Мирового океана составляет 70,8 % поверхности Земли, что в 2,5 раза превышает поверхность суши. Средняя глубина океана 3,8 км. Объем воды – 1370 млн км^3, что составляет 97 % всей воды на планете. Поэтому необходимо и важно рассмотреть экологическое состояние и мониторинг Мирового океана.

Мировой океан представляет собой географический объект со специфическим геологическим и геоморфологическим строением, геохимическими и физико-химическими процессами, которые протекают в толще воды и донных отложений. Он отличается особым характером обмена энергии и вещества при взаимодействии с атмосферой и дном, своим растительным и животным миром.

Роль Мирового океана в общей экологической системе Земли огромна. Он в значительной степени определяет водный баланс Земли, так как воды суши связаны с водами Мирового океана планетарным обращением влаги через атмосферу. Велико его значение и в поддержании стабильности газового состава атмосферы. Океан во многом определяет климат Земли. Взаимодействия между океаном и атмосферой отражают изменения, происходящие в системе климата. Океан поглощает свыше половины солнечного излучения, и поэтому он является основным поставщиком влаги и тепла в атмосферу. Кроме того, он является тепловым резервуаром или буфером, который снижает скорость происходящих в атмосфере долговременных изменений.

Человеческая деятельность в настоящее время грозит нарушить многие процессы в Мировом океане, что в свою очередь может привести к глобальным изменениям климата. Особенно сильное воздействие на все процессы оказывает загрязнение. Согласно Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде 1972 г., под **загрязнением моря** понимается введение человеком прямо или косвенно веществ, или энергии в морскую среду, влекущее такие вредные последствия, как ущерб живым ресурсам, опасность для здоровья людей, помехи в морской деятельности, включая рыболовство, ухудшение качества морской воды и уменьшение ее полезных свойств.

Источники загрязнения Мирового океана:

- сброс промышленных и хозяйственных вод непосредственно в море или с речным стоком;
- поступление с суши различных веществ, применяемых в сельском и лесном хозяйстве;
- преднамеренное захоронение в море загрязняющих веществ;

- утечки различных веществ в процессе судовых операций;
- аварийные выбросы с судов или подводных трубопроводов;
- разработка полезных ископаемых на морском дне;
- перенос загрязняющих веществ через атмосферу.

Из этих источников и указанными путями в океан поступают следующие наиболее опасные загрязняющие вещества:

- нефть и нефтепродукты;
- пестициды;
- синтетические поверхностно-активные вещества;
- соединения с канцерогенными свойствами;
- тяжелые металлы;
- техногенные радионуклиды.

Нефть представляет собой вязкую маслянистую жидкость, обычно имеющую темно-коричневый цвет и обладающую слабой флуоресценцией. Нефть содержит: 80 - 85 % углерода, 10 - 14 % водорода, 0,01 - 7 % серы, 0,01 % азота, 0 - 7 % кислорода. Пути поступления нефти в море многообразны: сбросы в море промывочных, балластных вод с судов, в том числе потери при транспортировке и перегрузке – 35 %; сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, ливневые стоки – 45 %; катастрофы судов и буровых установок – 10 %; поступление из природных источников – 5 %; поступление из неопределенных источников – 5 %.

Попадая в морскую среду, нефть растекается в виде пленки, образует пятна разной площади. Цвет пленки примерно дает информацию о её толщине. Различие оптических характеристик нефтяных пленок и морской воды позволяет дистанционно выявлять загрязнение нефтью. Для этого используются пассивные и активные дистанционные способы.

Пассивные методы используют природное излучение, отраженное или выпускаемое системой «нефть – вода». При использовании различных видов аппаратуры и фильтров наибольшая контрастность наблюдается в красной или голубой видимых частях спектра (в интервале 400 - 630 нм – максимальный контраст). К недостаткам пассивных методов относят зависимость от метеорологических условий. Активные способы используют искусственные источники излучения. К ним относят методы оптической локации (диапазон 300 - 400 нм и 1000 - 1200 нм).

Отходы из пластика - игрушки, посуда, бутылки и пакеты - попадают в океанские воды по сточным каналам и там под воздействием солнечной радиации распадаются на мельчайшие частицы, которыми, по оценкам ученых, покрыто сейчас 88 % площади Мирового океана. Проблема в том, что частицы пластика почти не подвергаются дальнейшему разложению со временем. Их воздействие на флору и фауну мало изучено, и не исключено, что это влияние может оказаться фатальным.

Океану свойственна естественная радиоактивность, обусловленная присутствием калия-40, рубидия-87, трития, углерода-14. Более 90 % ра-

диоактивности воды океана приходится на долю калия-40, что составляет $18,5x10^{21}$ Бк (беккерель – единица радиоактивности воды, равная одному акту распада в секунду).

Радиоактивные вещества техногенного происхождения – главным образом продукты урана и плутония начали поступать в Мировой океан с 1945 г., т.е. с начала испытания ядерного оружия. Выделяют три группы источников радиоактивных веществ:

1) испытание ядерного оружия;
2) сброс радиоактивных отходов;
3) аварии судов с атомными двигателями.

5.2. Цели и задачи мониторинга Мирового океана

В связи с необходимостью выявить неприродные изменения в структуре и функционировании морских экосистем, а также для нормирования антропогенных воздействий на океан возникла потребность в организации комплексного глобального мониторинга океана.

Этот мониторинг осуществляет Комитет ООН по окружающей среде (United Nations Environmental Programme — UNEP) в рамках нескольких международных программ, среди которых ведущая роль принадлежит Программе по региональным морям (Regional Seas Programme — RS). Программа создана в 1974 г. по решению Международной конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972 г.).

На международном уровне осуществляется программа RS, в которой принимают участие более 143 стран. Они работают по региональным планам, разработанным под эгидой ЮНЕП для 13 акваторий: Черное море, Средиземное море, Красное море и Аденский залив, Персидский залив, моря Карибского бассейна, Восточной Азии, Восточной Африки, Южной Азии, РОПМЕ, Северо-Восточной части Тихого океана, Северо-Западной части Тихого океана, Юго-Восточной части Тихого океана, Западной Африки.

Деятельность по региональным программам координируется региональными группами, расположенными в штаб-квартире (г. Найроби).

Научные исследования и разработку методических основ мониторинга морской среды выполняет Комитет по глобальному исследованию загрязнения морской среды (The Global Investigation of Pollution in the Marine Environment — GIPME).

Экологический мониторинг океана - это система анализа, оценки и прогноза состояния морских экосистем. Важной составляющей экологического мониторинга является биологический мониторинг морской среды, включающий систематические наблюдения за элементами функциональной структуры биоценозов с целью оценки и прогноза биологического компонента морских экосистем. Биологический мониторинг сочетается с

системой геохимического мониторинга, осуществляющего контроль над источниками и уровнями загрязнения морской среды. Физический мониторинг предназначен для анализа действия физико-океанографических и гидродинамических факторов, способствующих распространению и перераспределению загрязняющих веществ в морской среде.

Задачи экологического мониторинга Мирового океана

- выявление каналов поступления и оценка потоков загрязняющих веществ в экосистемах Мирового океана.

Решение этой задачи опирается на данные натурных наблюдений, позволяющие выявить основные источники поступления и каналы вывода загрязняющих веществ, оценить процессы самоочищения морской среды, рассчитать балансы загрязняющих веществ в отдельных регионах океана, описать динамику токсичных веществ в компонентах морских экосистем и изучить их биохимические циклы.

- изучение негативных последствий загрязнения экосистем Мирового океана. Современные представления об экологических последствиях загрязнения океана еще только складываются в основном на примерах изучения прибрежных районов. Обширные области Мирового океана практически не охвачены подобными исследованиями. Задача состоит в том, чтобы на фоне естественных колебаний свойств морских экосистем выявить те изменения, которые определяются антропогенными факторами.

- изучение причинно-следственных связей между уровнями накопления загрязняющих веществ и наблюдаемыми экологическими изменениями. Определение критических концентраций загрязняющих веществ, которые могут вызвать нарушения биологических процессов.

В настоящее время отсутствует необходимая информация о причинно-следственных связях между концентрацией загрязняющих веществ и нарушениями в морских экосистемах. Потребность в этой информации вызывается необходимостью определения критических концентраций загрязняющих веществ, незначительное превышение которых при воздействии на некоторый вид или группу организмов может привести к необходимому снижению устойчивости всей экосистемы.

- изучение физических, химических и биологических процессов, определяющих ассимиляционную ёмкость, и оценка ассимиляционной ёмкости морских экосистем в наиболее изученных районах Мирового океана.

Морские экосистемы обладают широким спектром физических, химических и биологических механизмов, посредством которых загрязняющие вещества могут быть выведены без серьезных нарушений биологического цикла. Но когда концентрация загрязняющих веществ в среде достигает уровня, превосходящего ассимиляционную ёмкость экосистемы, они начинают влиять на выживаемость, рост, размножение гидробионтов. Определение ассимиляционной ёмкости необходимо для нормирования внешних воздействий.

- создание математических моделей отдельных экологических процессов для прогноза экологической ситуации в океане в локальном, региональном и глобальном масштабах.

Предсказание изменения природных экосистем, их состава, структуры, степени устойчивости к внешним воздействиям является одной из важнейших задач морских экологических исследований. Подобные предсказания возможны на основе математического моделирования поведения экосистем с учетом внутренних и внешних связей. Создание таких моделей — важная и ответственная задача для учёных.

5.3. Принципы организации мониторинга Мирового океана

Основные принципы организации мониторинга Мирового океана:

1. Комплексность выполнения химических (в атмосфере, воде, взвесях, грунтах), гидробиологических, гидрологических и метеорологических наблюдений на станциях, организация наблюдений из космоса.

2. Прослеживание динамики уровней загрязнения морских вод путём проведения длительных систематических наблюдений за фоновыми концентрациями загрязняющих веществ в наиболее удалённых от мест загрязнения районах. Такие наблюдения организованы на судовых станциях и в нескольких морях.

3. Прослеживание переноса загрязняющих веществ посредством организации наблюдений на океанографических разрезах в основных циркуляционных системах Мирового океана.

4. Сопряженность геохимического мониторинга загрязнения вод океана с биологическим мониторингом влияния загрязнения на морские организмы.

Мониторинг вод Мирового океана состоит из трех составляющих: мониторинга абиотических показателей среды, мониторинга факторов воздействия и мониторинга источников воздействия.

Пункты наблюдений за качеством морских вод подразделяются на 3 категории:

- пункты 1-й категории размещаются в прибрежных районах, имеющих принципиальное хозяйственное значение: зоны проживания и отдыха населения; в портах и припортовых акваториях, в местах нереста ценных и промысловых рыб; местах сброса сточных вод в устьях больших рек; в местах разведки, добычи, разработки и транспортировки полезных ископаемых.

- пункты 2-й категории устанавливаются для исследования сезонной и годовой изменчивости уровня загрязнения морских вод и располагаются в местах, где поступление загрязняющих веществ происходит за счет миграционных процессов.

- пункты 3-й категории устанавливаются в районах открытого моря и предназначены для исследования годовой изменчивости загрязнения морских вод и для расчета баланса загрязняющих веществ. Эти пункты располагаются в районах с наиболее низкой концентрацией загрязняющих веществ.

Место расположения вертикалей и горизонтов, их количество на каждом пункте определяются расположением и мощностью источников загрязнения, составом, концентрацией и типом загрязняющих веществ. Наблюдение осуществляют по одной из двух программ – сокращенной или полной.

Программа наблюдений за качеством морской воды по гидробиологическим показателям является дополнением программы по физико-химическим показателям. Эти две программы позволяют дать завершенную оценку качеству воды. В пунктах 1-й категории по сокращенной программе наблюдения осуществляются 2 раза в месяц (1 и 3 декада), по полной – 1 раз в месяц (2 декада). В пунктах 2-й категории наблюдения проводятся 5 - 6 раз в год по полной программе. В пунктах 3-й категории – наблюдение проводят 2 - 4 раза в год по полной программе.

Сокращенная программа наблюдений за качеством морских вод по гидробиологическим показателям включает:

1. Фитопланктон:
- общая численность клеток (клеток/л);
- видовой состав (число и список видов).
2. Зоопланктон:
- общая численность организмов (экз./м^3);
- видовой состав (число и списки видов).
3. Микробные показатели:
- общая численность микроорганизмов (клеток/мл);
- количество сапрофитных бактерий (клеток/мл);
- концентрация хлорофилла фитопланктона (мкг/л).

Полная программа (включает сокращенную программу, а также следующие показатели):

1. Зоопланктон:
- общая биомасса (мг/м^3);
- численность основных групп и видов (экз./м^3);
- биомасса основных групп и видов (мг/м^3).
2. Фитопланктон:
- общая биомасса (г/м^3);
- видовой состав, число и список видов;
- количество основных систематических групп.
3. Микробные показатели:
- общая биомасса (мг/л);

- количественное распределение индикаторных групп морской микрофлоры - сапрофитные, нефтеокисляющие, фенолокисляющие бактерии (клеток/мл);

- интенсивность фотосинтеза фитопланктона.

Станции I, II и III категории могут быть береговыми и судовыми.

5.4. Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте источники загрязнения Мирового океана.
2. Назовите цели и задачи мониторинга Мирового океана.
3. Назовите основные принципы организации мониторинга Мирового океана.
4. Категории пунктов наблюдений за качеством морских вод.
5. Сокращенная программа наблюдений.
6. Полная программа наблюдений.

Глава 6. МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И НЕДР

6.1. Влияние хозяйственной деятельности на формирование режима подземных вод

Имеющиеся результаты наблюдений показывают, что подземные воды, так же, как и другие природные среды (атмосфера, поверхностные и морские воды, почвы), наряду с воздействием естественных природных процессов всё большее влияние испытывают со стороны деятельности человека.

В последние годы в сферу интенсивного использования совместно с подземными водами вовлекаются глубокозалегающие водоносные горизонты. Влияние антропогенной деятельности на подземные воды в первую очередь проявляется в изменении их режима и изменении их физических, химических, биологических свойств по сравнению с их естественным состоянием. Несовершенная хозяйственная деятельность приводит зачастую к снижению уровней, истощению, загрязнению и засолению подземных хозяйственно-питьевых вод, что делает эту воду частично или полностью непригодной для использования и может привести к серьёзным экономическим и экологическим последствиям. Одним из основных отрицательных последствий антропогенного воздействия на подземные воды является их загрязнение.

Под **загрязнением подземных вод** понимаются такие изменения их свойств (химических, физических, микробиологических, органических) по сравнению с естественным состоянием, которые делают подземные воды частично или полностью непригодными для хозяйственного использования.

Характеристика уровня загрязнения подземных вод включает оценку интенсивности загрязнения подземных вод, т.е. степени отклонения содержания загрязняющих компонентов от их предельно допустимых концентраций.

Можно выделить две основные **степени загрязнения подземных вод**:

1) содержание загрязняющих веществ выше фонового и продолжает возрастать, но остается ниже предельно допустимых концентраций (ПДК);

2) содержание загрязняющих веществ выше ПДК. Эту степень в первую очередь можно разделить на градации; 1 - 10,10 - 100 и более 100 ПДК.

Различают следующие основные **типы загрязнения подземных вод**: химическое, микробное, тепловое, радиоактивное.

Химическое загрязнение проявляется в увеличении общей минерализации подземных вод относительно фоновой, возрастании концентраций отдельных макро- и микрокомпонентов, появлении в подземных водах

несвойственных им специфических минеральных и органических соединений. Наиболее характерными и частыми компонентами химического загрязнения подземных вод являются: хлор, сульфаты, аммоний, нитриты, нитраты, железо, кальций, магний, сероводород, нефть, нефтепродукты, фенолы, фтор, медь, свинец, цинк, ртуть, хром, различные органические соединения.

Тепловое загрязнение обусловлено теплообменными сбросными водами и нагретыми стоками, что приводит к повышению температуры подземных вод. Сопутствующими процессами теплового загрязнения могут быть: уменьшение содержания кислорода в воде, изменение её химического состава, появление микрофлоры, цветение воды и увеличение содержания в воде микроорганизмов.

При этом если в подземных водах имеются органические вещества, то при повышенной температуре происходит бурное развитие местных бактерий. Они выделяют ферменты, выступающие катализаторами химических реакций, в ходе которых сложные органические вещества трансформируются в более простые вплоть до полной минерализации с образованием нетоксичных веществ: воды, двуокиси углерода, нитратов, фосфатов. Таким образом, происходит изменение химического состава подземных вод.

При высокой температуре создаются условия для сохранения попавших в подземные воды патогенных бактерий и вирусов: кишечных палочек, энтерококков и многих других.

Радиоактивное загрязнение связано с повышенным содержанием в воде радиоактивных веществ. Радиоактивные загрязняющие вещества характеризуются широким диапазоном полураспада: от нескольких и даже десятков лет (тритий, кобальт-60, стронций-90 и др.) до нескольких часов и дней (фосфат-32, цирконий-95, натрий-24, йод-131 и др.).

В соответствии с ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод» в **перечень источников загрязнения подземных вод** включаются:

- места хранения и транспортирования промышленной продукции и отходов производства;
- места аккумуляции коммунальных и бытовых отходов;
- сельскохозяйственные и другие угодья, на которых применяются удобрения, пестициды и другие химические вещества;
- загрязнённые участки поверхностных водных объектов, питающие подземные воды;
- загрязнённые участки водоносного горизонта, естественно или искусственно связанные со смежными водоносными горизонтами;
- участки инфильтрации загрязненных атмосферных осадков;
- промышленные площадки предприятий, поля фильтрации, буровые скважины и другие горные выработки. Загрязняющие вещества, попавшие

в водоносный горизонт, перемещаются по направлению естественного потока подземных вод и в сторону водозаборных сооружений.

Очень существенно влияние атмосферы на изменение состава подземных вод. Это вызвано огромными техногенными выбросами веществ в атмосферу, их переносом на большие расстояния и выпадением на поверхность земли в виде аэрозолей (пыли) и осадков.

6.2. Режимные наблюдения подземных вод

Мониторинг подземных вод и геологической среды осуществляет Федеральный орган исполнительной власти, который реализует государственную политику в сфере геологического изучения и рационального использования недр во взаимодействии с другими специально уполномоченными органами государственной власти в области охраны окружающей природной среды и природопользования.

На сети гидрогеологических скважин проводят наблюдения:

- за уровнем, дебитом и температурой подземных вод;
- напором и химическим составом воды;
- водно-физическими характеристиками водовмещающих пород и водоупоров.

Согласно Порядку осуществления государственного мониторинга состояния недр вся сеть делится:

1) на опорную государственную сеть;

2) ведомственные, муниципальные и локальные (объектные) сети.

Сеть является комплексной, многоцелевой и используется для решения следующих задач:

- составление прогнозов режима подземных вод;
- расчеты элементов баланса, оценки закономерностей режима подземных вод;
- контроль за развитием депрессионных воронок и качества подземных вод на водозаборах;
- изучение влияния мелиоративных мероприятий на изменение гидрогеологических условий;
- изучение влияния урбанизации на изменение гидрогеологических условий;
- изучение режима подземных вод в зонах влияния разработок месторождений твердых полезных ископаемых и др.

Глубина забоя наблюдательных скважин обычно невелика. Примерно три четверти скважин имеют глубину до 20 м, лишь 3 % глубиной более 100 м.

Главными задачами опорной сети наблюдения являются:

1) изучение региональных закономерностей режима, баланса, химического состава и качества подземных вод, формирующихся под влиянием

природных факторов и антропогенных воздействий регионального распространения;

2) организация систематических наблюдений и контроль за состоянием загрязнения и истощения подземных вод региона;

3) анализ и обобщение получаемой информации с целью оценки состояния подземных вод, определения степени антропогенного воздействия, выявления и оценки региональных факторов и источников, влияющих на режим, ресурсы и качество подземных вод региона, и составления региональных гидрогеологических прогнозов;

4) разработка рекомендаций по охране подземных вод и рациональному использованию подземных водных объектов региона.

К первоочередным гидрогеологическим объектам наблюдений относятся:

- разведанные и прогнозные участки месторождений подземных вод;
- водоносные горизонты, перспективные для хозяйственного водоснабжения;
- районы планируемого хозяйственного освоения, где целесообразно предварительное изучение регионального режима подземных вод (районы крупного водохозяйственного строительства, крупные нефтегазовые месторождения, магистральные нефте- и газопроводы, участки мелиоративных работ, промышленные комплексы);
- водные объекты, не испытывающие локального техногенного воздействия, но располагающиеся в пограничной области к участку с нарушенным режимом подземных вод.

Наблюдения организуются на створах скважин. При этом скважины охватывают основные водоносные горизонты, используемые для питьевого водоснабжения (максимум до нескольких сот метров). Изучаются грунтовые и артезианские воды.

Частота наблюдений за уровнем подземных вод должна быть такой, чтобы наблюдения фиксировали различные колебания уровня воды (эпизодические, суточные, годовые и многолетние), колебания, связанные с нарушением режима подземных вод различными искусственными факторами.

Обычно наблюдения проводят 10 раз в месяц (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 и 30 числа), а замеры уровня напорных вод – 5 раз в месяц (6, 12, 18, 24 и 30 числа). В период паводков, снеготаяния, ливневых продолжительных дождей на выборочных скважинах наблюдения могут проводиться ежедневно или даже 2-3 раза в день.

Гидрохимические наблюдения проводятся по общей программе и включают:

- органолептические показатели (вкус, запах, цветность);
- содержание главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-});

- минерализация воды (сумма всех найденных при химическом анализе минеральных веществ по вычисленному сухому остатку);

- содержание наиболее распространенных нормируемых элементов, характеризующих одновременно естественный фон и уровень загрязнения (железо, марганец, фтор, стронций);

- соединения азота (нитратов, нитритов, аммония).

Наблюдения за режимом химического состава подземных вод рекомендуется производить два раза в год в период низкого и высокого положения уровня. Это могут быть периоды предвесеннего минимума или летне-осеннего спада в первом случае и весеннего максимума — во втором. Такая частота будет достаточной и для установления факта загрязнения по площади и по глубине. При обнаружении на изучаемом объекте загрязняющих веществ на уровне выше ПДК частота отбора проб увеличивается независимо от категории станции до четырех раз в год. Наблюдения могут проводиться ежеквартально или в характерные в режиме подземных вод периоды (предвесенний и летне-осенний – минимальные и весенний, и осенний – максимальные уровни). При обнаружении загрязнений, превышающих ПДК, необходимо продублировать отбор проб и выполнить повторный анализ по этому загрязняющему веществу.

Для грунтовых вод при мощности водоносного горизонта более 5 - 10 м отбор проб необходимо проводить с двух уровней - в верхней части и на уровне фильтра.

Задачами **ведомственных, муниципальных и локальных (объектных) наблюдений** являются:

1) систематические наблюдения и своевременное обнаружение истощения и загрязнения подземных вод;

2) оценка масштабов и направленности гидрогеодинамических процессов и современного загрязнения подземных вод, изучение развития области загрязнения подземных вод во времени и по площади;

3) прогноз изменений уровней и процесса загрязнения подземных вод, изучение движения загрязняющих веществ в подземных водах и подготовка на этой основе предложений по водоохранным мероприятиям;

4) изучение миграции загрязняющих веществ в подземных водах и определение миграционных параметров по наблюдениям за динамикой области загрязнения.

В районах промышленных объектов (источников загрязнения) наблюдательная сеть наращивается от источника загрязнения, в районе водозабора – от границы области загрязненных или некондиционных вод по направлению к водозабору. Так как в районе промышленных объектов основная нагрузка поступающими с поверхности земли загрязняющими веществами падает на грунтовые воды, то наблюдательные скважины оборудуются преимущественно на грунтовые воды.

Наряду с созданием наблюдательной сети на участках источников загрязнения (промышленных и сельскохозяйственных объектах) и участках водозаборов необходимо создать наблюдательную сеть в пределах отдельных населенных пунктов (городов), так как источниками загрязнения подземных вод являются не только промышленные объекты, но и населенный пункт в целом.

6.3. Государственный мониторинг состояния геологической среды (недр)

В соответствии с приказом от 21 мая 2001 года N 433 Министерства природных ресурсов Российской Федерации «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации» **государственный мониторинг состояния недр** (далее - ГМСН) представляет собой систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза её изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования и других видов хозяйственной деятельности. ГМСН является составной частью (подсистемой) комплексной системы мониторинга окружающей природной среды.

В составе ГМСН выделяются следующие подсистемы:

- мониторинг подземных вод;
- мониторинг опасных экзогенных геологических процессов;
- мониторинг опасных эндогенных геологических процессов;
- мониторинг месторождений углеводородов;
- мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых;
- мониторинг участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых;
- мониторинг участков недр, испытывающих воздействие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием;
- мониторинг геологической среды континентального шельфа.

Государственный мониторинг состояния недр осуществляется Федеральным агентством по недропользованию в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Информационной основой осуществления ГМСН являются сведения о состоянии недр, полученные при выполнении геологоразведочных, горнодобывающих и всех других видов работ, связанных с государственным геологическим изучением и использованием недр, и данные по наблюдательным пунктам, объединяемым в государственную опорную, ведомственные, муниципальные и локальные (объектные) наблюдательные сети. Пункты наблюдений, участки и полигоны государственной опорной сети размещаются на площадях как с естественным, так и с нарушенным состоянием недр.

Организации вне зависимости от ведомственной принадлежности и форм собственности, выполняющие геологоразведочные, горнодобывающие и другие виды работ, связанные с изучением и использованием недр, передают данные о состоянии недр в систему мониторинга.

Геологическая среда (ГС) в пределах урбанизированных территорий характеризуется появлением искусственных грунтов, значительной закрытостью поверхности жестким покрытием и зданиями. Появляются особенные геофизические и геохимические поля, влияющие на состояние ГС и условия существования живых организмов и человека.

Функции ГС рассматриваются с позиций эволюции и жизнеобеспечения биоты и, главным образом, человеческого общества. Выделяют три основных подхода к оценке экологического состояния территорий:

– путем прямых количественных оценок компонентов ГС (геологические породы, подземные воды, почвы и т.п.) по сравнению с ПДК, фоновыми значениями и т.п.;

– ранжированием территории по техногенной нагрузке (неизмененные, слабо-, средне-, сильно-, очень сильно и катастрофически измененные);

– по оценке роли «геологической матрицы» ГС в современном состоянии экосистем.

Выделяют **уровни природно-антропогенных нарушений**:

1. *Зона экологической нормы* включает в себя территории без заметного снижения производительности и устойчивости экологической среды, её относительной стабильности. Значения прямых критериев ниже ПДК или фоновые значения. Деградация земель составляет менее 5 % территории.

2. *Зона экологического риска* включает в себя территории с заметным снижением производительности и устойчивости экологической среды, что ведёт к их спонтанной деградации. Территория требует мер по улучшению экологических условий. Значения прямых критериев превышают ПДК. Деградировано 5 - 20 % земель.

3. *Зона экологического кризиса* включает в себя территории с сильным снижением производительности и утратой устойчивости экологической среды. Возможно ограниченное хозяйственное использование территории с применением мер по улучшению экологических условий. Значения прямых критериев существенно превосходят ПДК. Деградировано 20 - 50 % земель.

4. *Зона экологического бедствия* включает в себя территории с полной потерей производительности и устойчивости экологической среды, исключающие возможность ее хозяйственного использования. Значение прямых критериев в десятки раз превышают ПДК. Деградировано более 50 % земель.

Для оценки эколого-геологических условий используются прямые и индикаторные критерии, которые по характеру оценки подразделяются на ресурсную, геодинамическую, геохимическую и геофизическую группы.

Прямые критерии оценки эколого-геологических условий в рамках этих групп регламентируются нормативно-директивными документами и соотносятся по отношению к ПДК, ПДВ, ПДС, ПДН, или к фону и кларковому значению.

Индикаторные критерии оценки эколого-геологических условий включают в себя:

1) в ресурсной группе – остаточные запасы на основе достигнутого уровня потребления (количество лет);

2) в геодинамической группе – плоскостные, объёмные и динамические, а также медико-санитарные, ботанические и зоологические;

3) в геохимической группе – показатели оценки степени загрязнения литосферы;

4) в геофизической группе – критерии оценки радиационного загрязнения и т.д.

6.4. Вопросы для самоконтроля

1. Загрязнение подземных вод и его типы.
2. Главные задачи опорной сети наблюдений.
3. Задачи ведомственных, муниципальных и локальных (объектных) наблюдений.
4. Первоочередные гидрогеологические объекты наблюдений.
5. Государственный мониторинг состояния недр.
6. Уровни природно-антропогенных нарушений геологической среды.

Глава 7. МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ПОЧВ

7.1. Источники и виды деградации почв

Почва – это особое органоминеральное природное образование, возникшее вследствие воздействия живых организмов на минеральный субстрат, разложения мертвых организмов; за счет воздействия природных вод и атмосферного воздуха на поверхностные горизонты горных пород в различных условиях климата, рельефа в гравитационном поле Земли.

Наиболее интенсивным путем переноса загрязнений, попадающих на почву, может быть перенос с атмосферным воздухом в случае попадания загрязнений из почвы в атмосферу из-за испарения или вместе с пылью. Другим относительно быстрым путём распространения загрязнителей является смыв их сточными водами. Но далеко не все эти механизмы переноса играют существенную роль в загрязнении почвы. Под влиянием физико-химических факторов и в результате деятельности микроорганизмов происходит разложение загрязняющих веществ органического состава.

Деградация почв – совокупность процессов, обусловленных деятельностью человека, уменьшающих их плодородие. Различают физические, химические и биологические виды деградации. Причинами деградации почв являются: эрозия, нарушение правил агротехники, уничтожение лесов, чрезмерное использование средств химизации, кислотные осадки и т.д.

Опустынивание – в широком смысле это процесс ухудшения и понижения продуктивности территорий, который происходит в любых климатических условиях, а его интенсивность зависит от понижения водного и повышения теплового режима. Важной причиной опустынивания является антропогенное воздействие без учета взаимосвязи природных компонентов (рельефа, почвы, растительного и животного миров), формирующих биологическую продуктивность территории и устойчивость к воздействию внешних факторов.

Засоление влечет за собой полное или частичное изъятие почв из активного сельскохозяйственного использования или уменьшение их продуктивности. Основная причина – непомерный, бессистемный полив при отсутствии дренажа. Повторное засоление - неглубоко залегающие минерализованные грунтовые воды, поднимаясь капиллярами грунта и улетучиваясь, оставляют соли у поверхности; при чрезмерном поливе происходит подъём грунтовых вод, заболачивание и засоление грунта солями, растворенными в этих водах. Не менее 50 % площадей всех орошаемых земель в мире засолено.

Также происходит отчуждение земель для строительства путей, промышленных предприятий, жилья, коммуникаций, расширения городов.

7.2. Государственный мониторинг земель

Мониторинг земель (кроме земель сельскохозяйственного назначения) осуществляется силами Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр РФ). Согласно Земельному кодексу РФ (ст. 67) государственный мониторинг земель является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) и представляет собой систему наблюдений за состоянием земель. Объектами государственного мониторинга земель являются все земли в Российской Федерации.

Задачами государственного мониторинга земель являются:

1) своевременное выявление изменений состояния земель, оценка этих изменений, прогноз и выработка рекомендаций о предупреждении и об устранении последствий негативных процессов;

2) информационное обеспечение государственного земельного надзора, иных функций государственного и муниципального управления земельными ресурсами, а также землеустройства;

3) обеспечение граждан информацией о состоянии окружающей среды в части состояния земель.

Государственный мониторинг земель включает:

1) сбор информации о состоянии земель, её обработку и хранение;

2) непрерывное наблюдение за использованием земель исходя из их целевого назначения и разрешенного использования;

3) анализ и оценку качественного состояния земель с учетом воздействия природных и антропогенных факторов.

Сбор информации о состоянии земель и непрерывное наблюдение за использованием земель осуществляется с использованием:

- дистанционного зондирования (съёмки и наблюдения с космических аппаратов, самолетов, с помощью средств малой авиации и других летательных аппаратов);
- сети постоянно действующих полигонов, эталонных стационарных и иных участков, межевых знаков и т.п.;
- наземных съёмок, наблюдений и обследований (сплошных и выборочных).

Сбор информации осуществляется исходя из единой системы показателей государственного мониторинга земель.

В зависимости от срока и периодичности проведения работ по сбору информации данные мониторинга земель делятся на:

- базовые (данные о состоянии земель на момент начала ведения мониторинга);
- периодические (данные о состоянии земель за определенный период);
- оперативные (данные о состоянии земель на текущий момент).

К **данным о состоянии и использовании земель** относятся:

- описание местоположения земельных угодий;
- площадь земельных угодий;
- вид земельных угодий (пашня; многолетние насаждения; сенокосы и пастбища; земли под древесно-кустарниковой растительностью; лесные земли; земли под застройкой; земли под дорогами, коммуникациями, улицами, площадями; земли под водой; болота; нарушенные земли; прочие земли);
- степень развития негативного процесса на землях, подверженных линейной эрозии (слабая, средняя, сильная, очень сильная);
- степень развития негативного процесса на землях, подверженных опустыниванию (слабая, средняя, сильная, очень сильная);
- степень развития негативного процесса на подтопленных землях (слабая, средняя, сильная);
- степень развития негативного процесса на захламленных землях (слабая, средняя, сильная);
- степень развития негативного процесса на землях, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- степень развития негативного процесса на землях, загрязненных нефтью и нефтепродуктами (умеренно опасная, опасная, чрезвычайно опасная);
- степень развития негативного процесса на землях, загрязненных тяжелыми металлами (умеренно опасная, опасная, чрезвычайно опасная);
- степень развития негативного процесса на землях, загрязненных средствами химизации сельского хозяйства (умеренно опасная, опасная, чрезвычайно опасная).

При обработке информации о состоянии земель осуществляются анализ и оценка качественного состояния земель с учетом воздействия природных и антропогенных факторов. При этом осуществляются выявление изменений и оценка:

- состояния землепользований, угодий, участков;
- соответствия фактического использования земель установленному использованию;
- процессов, вызванных образованием оврагов, оползнями, селевыми потоками, землетрясениями, карстовыми, криогенными и другими негативными явлениями.

Оценка качественного состояния земель выполняется путем анализа ряда последовательных наблюдений и сравнения полученных данных с нормативными показателями.

Мониторинг земель осуществляется с применением методов: дистанционного зондирования (космические съёмки, съёмки с самолетов и др.), наземных съёмок и наблюдений, фондовых данных. При этом проводятся наблюдения за плоскостным смывом верхнего слоя почвы, дефляци-

ей земель, овражной эрозией, деградацией и опустыниванием пастбищ, деградацией лесов, вырубками, гарями, нарушением земель предприятиями минерального сырьевого комплекса и т.д.

Наблюдения за дефляцией почв включают:

- определение слоя выдутой почвы по обнаженным за время бури стеблям и корням. Наблюдения проводятся на полях безлесных полос или в точках, удаленных от лесной полосы с наветренной стороны на 50 м;

- определение слоя выдутой почвы путем нивелировок от реперов. Нивелировки проводят после пыльных бурь, регулярно через 2 - 5 лет. В этом случае отбирают пробы на содержание гумуса;

- распространение ареалов дефляции после пыльных бурь.

Большое значение при нарушении земель имеет овражная эрозия. Для *оценки овражной эрозии* выполняются следующие работы:

1) по сведениям о распространении оврагов намечают районы, где целесообразно провести натурные исследования;

2) прогнозирование возможного развития оврагов при современном и будущем уровне хозяйствования;

3) проведение инвентаризации оврагов;

4) проведение полевых работ (съемки, обмеры) по определению темпа роста оврагов;

5) определение темпов аккумуляции эрозионного материала путем нивелировок по поперечникам после снеготаяния, летних ливней и осенью. Поперечники намечают через 5 - 20 м;

6) определение прироста овражности с периодичностью один раз в 5 лет.

7.3 Организации наблюдений за уровнем химического загрязнения почв

Нормативы содержания химических веществ в почве с учетом вредного воздействия этих веществ на здоровье человека впервые стали разрабатываться ещё в СССР. Основное количество химических веществ из почвы поступает в организм человека не прямым путем, а пищевыми цепочками: почва-растение-человек, почва-растение-животное-человек, почва-вода-человек, почва-атмосферный воздух-человек.

Отрицательные последствия антропогенного загрязнения почв уже проявляются на региональном и даже глобальном уровнях. Поэтому разработка программ наблюдений и оценок состояния почв вследствие антропогенного загрязнения актуальна.

Задачи наблюдений за химическим составом почв:

1) регистрация современного уровня химического загрязнения, выявление географических закономерностей и динамики временных измене-

ний загрязнения в зависимости от расположения и технологических параметров источников загрязнения;

2) оценка возможных последствий загрязнения и прогнозирование тенденций изменения химического состава почв в ближайшем будущем;

3) обоснование состава и характера мер по регулированию возможных негативных последствий в результате загрязнения и мер, направленных на коренное улучшение состояния уже загрязненных почв;

4) обеспечение заинтересованных организаций информацией об уровне загрязнения.

Исходя из этих задач, можно выделить следующие виды наблюдений:

– режимные или систематические наблюдения;

– комплексные наблюдения, включающие исследование процессов миграции загрязняющих веществ в системах: воздух - почва, почва - растение, почва - вода и грунт - донные отложения;

– изучение вертикальной миграции загрязняющих веществ;

– наблюдение за уровнем загрязняющих веществ в определенных пунктах.

При организации мониторинга грунтов необходимо учитывать *особенности гидромелиоративного строительства*, к которым относятся:

– большие осваиваемые площади территорий при сравнительно малой мощности техногенного мелиоративного профиля;

– тесная зависимость почвенно-мелиоративных условий территории от инженерно-геологических и гидрогеологических условий;

– практически полное отсутствие возможности выбора геологических условий на территориях, где производится мелиорация.

При мелиоративном освоении земель происходят три основные группы изменений почвенной среды:

– изменения, связанные с регулированием и перераспределением речного стока для гидромелиорации (в результате осушения природных водоемов, затопления и подтопления территорий, переработки берегов при создании водоема, аккумуляции ирригационных осадков);

– изменения, связанные с ведением собственно орошаемого земледелия (водно-солевого баланса пород зоны аэрации, режима и запасов подземных вод под орошаемыми полями, подтоплением и заболачиванием территорий, вторичным засолением почв и т.д.);

– изменения, сопровождающие гидромелиорацию, и связанные с ней косвенно.

7.4. Мониторинг почв

Для оценки изменения структуры почвы, её плодородия и загрязнения отбирают образцы на ключевых участках и пробных площадях. Распо-

ложение участков и глубина взятия образцов зависят от определяемых ингредиентов и видов землепользования. При этом выделяют контроль загрязнения почв:

- пестицидами;
- тяжелыми металлами;
- нефтепродуктами;
- радиоактивными веществами.

Пестициды — общепринятое в мировой практике собирательное название химических веществ, применяемых для защиты растений: от насекомых – инсектициды; от сорной растительности – гербициды; от грибных болезней – фунгициды; для удаления листьев – дефолианты. Попадают в почву разными путями (внесение, протравливание семян, с осадками и т.д.).

Для определения загрязнения почвы пестицидами образцы почвы отбираются на сельскохозяйственных полях под разными культурами два раза в год: весной – после схода снега, осенью – после уборки урожая. Один раз в 5 лет проводят повторное обследование. В хозяйстве обследуются 3 - 5 полей под основными культурами.

Образцы отбирают:

- в лесной зоне с разнообразным почвенным покровом на площади 1 - 3 га;
- в лесостепной зоне – 3 - 5 га;
- в степной – 10 - 20 га,

Делают пробную площадку 100 х100 м, причём она должна находиться не менее чем в 100 м от края поля. Составляют смешанный образец, который складывается из 20 кернов. Керн берут буром (укалывают почву) на глубину пахотного горизонта. На поле делают до 15 - 20 площадок в зависимости от размера поля. Отобранную почву ссыпают на бумагу, разравнивают и делят на 4 части, затем 2 части отбрасывают. Снова разравнивают, делят на 6 частей и из центра берут 2 части так, чтобы вес образца не превышал 0,5 кг. Образец ссыпают в полотняный мешочек и снабжают этикеткой. После доставки в лабораторию образцы просушивают до воздушно-сухого состояния, чтобы не происходило фотохимического разложения пестицидов.

Отбор проб для определения глобального загрязнения пестицидами берётся в буферной зоне заповедных территорий. В буферных зонах закладываются почвенно-геохимические профили. С каждого профиля отбирают смешанный образец. Профили закладывают так, чтобы каждые 10 га раз в 5 лет освещались данными наблюдений. За каждый год составляются обзоры с включением различных таблиц содержания пестицидов в почве.

Отбор проб для определения загрязнений **тяжёлыми металлами** промышленного происхождения производится один раз в год в летний период. Как правило, выбирают почвы, занятые культурными растениями.

Пробы отбираются вокруг промышленных центров по четырём румбам на расстоянии 1, 2, 3, 5 и 10 км. Один раз в 5 лет пробы берут по восьми румбам на расстоянии 0,5; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 15; 20; 30 и 50 км. Положение точек сначала отмечают на карте. Методика отбора проб та же, что и в предыдущем случае.

Таким же образом отбирают пробы растений на тех же участках, что и пробы почвы с площади 2 га методом конверта. Всего отбирают 5 проб. Растения выкапывают с корнями. Очищают корни от почвы. Отрезают корни и складывают в отдельный мешок, листья и стебли заворачивают в бумагу. Затем высушивают то и другое до воздушно-сухого состояния и проводят анализы.

В случае загрязнения почв **нефтепродуктами** загрязнёнными считаются почвы, когда:

- нарушается экологическое равновесие в почвенной системе;
- происходит изменение морфологических, физико-химических характеристик;
- изменяются водно-физические свойства почв;
- создается опасность загрязнения грунтовых вод.

В зависимости от типа почвы допустимые концентрации привнесённых нефтепродуктов не должны превышать 50 г/кг.

Главные загрязнители: нефтепромыслы, нефтепроводы, нефтеперерабатывающие предприятия, нефтехранилища, наземный и водный транспорт.

В районах действия этих источников закладывают серии почвенных разрезов, которые объединяются в систему профилей. Закладываются профили по направлению движения нефтепродуктов от источника, Минимальное количество профилей – 3, минимальное количество разрезов – по 3 в каждом профиле и 3 разреза фоновых.

На выбранном для разреза участке очерчивается прямоугольник длиной 130 - 180 см и шириной 70 - 75 см, т.е. план будущего разреза. Прямоугольник располагают с таким расчетом, чтобы лицевая стенка разреза, подлежащая изучению и описанию, была обращена к моменту окончания копки разреза к солнцу; на противоположной стороне делают ступеньки. Основные почвенные разрезы закладывают на глубину 2 - 2,5 м с таким расчетом, чтобы вскрыть все почвенные горизонты и верхнюю часть подстилающей (материнской) породы.

Положение точек заложения разрезов и отбора образцов почв вначале намечаются на карте, затем уточняются на месте.

При описании разреза указываются его номер, дата, кем сделано описание, местоположение разреза и его привязка на местности, тщательно описывается общий рельеф, мезо-, микро- и нанорельеф, положение разреза относительно рельефа, растительность, почвообразующая порода, глу-

бина появления грунтовых вод, глубина. Места заложения разрезов фиксируются на карте.

Общее количество проб определяется сложностью строения вертикального профиля почв и рыхлых отложений, глубиной проникновения загрязнителя. Для полной характеристики процессов вне зоны мерзлоты в среднем из разреза отбирается 8 - 10 проб, в северных мерзлотных ландшафтах – 5-7 проб.

Переднюю стенку разреза очищают чистой лопатой и выделяют генетические горизонты. Образцы берут в виде отдельного куска (кирпичика) из середины горизонта (стараясь сохранить естественное сложение почвы), размером 10 х10 см.

7.5. Вопросы для самоконтроля

1. Почва, источники и виды её деградации.
2. Задачи государственного мониторинга земель.
3. Что относится к данным о состоянии и использовании земель?
4. Задачи наблюдений за химическим составом почв.
5. Определение загрязнения почвы пестицидами.
6. Определение загрязнения почвы тяжелыми металлами.

Глава 8. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВИДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

8.1. Глобальный фоновый мониторинг

Рост выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, загрязнение рек, озёр, океанов и почв в результате процесса индустриализации и урбанизации ведет к увеличению содержания примесей на значительном расстоянии от источников загрязнения.

Возникает необходимость в фоновом (т.е. не подверженном местным влияниям) мониторинге. Фоновым может быть мониторинг города, когда определяются вредные примеси в городе, без учета влияния местных, локальных источников. Может определяться фоновое содержание ингредиентов в реке и т.д.

Первые шаги в этом направлении были предприняты Всемирной метеорологической организацией (ВМО), усилиями которой была создана мировая сеть станций мониторинга фонового загрязнения атмосферы (Background air pollution monitoring network). Её цель состояла в получении информации о фоновых уровнях концентрации атмосферных составляющих и длительных изменениях, по которым можно судить о влиянии человеческой деятельности на состояние атмосферы. Такая служба позволяет накопить материал для оценки возможных изменений климата, перемещения и выпадения вредных веществ, а также атмосферной части биологических циклов. Глобальный фоновый мониторинг включает в себя **создание станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ)** на базе биосферных заповедников.

Биосферные заповедники возникли при реализации проекта ЮНЕСКО «Человек и биосфера», в задачу которых входило сохранение природных экосистем и генофонда растений и животных. В 1975 г. на Второй советско-американской конференции возникла идея организации на базе биосферных заповедников изучения, контроля и прогноза антропогенных изменений состояния биосферы. В результате программа биосферных заповедников дополнилась программой экологического мониторинга.

Система комплексного фонового мониторинга включает СКФМ и региональные аналитические лаборатории.

СКФМ ответственны за отбор проб, их своевременную отправку в региональную аналитическую лабораторию, анализ проб, выполняемый непосредственно на СКФМ, и своевременную передачу информации в региональную аналитическую лабораторию.

Региональные аналитические лаборатории фонового мониторинга обеспечивают анализ проб, передачу данных в научно-методический центр, инспекционный контроль СКФМ, внедрение новых методов, разрабатываемых научно-методическим центром. Материальное снабжение и

контроль аналитической лаборатории фонового мониторинга осуществляет региональный центр наблюдений.

Научно-методический центр системы СКФМ обеспечивает контроль выполнения программы наблюдений, контроль качества данных, разрабатывает и передает методы фонового мониторинга, координирует работу на международном уровне, собирает первичную информацию о фоновом загрязнении окружающей среды и передает ее в центр автоматизированной системы обработки данных, издает ежегодный бюллетень фонового состояния среды.

СКФМ включает стационарный наблюдательный полигон и химическую лабораторию. Сама станция должна располагаться не ближе 100 км от крупных городов (500 тыс. чел.). Наблюдательный полигон включает пробоотборные площадки, гидропосты, наблюдательные скважины. На полигоне производится отбор проб атмосферного воздуха, атмосферных осадков, воды, почвы, растительности, живых организмов. Также выполняются гидрометеорологические и геофизические измерения.

Химическая лаборатория располагается на расстоянии не ближе 500 м от пробоотборной площадки. В лаборатории проводятся обработка и анализ той части проб, которые не подлежат высылке в региональную лабораторию.

В **программу наблюдений станций комплексного фонового мониторинга входят**:

- мониторинг загрязнения природной среды и других факторов антропогенного воздействия;
- мониторинг откликов биоты на антропогенное воздействие;
- наблюдения за изменением функциональных и структурных характеристик нетронутых (эталонных) природных экосистем. Интерпретация указанных наблюдений возможна лишь при изучении гидрометеорологических характеристик. Наблюдения за ними должны быть организованы так, чтобы можно было проследить потоки вещества из атмосферы на подстилающую поверхность, миграции их с поверхности в подземные воды, по трофическим циклам в экосистемах.

Гидрометеорологические наблюдения должны включать:

- скорость и направление ветра, давление атмосферы, температуру и влажность воздуха, атмосферные осадки;
- интенсивность солнечной радиации (прямой, рассеянной, суммарной);
- уровень и температуру воды, расход воды, взвешенных и растворенных веществ;
- влажность и тепловой баланс почвы.

Метеорологические наблюдения производятся по программе станций I разряда. Химические пробы воды и наносов берутся 6 раз в год, донные отложения – 1 раз в год; почва исследуется 1-2 раза в год. Анализы биоты

на содержание химических веществ выполняются 2 раза в год. Рекомендуется следующий перечень химических веществ, которые должны определяться (табл. 8.1).

Таблица 8.1 – Перечень химических веществ, подлежащих определению в природных средах

Измеряемые ингредиенты	Атмосфера	Атмосферные осадки	Поверхностные и подземные воды	Почва	Биота
Взвешенные частицы	+				
SO_4	+				
Озон	+				
CO	+				
Окислы азота	+				
Углеводороды	+				
Бенз(а)пирен	+	+	+	+	+
ДДТ и др.	+	+	+	+	+
Тяжелые металлы	+	+	+	+	+
Двуокись углерода	+				
Фреоны	+				
Биогенные элементы		+	+	+	+
Анионы, катионы (по программе ВМО)		+			
Радионуклиды		+			

Программа **биотического мониторинга** должна включать:

- оценку текущего состояния биоты (повторяющиеся с некоторой периодичностью измерения коэффициентов размножения некоторых видов);

- прогноз ответной реакции биоты (установление зависимости чувствительности биоты к антропогенным загрязняющим веществам);

- контроль состояния биоты полевыми методами. Измерение коэффициентов размножения сводится к их непрерывной регистрации у популяций тестовых видов. Уровни загрязнений в эксперименте (воздух, вода, почва) должны соответствовать уровню загрязнения в регионе. Такие измерения проводятся на станциях фонового мониторинга в каждом биосферном заповеднике.

Для простейших бактерий, водорослей (по одному виду) рекомендуется 12 тестов в год (прирост численности за одни сутки); мхи и лишайники – один тест в год, высшие растения – четыре теста в год. Достоверное изменение коэффициента размножения свидетельствует о наличии влияния загрязнения. Должны также проводиться тесты на отдельные загрязняющие вещества.

Указанные лабораторные исследования необходимо подтверждать исследованиями в полевых условиях. При этом хорошим объектом является почвенная фауна. Например, на 1 $м^2$ встречается 200 - 300 видов почвенных беспозвоночных, что составляет до 2 млн особей. Многие из них

хорошие концентраторы (дождевые черви – концентраторы кадмия, жужелицы – свинца, мокрицы – меди). Учет численности и активности почвенной фауны следует проводить 3 раза в сезон.

8.2. Климатический мониторинг

Климатический мониторинг – это система наблюдений, оценки и прогнозирования изменения климата. Для изучения изменений и колебаний климата необходимы данные о состоянии климатической системы «атмосфера-океан-поверхность суши (с реками и озерами) – литосфера - биота» и взаимодействие элементов этой системы за длительное время. Для установления антропогенных изменений и колебаний климата необходимо изучить естественное изменение климата. Сбор данных о климате прошлого также можно отнести к климатическому мониторингу – для этого необходимо создать систему сбора и изучения данных о возможных колебаниях и изменениях климата за последние столетия, тысячелетия (анализ колец древесины, донных отложений). Все это позволит изучить влияние изменений климатической системы на климат в прошлом.

Чтобы изучить антропогенные изменения климата, необходимо изучить его влияние на изменения земной поверхности (строительство крупных гидротехнических сооружений, изменение площадей лесных насаждений, строительство городов). Необходимо знать антропогенные изменения состава и оптических свойств атмосферы (за счет выброса аэрозольных частиц и газовых примесей), а также возможное влияние интенсивных тепловых выбросов.

Природные и антропогенные изменения климата могут влиять на состояние биосферы, вызывать различные экологические изменения нормального функционирования отдельных популяций растений и животных, а также существенно влиять на деятельность человека и его здоровье.

Анализ современного климата, прогнозирование его возможных изменений и колебаний требуют большого количества данных, ставят задачу всестороннего анализа состояния окружающей природной среды и моделирования климата.

Наиболее важными **задачами климатического мониторинга** являются:

1. Сбор данных о состоянии климатической системы;
2. Анализ и оценка природных и антропогенных изменений и колебаний климата (включая сравнение климата прошлого с нынешним);
3. Изменение состояния климатической системы;
4. Выделение антропогенных эффектов в изменениях климата;
5. Выявление природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение климата;

6. Выявление критических элементов биосферы, влияние на которые может привести к климатическим изменениям.

Климатический мониторинг включает в себя геофизический и биологический мониторинг. Климатический мониторинг осуществляется с помощью метеорологических служб, состоящих из наземных и спутниковых подсистем.

Широкий круг вопросов климатического мониторинга и вопросов о возможных изменениях и колебаниях климата группируют по следующим основным разделам:

1. Измерение основных метеорологических параметров, изучение и анализ атмосферных явлений и процессов, характеризующих изменение погоды;

2. Мониторинг состояния климатической системы (реакция климатической системы и его элементов на любые естественные и антропогенные изменения);

3. Мониторинг внутренних и внешних факторов, влияющих на климат; мониторинг источников этих загрязнений;

4. Мониторинг возможных физических и экологических изменений в окружающей природной среде в результате климатических изменений и колебаний.

Все **основные климатические данные** и информация, необходимая для анализа изменений климата, сгруппированы в четыре раздела.

К первому разделу относятся: **измерение температуры воздуха, атмосферного давления, влажности воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности осадков.** Эти данные получают национальные метеорологические службы соответствующих станций. В этот раздел необходимо включить получение гидрологических данных, данных о снежном покрове, влажности почвы, глубине, промерзании почвы и других. Все эти данные получают как на метеорологических, так и гидрологических станциях, и постах.

В настоящее время в мире функционирует 40 000 климатических и 140 000 дождемерных станций. Они расположены на земном шаре достаточно неравномерно, на некоторых материках их явно недостаточно. Международный обмен основными погодными данными – главная задача Всемирной службы погоды (ВСП) и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Всемирная служба погоды состоит из глобальной системы наблюдений, глобальной системы телесвязи и глобальной системы обработки данных. Система предназначена для хранения и предоставления накопленной информации.

Глобальная система наблюдений состоит из наземной и спутниковой подсистемы. Информацию этой подсистемы также составляют данные с

кораблей и самолетов, метеорологических радиолокаторов, различных систем зондирования атмосферы.

Спутниковая подсистема состоит из двух частей: спутники, расположены на околополярных орбитах и геостационарные метеорологические спутники. На станциях получают информацию со спутников, содержащую данные о вертикальных профилях температуры и влажности, о температуре поверхности моря, поверхности суши и верхнего слоя облаков, о снежном покрове, о радиационном балансе.

Данные глобальной системы метеорологических наблюдений используются в первую очередь для прогнозирования погоды, а также для подготовки климатической информации.

К наземной подсистеме наблюдений следует отнести станции с измерением солнечной радиации, фонового загрязнения атмосферы, а также изменений характеристик атмосферы, оказывающих заметное влияние на климат. К таким характеристикам атмосферы относятся концентрации CO_2, озона O_3 и различных газообразных примесей. Аэрозольные частицы природного и антропогенного происхождения, электромагнитное излучение, тепловое загрязнение могут рассматриваться как факторы, влияющие на климат или климатическую систему.

Второй раздел климатического мониторинга – это **мониторинг состояния климатической системы**. Он охватывает всю биосферу таким образом, чтобы была возможность выделить именно те эффекты, непосредственно касающиеся антропогенных изменений климата. Сюда относят мониторинг климатообразующих факторов.

Необходимо получение данных о состоянии подстилающей поверхности, характеризующей альбедо поверхности, мониторинг энерго- и массообмена между атмосферой и подстилающей поверхностью, изучение водного баланса в широком масштабе и их влияние на изменение климата. Все эти факторы климатообразующие.

Мониторинг состояния океана обеспечивается измерением температуры поверхности и верхнего слоя океана, соли и химического состава воды, волнения и течений на разных глубинах. Для получения данных о взаимодействии атмосферы и океана проводятся регулярные морские климатологические измерения температуры воздуха и моря, точки росы, видимости, направления и силы ветра, атмосферного давления.

Третий раздел объединяет **мониторинг факторов, влияющих на состояние климатической системы, климата и источников воздействия**. Указанные факторы можно разделить на внешние и внутренние, а источники внутренних факторов – природные и антропогенные. К внешним факторам воздействия относятся факторы, обусловленные влиянием Солнца и космическим излучением.

Интенсивность внешних факторов воздействия зависит от солнечной активности, параметров орбиты Земли, скорости её вращения. Эффекты

воздействия определяются интенсивностью факторов воздействия, свойствами и составом атмосферы Земли, свойствами земной поверхности (альбедо земной поверхности).

К внутренним факторам, влияющим на климат и климатическую систему, отнесены тепловые выбросы и выбросы различных веществ в биосферу. Эти факторы приводят к изменению свойств климатической системы – изменяется альбедо подстилающей поверхности и атмосферы, тепло и газообмен подстилающей поверхности с атмосферой.

Тепловые выбросы приводят к нагреву атмосферы. Проводятся наблюдения за температурой воздуха в пригородах большого города и самом городе. При измерении изменений состава атмосферы и изучении возможного влияния этих изменений на климат особое внимание необходимо уделить наблюдениям за концентрацией CO_2 в атмосфере, процессам обмена CO_2 с океаном и наземной биотой. Должно быть уделено особое внимание измерению концентрации CO_2 в атмосфере, изучению баланса углерода в биосфере, обмену CO_2 с глубинными слоями океана, влиянию нефтяной пленки на газообмен между океаном и атмосферой.

Повышение содержания стратосферных аэрозолей приводит к обратному эффекту – возможному похолоданию из-за отражения части падающего солнечного излучения. Содержание аэрозольных частиц в атмосфере может изменяться как по естественным причинам (извержениям вулканов, песчаным бурям), так и в связи с антропогенной деятельностью (выбросы промышленных предприятий).

К **четвертому разделу климатического мониторинга относится мониторинг последствий климатических изменений и колебаний**. Изменения и колебания климата могут оказать существенное влияние на состояние биосферы и на хозяйственную деятельность человека. Изменения, возникшие в элементах климатической системы, экологические последствия изменений климата являются чувствительными показателями фактора изменения (или колебаний климата).

Наиболее чувствительными к изменению климата являются элементы биосферы, которые расположены в полярных широтах, в засушливых местах, экосистемы пустынных зон, экосистемы, расположенные высоко в горах, ледники гор.

Такие характеристики изменений в биосфере называют косвенными показателями изменений климата. К косвенным показателям относятся: изменения уровня моря, озера, изменения расположения береговой линии, изменения речных донных отложений и др. Сюда же можно отнести и ряд экологических признаков: изменение характера растительности, урожайности разных культур, морской микрофлоры и микрофауны, изменение популяций насекомых, характер распространения болезней животных и растений (в первую очередь, в зонах с наибольшей чувствительностью к изменениям климата).

Указанные данные необходимы для проведения всестороннего анализа состояния окружающей природной среды и моделирования климата. Всесторонний анализ состояния природной среды и моделирование климата позволяет выделить критические факторы воздействия и наиболее чувствительные элементы биосферы, что обеспечит оптимизацию системы климатического мониторинга.

Спутниковый климатический мониторинг

В настоящее время использование спутников позволяет получить большое количество метеорологических показателей и основных характеристик климатической системы.

С учетом возможностей существующих спутниковых систем и целесообразности организации измерений для получения более точной информации о климате Земли и состоянии климатической системы выделим следующие **направления функционирования спутниковых систем**:

1. Измерение метеорологических параметров и получение других данных в местах, где есть наземные станции.

2. Измерение метеорологических параметров в труднодоступных районах.

3. Измерение величин и факторов, труднодоступных или не подлежащих определению на поверхности земли.

4. Использование спутников для оперативной передачи данных.

В настоящее время со спутников проводятся измерения температуры и влажности воздуха на разных высотах, температуры поверхности океана, зон, покрытых растительностью на суше и планктоном в океане, влажности грунта, зон и интенсивности осадков, основных компонентов радиационного баланса и т.д.

По данным спутников можно оценить изменения растительного покрова из-за вырубки лесов, опустынивания, изменения характера сельскохозяйственных культур, что позволяет сделать вывод о причинах изменения альбедо земной поверхности.

Наиболее важные **задачи спутникового мониторинга**:

- получение основных климатических данных;
- определение характеристик климатической системы и факторов воздействия на неё;
- выделение антропогенных действий и эффектов климатических изменений.

Наиболее актуальной задачей является организация такой системы мониторинга, с помощью которой стало возможным надежное выделение антропогенных и других эффектов, связанных с наибольшим влиянием на климат.

8.3. Мониторинг радиоактивного загрязнения

В результате радиоактивного распада возникает поток разнообразных элементарных частиц и излучений, которые оказывают отрицательное влияние на биологические объекты и человека. Наиболее опасные – это α-, β-, γ-лучи. Поток частиц, представляющих собой ядра гелия, образует α-лучи. Они не проникают даже через лист бумаги, но, попав на открытую кожу человека, вызывают изменения иммунной системы. Поток электронов создает β-лучи и вызывает радиационные ожоги кожи. Защищает одежда и свинцовые пластины толщиной 1 мм. Самые опасные – это γ-лучи. Они представляют собой коротковолновое электромагнитное излучение, от которого может защитить только 25-сантиметровой слой бетона.

Гидрометеорологический центр выполняет мониторинг радиоактивного загрязнения, осуществляя:

- отбор проб радиоактивных выпадений с помощью планшета, бака-сборника и сборника осадков;
- отбор проб радиоактивных аэрозолей из приземного слоя атмосферы с помощью фильтрующей установки или вертикального экрана;
- определение экспозиционной дозы γ-излучения дозиметром;
- отбор проб из водоемов суши и морей.

Анализ проб осуществляется в радиологических лабораториях на месте или отсылается в центральную лабораторию.

8.3.1. Мониторинг радиоактивных аэрозолей

Воздушные аэрозоли представляют собой мельчайшие частицы, взвешенные в воздухе, которые очень медленно и долго оседают на поверхность земли и активно переносятся атмосферными потоками, в том числе из зон ядерных аварий, взрывов и т.д. Для отбора радиоактивных аэрозолей из приземного слоя атмосферы используется воздухофильтрующая установка УВФ-2. Пробы отбирают путем прокачки атмосферного воздуха через тонковолокнистую фильтрующую ткань, которая задерживает твердые аэрозоли, а также сорбирует пары содержащегося в воздухе радиоактивного молекулярного йода.

Под этими накопительными фильтрами расположен дозиметр-радиометр, который в непрерывном автоматическом режиме выполняет измерение радиоактивности аэрозолей. Наряду с этим производится автоматическое непрерывное измерение объёмного расхода прокачиваемого воздуха. Все измерения позволяют получить следующие характеристики: объемный расход воздуха, значения поверхностной активности и мощности поглощенной дозы рентгеновского и γ-излучения.

Установка УВФ-2 размещается в специальном павильоне, который имеет окна с жалюзи для свободного доступа воздуха внутрь павильона.

Отвод прокачиваемого воздуха осуществляется вверх по вертикальному трубопроводу. Это исключает повторное засасывание прокачанного воздуха вентилятором установки.

Продолжается эксплуатация более ранних модификаций фильтрующих установок серии «Тайфун» («Тайфун-3, 4, 5, 6»), Принцип работы этих устройств также основан на прокачке воздуха через фильтрующую ткань. Накопление аэрозолей в ткани обычно длится неделю. Затем ткань снимают с фильтродержателя, складывают ворсистой стороной внутрь, помещают в целлофановый пакет и вместе с сопроводительной запиской отсылают в лабораторию.

В чрезвычайных обстоятельствах при техногенных выбросах радионуклидов или расположении установки вблизи атомных станций и других ядерных объектов смену ткани производят ежедневно. При смене фильтрующей ткани установку выключают и затем вновь запускают после того, как будут поставлены новые фильтры.

Можно производить отбор проб радиоактивных аэрозолей более простым и дешевым способом с помощью марлевого конуса или вертикального экрана, но эффективность улавливания радиоактивных частиц в этом случае зависит от погодных условий.

Вертикальный экран предназначен для сбора аэрозолей путем фильтрации воздуха через марлю под действием силы ветра. Экран представляет собой жесткую рамку с натянутой на ней марлей. Рамка имеет площадь 0,3 м^2. Стойка с рамкой устанавливается не менее чем в 4 м от ограды, Экран должен стоять на высоте 1,5 м от поверхности земли. Измеряют скорость ветра с помощью ручного анемометра перед центром экрана 4 раза в сутки. Марлю просушивают в свернутом виде, укладывают в полиэтиленовый пакет и вместе с запиской отправляют в лабораторию. В записке указывают объем воздуха, который прошел через марлю.

8.3.2. Мониторинг радиоактивных выпадений, осадков, поверхностных вод и гамма-излучения

Кроме аэрозолей и пыли, переносимых ветром и находящихся в атмосфере, отмечается выпадение этой пыли и аэрозолей на поверхность земли.

Для сбора радиоактивных аэрозолей, выпадающих на поверхность земли, применяют горизонтальный планшете с марлей.

Площадь марли – 0,3 м^2. Планшет состоит из металлического квадратного столика с четырьмя прижимными уголками. Стойка раздвижная. Чтобы марля зимой не примерзала к столику, рекомендуют под неё подкладывать полиэтиленовую пленку.

Планшет устанавливается на высоте 1 м от поверхности земли или снега. Зимой, когда высота снега увеличивается, стойку раздвигают.

Смена марли производится один раз в сутки в 7:30. Снятую марлю сворачивают, если надо, просушивают в свернутом виде, помешают в полиэтиленовый пакет и в конверте размером 21х18 см отправляют в лабораторию.

Более совершенным прибором для оценки радиоактивных выпадений на поверхность земли является бак-сборник. Он изготавливается из нержавеющей стали и устанавливается на специальной подставке так, чтобы верхний край бака находился на высоте 1 м от поверхности земли. Бак делается прямоугольным с плоским дном. Сбор выпадений и осадков осуществляется в последний день месяца в 12 ч дня. В теплый период года, при среднесуточной температуре выше нуля градусов на дно бака для лучшего улавливания пыли наливают слой 1 - 2 см дистиллированной воды. При высыхании воду доливают. В воду добавляют 10 мл специального раствора, содержащего азотнокислый стронций, азотнокислый цезий и хлористый церий. Это необходимо для того, чтобы стенки бака не впитывали радиоактивные изотопы.

По окончании месячного срока экспозиции в 12 ч дня бак приносят в помещение, сливают в чистое ведро воду, затем промывают бак дистиллированной водой и эту воду добавляют к ранее слитой. После чего воду пропускают через специальную ионообменную колонку, в которой все радиоактивные изотопы осаждаются. Колонку пакуют в посылку и отсылают в лабораторию.

Сборник осадков предназначен для сбора месячных проб дождя и снега, которые затем используются для определения трития – изотопа водорода, входящего в воду. Сборник осадков – это полиэтиленовый бак с герметической крышкой. Нельзя допускать испарения осадков из ведра, иначе содержание трития окажется завышенным. Бак устанавливают на столике так, чтобы верхний край его был на высоте 2 м.

Перед началом дождя или снегопада бак ставят на место. После окончания сливают воду в большую бутыль. Если дождь идет с небольшими перерывами, то на время перерыва бак закрывают крышкой. В течение месяца все осадки сливают в одну бутыль. По истечении месяца из этого количества воды отливают 1 л, сливают в одну бутылку, закрывают пробкой и отправляют в лабораторию.

Также ведутся наблюдения за загрязнением речных и озерных вод стронцием-90. Отбор проб воды производится в основные фазы водного режима (5 - 16 проб в год). Пробы берутся на середине реки в количестве 20 л ведром. На гидрологической станции проба сливается в одну бутыль, и затем производится её первичная обработка.

В воду добавляют углекислый аммоний и раствор аммиака. В результате бикарбонаты кальция и магния осаждаются на дно, а вместе с ними и радиоактивный стронций. Затем воду отстаивают (24 - 48 ч), сливают

сифоном осветленную воду, а остаток в объеме 1 л отсылают в лабораторию.

Кроме этого, на метеостанции проводят наблюдения за экспозиционной дозой γ-излучения в сроки метеонаблюдений, т.е. 8 раз в сутки. Используется дозиметр. Наблюдатель с прибором становится рядом с горизонтальным планшетом, держит прибор на высоте 1 м над землей и снимает показания.

8.4. Биологический мониторинг

В последнее время всё большее значение приобретает наличие информации о состоянии и уровнях загрязнения не только составляющих окружающей среды, но и состояния биоты, то есть всех живых организмов биосферы. При этом важно знать характер и интенсивность ответных реакций биологических объектов на антропогенные воздействия. Одним из наиболее оперативных методов получения такой информации являются методы биоиндикации и биотестирования.

8.4.1. Проведение биоиндикации с помощью растений

Известно, что высшие и низшие растения могут использоваться как биоиндикаторы загрязнения в двух случаях:

а) если они накапливают в своих тканях загрязняющие вещества в гораздо более высоких концентрациях, чем соответствующие концентрации в геологической среде;

б) если их чувствительность к воздействию определенных загрязняющих веществ резко отличается от чувствительности других растений.

В случае воздействия высокой концентрации загрязняющих веществ в течение короткого периода времени возможно сильное повреждение растения. В результате гибели ткани её цвет изменяется от металлически серого до коричневого, а в процессе старения она может обесцвечиваться и выгорать.

Хроническое повреждение растений возникает при воздействии низких концентраций загрязняющие вещества в течение длительного периода времени. К признакам хронического повреждения относят бронзовую окраску листьев, хлороз и их преждевременное старение.

Признаки повреждений растений обнаружены и описаны у растений, выращенных в естественных условиях при известных концентрациях ЗВ. Затем эти признаки были подтверждены в лабораторных условиях на растениях, подвергавшихся действию тех же ЗВ.

Растение-индикатор – это такое растение, у которого признаки повреждения появляются при воздействии фитотоксической концентрации одного или нескольких ЗВ.

Для мониторинга важна не только качественная, но и количественная оценка. Поэтому целью биомониторинга является превращение растения-индикатора в растение-монитор. Индикаторами могут быть растения, аккумулирующие в тканях загрязняющее вещество или продукты метаболизма, которые получены в результате взаимодействия растения и ЗВ.

Основные загрязняющие вещества действуют на растение через воздух. Повреждения растений-индикаторов различными ЗВ систематизированы в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Повреждения растений от разных ЗВ

ЗВ	**Повреждения**	**Растение-индикатор**
O_3	Пятна металлического цвета; желто-красные кончики игл; рыжевато-белые пятна; хлороз	Шпинат, картофель, табак, виноград, огурец, лук, хвойные, ясень, фасоль
Пероксиацетилнитрат	Водянистые, затем глянцевые, серебристые, бронзовые пятна; хлоротические полосы на листьях	Салат, фасоль, петуния, злаковые
NOx	Замедление роста и накопление сухого вещества. Обесцвечивание краев листьев	Молодые томаты
SO_2	Бифациальное обесцвечивание между жилками, эффект «ёлки»	Ежевика, малина, виноград, овес, клевер, береза, вишневая, ясень американский, капуста, шпинат, табак, яблоня, персик
NO_2+SO_2	Снижение урожайности злаков и пастбищных трав	Овёс, соевые бобы, табак
O_3+SO_2	Хлороз	Люцерна, капуста, фасоль, соя, шпинат, табак, томаты
Фториды	Хлороз вдоль жилок или листьев; острый некроз по краям листьев и деформациям; обожжённые верхушки	Тюльпан, ирис, лилия, хвойные
NH_3	Тускло-зеленые, бурые, черные листы.	Яблоня
Cl_2	Обесцвечивание листьев по краям от черного до белого	Горчица, подсолнух, хвойные
Этилен, пропилен	Замедляет рост; ухудшение цветения, плодоношения, «скручивающиеся» листья	Орхидеи, томаты

К фотохимическим оксидантам (веществам, для начала реакции спонтанного образования и взаимодействию которых необходим солнечный свет) относят: озон, пероксиацетилнитрат (ПАН) и оксиды азота (NO_2, NO, N_2O и т.д.). Озон попадает в растения через устьица в процессе обычного газообмена между растениями и окружающей средой. Повреждения

хорошо заметны на старых листьях, главным образом, на верхней поверхности листа. Общий признак повреждения озоном – пятнистость.

ПАН также проникает в листья через устьица, в результате чего на внутренней стороне листьев возникают водянистые пятна, которые затем становятся глянцевыми, серебристыми или бронзовыми.

Для сильного повреждения растения оксидами азота необходима более высокая концентрация NOx; часто его содержания в воздухе недостаточно для острого повреждения. Низкие концентрации NOx даже стимулируют рост растений, а их зелень становится темнее.

Диоксид серы (SO_2) попадает в растение и окисляется до высокотоксичного сульфита SO_3, а затем медленно – в менее токсичный сульфат SO_4. В результате действия SO_2 на широколиственные растения их листья обесцвечиваются между жилками (эффект «ёлки»).

Твердые частицы и тяжелые металлы могут оседать на растениях, засорять и проникать в устьица, отрицательно влиять на опыление цветов, размер и состояние листьев из-за воздействия на pH почвы, влиять на состав лесных насаждений. Из атмосферы они оседают на растения или почву.

Тяжелые металлы (ТМ), оседающие на поверхности почвы, имеют тенденцию накапливаться в её верхних слоях. Концентрация ТМ в почве зависит от содержания в ней глины и органического вещества. В целом же ТМ устойчивы к выщелачиванию и распаду. При продолжительном воздействии концентрация их увеличивается и может стать токсичной.

Свинец – наиболее распространенный ТМ, часто встречающийся в воздухе и почве. Естественный источник поступления свинца – выветривание горных пород. Гумусовый слой почвы хорошо адсорбирует свинец, который затем накапливается в почве и откладывается в клеточной оболочке.

Ртуть – единственный ТМ, находящийся в жидком состоянии при нормальной температуре, один из наиболее опасных канцерогенов. Естественный источник – выветривание горных пород. Нормально развитые почвы обладают высокой сорбционной способностью, и вымывание ртути из них незначительно. Испарение ртути из почвы уменьшается с увеличением влажности почвы, кислотности почвы и уменьшением гумуса. Ртуть отрицательно влияет на большинство растений, особенно на розы. На их листьях появляются бурые пятна, листья желтеют, а затем опадают.

Миграция мышьяка в почве происходит более интенсивно, если он поступает в больших количествах.

Максимальная адсорбция кадмия происходит в почве с большей ёмкостью поглощения, значительным содержанием гумуса, высоким показателем pH.

Цинк более мобилен, чем свинец и кадмий. Отмечается высокая миграция в эродированных почвах в условиях повышенной влажности. По

имеющимся данным Zn, Cd и Cu вызывают межжиловой хлороз с последующим покраснением и пожелтением листьев деревьев вблизи источника в середине лета.

Для биоиндикации тяжелых металлов используют, в основном, мхи и лишайники, абсорбирующие ТМ из воздуха и атмосферных осадков. Мхи являются лучшими индикаторами.

В Швеции, Финляндии, Норвегии составлены карты, показывающие региональные различия в выпадении Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb и Zn из атмосферы по результатам анализа мхов. Концентрация Pb в мхах увеличивается при выпадении атмосферных осадков, уменьшается при увеличении расстояния от дорог и городов. Различные виды мхов по-разному реагируют на содержание того или иного ТМ. Сфагновый мох хорошо абсорбирует Cd, Pb и Zn.

Существует три способа получения **количественной характеристики состояния воздуха через реакцию растения на загрязнение**:

1) сопоставить степень вызванного загрязняющим веществом повреждения с известной его концентрацией в окружающей среде;

2) использовать растение как живой коллектор (пробоотборник);

3) измерить количество загрязняющего вещества или связанного с ним метаболита и соотнести полученное значение с концентрацией его в воздухе и почве.

Для минимизации ошибок необходимо использовать почвенную смесь и семена из одного источника. Следует брать растения, которые легко выращивать и ухаживать, которые устойчивы к болезням и вредителям.

Степень поражения листьев травянистых растений (бобы, табак) обычно измеряют визуально путем определения площади (%) пораженной листовой поверхности. Фасоль можно использовать до появления трёхлопастных листов 3-го порядка. Суммарные подсчеты можно производить через каждые 3-5 дней.

Ответную реакцию можно определять по показателям роста и производительности: скорость роста, площадь листовой поверхности, количество листьев, дата формирования почки, дата начала цветения, соотношение количества почек и цветков, цветков и плодов, количество семян на плод, соотношение ростков и корней.

Для деревьев: количество ветвей, длина, диаметр ветки, диаметр ствола в данной точке над уровнем земли, скорость роста ствола, размер листьев или поверхности, количество плодов или шишек, количество семян.

Если уровень загрязнения определяется по поглощению ЗВ, то следует измерять либо количество ЗВ, либо количество метаболита ЗВ. Растения, как живые коллекторы (мхи, лишайники), аккумулируют в тканях тяжелые металлы. Посредством сбора растений, высушивания, взвешивания и химического анализа можно подсчитать количество поглощенного тяже-

лого металла. Лишайники часто используют для определения уровня SO_2. Изменяя промежутки сбора или выноса сеток здоровых экземпляров лишайников можно вывести соотношение между содержанием поглощенного тканями ЗВ и концентрацией ЗВ в окружающей среде.

Таким образом, мхи, лишайники, покрытосеменные и голосеменные, а также грибы, можно использовать как биоиндикаторы, то есть для получения количественной оценки ЗВ в природной среде. Выявление тяжелых металлов в почве и растениях возможно с помощью атомно-адсорбционного метода, спектрофотометрии и т.д.

8.4.2. Проведение биоиндикации с помощью животных

Больше всего методы биоиндикации с помощью животных используются для оценки уровня загрязнённости водной среды. С помощью животных определяют общую биомассу и численность соответствующей популяции. Уменьшение размеров популяции или полное исчезновение из водоема свидетельствует о загрязнении воды токсикантами.

При проведении биотического мониторинга используют методы пассивной и активной биоиндикации.

При использовании методов пассивной биоиндикации как индикаторные организмы используют наиболее чувствительные и исследованные виды организмов, доступные для визуального наблюдения, например, рыбы для водных сред и большие беспозвоночные (дождевые черви) – для почв.

Индикаторные организмы должны изучаться в комплексе и на всех стадиях проявления токсикоза, определяемого особенностями действия токсиканта и его концентрацией в среде. Так, токсиканты локального действия повреждают респираторный эпителий жабр у рыб, вызывают кровотечение из жабр. Кожаные покровы покрываются слизью, нарушающей газообмен, рыба погибает от асфиксии. Рыбы начинают глотать воздух с поверхности и гибнут с открытым ртом и жабрами.

Методы активной биоиндикации для определения токсикантов предусматривают использование в качестве индикаторных организмов тест-объектов (личинок шелковичного шелкопряда, ракообразных). Личинки обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к действию токсикантов, особенно к инсектицидам и солям.

Пример биотестирования с помощью личинок шелковичного шелкопряда: пробы воды или грунтового раствора, отобранные для биотестирования, наливают в литровые пробирки (по 3 пробирки на вариант, контроль – питьевая вода). В каждую колбу помещают на двое суток по 3 побега шелковицы с листьями. За это время побеги поглощают из раствора токсиканты. После этого лист скармливают личинкам шелковичного шелкопряда в течение трех последующих дней (один раз в сутки). Ежедневно

подсчитывают погибших гусениц. При загрязнении воды инсектицидами гусеница погибает в первые сутки, а при загрязнении фосфорорганическими соединениями и другими токсикантами – через 48 часов.

8.5. Вопросы для самоконтроля

1. Что входит в программу наблюдений станций комплексного фонового мониторинга?
2. Что такое климатический мониторинг и каковы его задачи?
3. Укажите наиболее веские антропогенные причины изменения климата.
4. Какие разделы включают в себя климатический мониторинг?
5. Каким образом производится выбор величин и их приоритетность при организации климатического мониторинга?
6. Перечислите особенности спутникового климатического мониторинга.
7. Что называют радиационным мониторингом? Назовите источники и факторы радиоактивного загрязнения.
8. Какие главные задачи ставят при создании комплексного радиоэкологического мониторинга?
9. Что включают методы радиоэкологического мониторинга?
10. Назовите особенности и основные принципы проведения биологического мониторинга.
11. В каких случаях целесообразно использовать методы биоиндикации?
12. Какие тяжелые металлы наиболее часто и каким образом попадают в растения?
13. Каково негативное влияние ТМ на растения? Какие растения являются лучшими биоиндикаторами ТМ?
14. Проанализируйте способы получения количественных характеристик состояния воздуха при реакции растения на загрязнение.
15. Охарактеризуйте основные принципы проведения биоиндикации с помощью животных-индикаторов.

Глава 9. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1. Метрологические принципы организации наблюдений за параметрами окружающей среды

В соответствии с РМГ 29-2013 ГСИ «Метрология. Основные термины и определения», **измерение** – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обосновано приписаны величине.

Величина – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Значение величины – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений.

Измеряемая величина – величина, подлежащая измерению.

Числовое значение величины – отвлечённое число, входящее в значение величины.

Международная система величин - система величин, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества и силы света.

Размерность величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных величин в различных степенях и отражающее связь данной величины с величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Единица измерения величины – величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное 1, определяемая и принимаемая по соглашению для количественного выражения однородных с ней величин.

Совокупность измеряемых величин, связанных между собой некоторыми зависимостями, образует **систему единиц измерений**. Объективно эти зависимости представляют посредством независимых уравнений, число которых (m) всегда меньше числа величин (n). Поэтому m величин данной системы определяют через другие величины, а n-m величин независимо от других. Последние величины называют основными измеряемыми величинами, а другие – производными измеряемыми величинами.

В международной системе единиц СИ в качестве основных выбрано семь величин и соответствующих им единиц. К ним относятся: длина (метр – м), масса (килограмм – кг), время (секунда – с), сила электрического тока (ампер – А), температура (кельвин – К), сила света (кандела – К),

количество вещества (моль). Кроме этого, в систему включены еще две дополнительные величины: плоский угол (радиан) и телесный угол (стерадиан), а также 111 производных величин.

Система СИ предъявляет ряд требований к записи значений измеряемой величины (ИВ). Так, сокращенные названия единиц ИВ, установленных в честь выдающихся ученых, принято писать с прописной буквы, а полные названия этих единиц записываются строчными буквами, например, 1 кельвин и 1 К; 1 ньютон и 1 Н и т.д. Производные величины, кратные 10^6, 10^{-6}, обозначаются соответственно 1 МДж и 1мДж.

Виды измерений. По способу получения значения измеряемой величины различают прямые, косвенные, совокупные и общие.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Для этого решают систему уравнений, коэффициенты которых получают в результате прямых измерений. При совокупных измерениях находят несколько одноименных ИВ, а при общих измерениях определяются несколько разноименных ИВ.

Основные операции измерений. Измерение – это многооперационная процедура, обязательно включающая следующие две важнейшие операции:

1) воспроизведение физической величины заданного размера;

2) сравнение величин, то есть определение соотношения между однородных ИВ.

Средства измерений – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, то есть свойства, влияющие на результаты и погрешности измерений. Наряду со средствами измерений при измерениях могут применяться и другие технические средства, не обладающие нормированными метрологическими свойствами, например, лупа для удобства отсчёта, осветитель для работы в темное время суток и т.п.

Средства измерений делятся на две группы:

- элементарные средства измерений, реализующие только отдельные операции измерения (меры, сравнительные устройства, измерительные преобразователи, масштабные преобразователи);

- комплексные средства измерений, состоящие из функционально полного набора элементарных средств измерений и обеспечивающие вы-

полнение всего измерения в целом (измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы).

Ошибки измерений

Погрешность результата измерения - разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Истинным значением ИВ называется значение, идеальным образом отражающее в количественном отношении соответствующее свойство объекта. Поскольку истинное значение ИВ никогда не известно, его на практике заменяют действительным значением, то есть значением, найденным экспериментально с помощью высокоточного прибора.

По способу представления погрешности измерений подразделяют на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность ΔX определяется следующим образом:

$$\Delta X = X_{изм.} - X_{ист.} \sim X_{изм.} - X_{дейст.}, \quad (9.1)$$

где $X_{изм.}$ – результат измерения; $X_{ист.}$ и $X_{дейст.}$ – соответственно, истинное и действительное значение ИВ.

Относительная погрешность ΔX равна:

$$\boldsymbol{\delta X} = \frac{\mathbf{\Delta X}}{\mathbf{X}_{ист.}} \approx \frac{\mathbf{\Delta X}}{\mathbf{X}_{изм.}}. \quad (9.2)$$

Относительную погрешность часто выражают в процентах, используя для этого следующее выражение:

$$\boldsymbol{\delta X} = \frac{\mathbf{\Delta X}}{\mathbf{X}_{изм.}} \cdot \mathbf{100}\%. \quad (9.3)$$

Погрешности измерений подразделяют на методические и инструментальные.

Методическая погрешность – это составляющая погрешности измерения, происходящая от несовершенства метода измерения. Методическая погрешность может образоваться, например, при косвенных измерениях. Это происходит, если зависимость, используемая при измерении, содержит величины, значения которых приблизительно известны.

В этом случае даже при отсутствии погрешностей измерения аргументов результат косвенного измерения будет приближённым. Образующаяся при этом погрешность является методической, так как её происхождение связано с недостатками зависимости, лежащей в основе метода измерения.

Инструментальная погрешность – это составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей, применяемых измерительных приборов. Она является следствием несовершенства конструкции измерительных приборов, недостатков материалов, из которых изготовлены элементы прибора.

Погрешностью измерительных приборов называется разница между показаниями прибора и истинным значением измеряемой величины. Погрешности измерительных приборов классифицируют по разным признакам. По характеру изменения погрешности делятся на систематические и случайные.

Систематической называется составляющая погрешности, которая остается постоянной или закономерно меняется при повторных измерениях постоянной величины X.

Случайной называется составляющая погрешности, сменяющаяся случайным образом при повторных измерениях постоянной величины X.

По зависимости от измеряемой величины X погрешности делят на аддитивные и мультипликативные. Аддитивной называется составляющая погрешности, не зависящая от величины X. Мультипликативной называется составляющая погрешности, изменяющаяся пропорционально величине X.

Округление измеряемых величин

Погрешности обычно округляют до одной значащей цифры. Последняя значащая цифра в любом приводимом результате обычно должна быть того же порядка, что и погрешность. Однако в расчетах, пока еще не получен окончательный результат, имеет смысл оставлять на одну значащую цифру больше. Это уменьшает неточности, возникающие при округлении чисел. При измерениях в экологической сфере применяется **округление до двух значащих цифр**.

Сравнивая между собой величины с погрешностями, нужно помнить об этих погрешностях. Например, мы знаем, что 2,5>2,4. Но, если известно, что размер одной клетки водоросли (2,5 ± 0,1) мкм, а другой клетки (2,4 ± 0,1) мкм, то мы не можем сказать, что первая клетка крупнее второй: разность размеров такая же, как погрешность. Чтобы различить эти клетки по размерам, нужно уменьшить погрешности хотя бы в два раза. Погрешности нужно учитывать при вычислениях с величинами, полученными в опытах. Погрешность каждой величины сказывается на погрешности результата вычислений.

Примерное оборудование для экологического мониторинга атмосферного воздуха и диапазоны измерения и относительные погрешности представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Оборудование для экологического мониторинга атмосферного воздуха

Наименование	Единица измерения	Диапазон измерения	Допустимая ошибка (относительные погрешности)	Наименование документации
Температура газовоздушного поток	^{0}C	0 - 200	±0,5 %	ГОСТ 17.2.4.07-90
Разряжение (давление)	кПа	0,5 - 3,5	±10 %	ГОСТ 17.2.4.06-90
Объемный расход воздуха	м3/ч	0 - 1000	±10 %	ГОСТ 17.2.4.06-90
Массовая концентрация оксидов азота	млн$^{-1}$	от 0 до 4000	±10 % (св. 100 до 4000 млн$^{-1}$)	Паспорт на газоанализатор «Полар-7»
Массовая концентрация оксида углерода	млн$^{-1}$	от 0 до 20000	±5 % (св. 800 до 20000 млн$^{-1}$)	Паспорт на газоанализатор «Полар-7»
Массовая концентрация диоксида серы	млн$^{-1}$	от 0 до 5000	±10 % (св. 100 до 5000 млн$^{-1}$)	Паспорт на газоанализатор «Полар-7»
Массовая концентрация твердых частиц	мг/м^3	1 - 10000	± 25 %	РД 52.04.893-2020 Массовая концентрация взвешенных веществ в пробах атмосферного воздуха
Кислород	Об %		±0,2 об %	Паспорт на газоанализатор «Полар-7»

Результаты измерений округляются до разряда абсолютной погрешности (ошибки). При умножении результатов измерений их относительные погрешности складываются.

При вычислении г/с по газовым компонентам выбросов относительная погрешность составляет: $\Delta M = 5\ \% + 10\% = 15\%$.

При вычислении г/с по твердым выбросам относительная погрешность составляет:

$$\Delta M = (\Delta C^2 + \Delta V^2)^{1/2}, \qquad (9.3)$$

где C – концентрация, мг/м^3; V – объемный расход, м^3/с.

9.2 Классификация методов исследования состояния окружающей среды

Необходимым условиям для организации рациональной системы мониторинга окружающей среды является использование как классических,

химических и физических методов определения и исследования показателей окружающей среды, так и новых методов, и современных инструментальных средств. В целом методы исследования разделяют на качественные, количественные и полуколичественные методы (тест-системы, индикаторные трубки) (рис. 9.1).

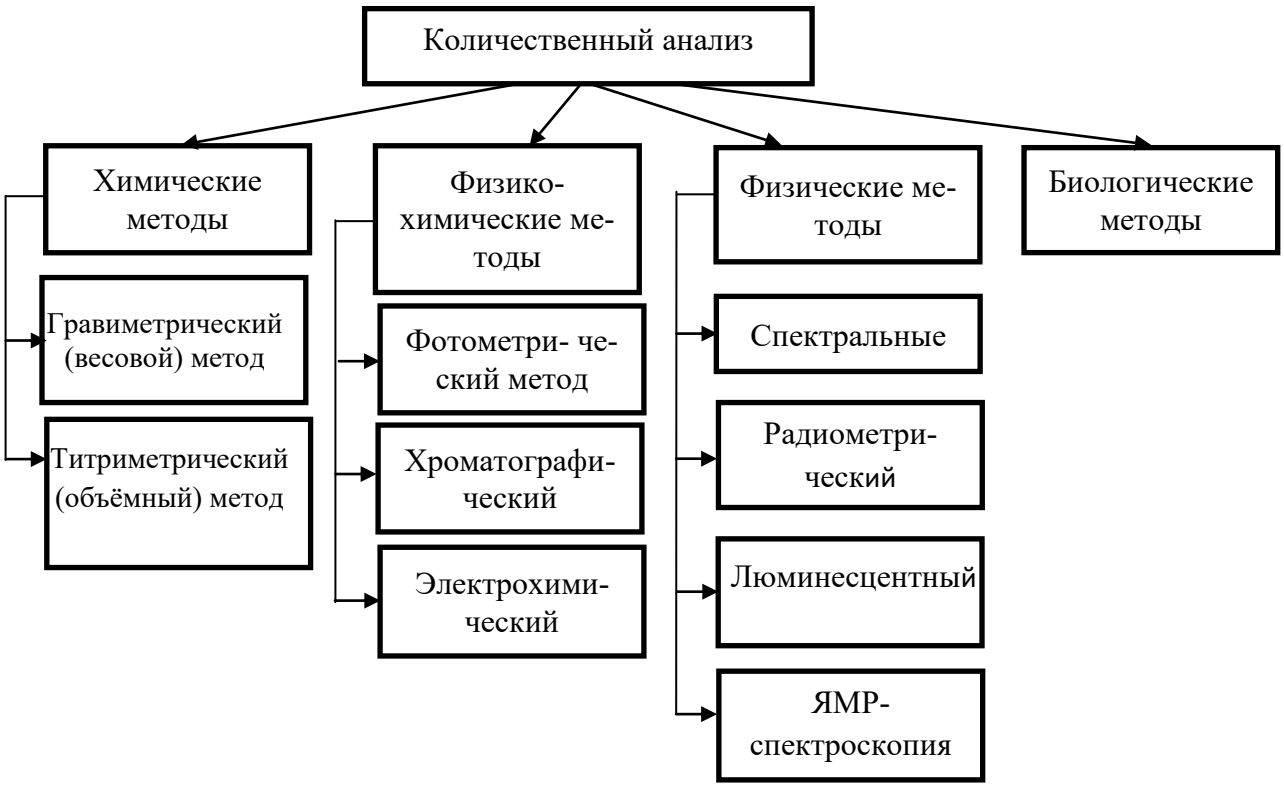

Рис. 9.1. Количественные методы анализа

Задачей качественного анализа является обнаружение наличия того или иного химического элемента или соединения в составе исследуемого вещества. При количественном анализе определяют массовое содержание вещества в исследовании пробы или устанавливают количественные соотношения между составными частями вещества. Качественный анализ обычно предшествует количественному.

9.3. Аналитические методы измерений

В метрологии измерения состава и концентрации веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях, называются **аналитическими**. Различают качественные и количественные аналитические измерения. Первые направлены на определение перечня компонентов, входящих в состав анализируемого вещества. Вторые позволяют определить концентра-

ции этих компонентов. Компоненты, концентрации которых определяются при измерениях, называются детектируемыми.

В зависимости от характера использованных технических средств, существующие методы измерений концентрации вредных примесей можно условно разделить на методы лабораторного и автоматического анализа.

При использовании первой группы методов процедура измерения включает несколько этапов, основные из которых следующие: выбор пробы анализируемого вещества на посту контроля; доставка пробы в химическую лабораторию; химический анализ пробы в лаборатории; обработка данных анализа с целью получения результата измерения в требуемой форме.

Широкое использование лабораторных методов обусловлено прежде всего простотой измерительной аппаратуры и сравнительно низкими требованиями к квалификации обслуживающего персонала. Наряду с этими преимуществами, лабораторные методы обладают рядом существенных недостатков. Это, в первую очередь, достаточно большая продолжительность отбора проб (20 - 30 минут) и большое запаздывание информации о содержании вредных примесей в контролируемой среде. Этих недостатков лишены методы второй группы, реализуемые с помощью автоматических анализаторов.

В них анализируемое вещество поступает непосредственно из контролируемой среды (без участия оператора) и там подвергается определенному физико-химическому воздействию. В результате происходит формирование электрического сигнала, размер которого пропорционален концентрации детектируемого компонента.

Наибольшее распространение получили методы лабораторного анализа. В зависимости от того, какие явления – физические или химические – положены в основу методов измерений, их можно разделить на электрофизические и электрохимические методы. Электрофизические методы основаны на использовании зависимости физических свойств веществ от их состава и концентрации компонентов.

9.4. Оптико-спектральные методы анализа веществ

Отрасль науки, изучающую спектры электромагнитного излучения в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, называют **оптической спектроскопией**. Задачей спектроскопии является исследование свойств и структур веществ на основе изучения особенностей её спектров. Методы количественного и качественного определения состава вещества, основанные на получении и исследовании его спектров, составляют суть спектрального анализа.

Эмиссионная спектроскопия – это изучение спектров излучения атомов, молекул и ионов, возбуждённых различными источниками элек-

тромагнитного излучения с целью качественного и количественного определения состава вещества. Методы эмиссионной спектроскопии основываются на изучении структуры и свойств квантовых систем в соответствии с их спектрами излучения. При этом исследуемое вещество, в которое поступает аэрозоль из раствора с окислителем и топливным газом, возбуждается пламенем горелки (дугой, искрой, плазмой). Под воздействием высокой температуры начинается ионизация вещества и излучение его атомами света определенной длины волны. Метод можно применять для определения щелочных и щелочноземельных элементов, лантанидов, некоторых переходных элементов, металлоорганических соединений.

Индуцируемая лазером спектроскопия является разновидностью атомной эмиссионной спектроскопии, в основе которой лежит использование высокоинтенсивного лазерного импульса. Этот метод позволяет анализировать вещество независимо от его состояния – твердого, жидкого или газообразного. Поскольку все химические элементы способны к излучению при нагревании до высоких температур, эта техника перспективна с точки зрения детектирования и идентификации биоаэрозолей. Преимуществом метода является возможность анализа образцов в нано- и пикоколичествах.

Абсорбционная спектроскопия. Атомно-абсорбционный анализ заключается в испарении исследуемого вещества (в пламени графитовой трубки, плазме высокочастотного разряда), после чего через пар вещества пропускают оптическое излучение. Регистрация степени ослабления интенсивностей определяющих линий элемента даёт возможность оценивать концентрацию его в образце. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии перспективен с точки зрения исследования объектов окружающей среды, в частности атмосферы, почв, водоемов. На сегодняшний день метод позволяет определить до 70 различных химических элементов и токсичных металлов.

Колориметрические способы. Указанные методы основаны на измерении ослабления светового потока за счет поглощения света исследуемым веществом. Определяющий ингредиент переводят в окрашенное состояние с помощью специфической химической реакции. Приборы, используемые в колориметрии, связаны либо с визуальным сравнением окраски рабочего и стандартного растворов (колориметры), либо с определением абсолютных или относительных интенсивностей световых потоков, проходящих через раствор (фотометры). К преимуществам спектрофотометрических методов можно отнести их простоту и относительно недорогое оборудование, а недостатком является значительная продолжительность процесса измерений.

Инфракрасная спектроскопия – раздел спектроскопии, изучающий взаимодействие инфракрасного излучения с веществами. Экспериментальным результатом в ИК-спектроскопии является инфракрасный спектр -

функция интенсивности пропущенного инфракрасного излучения от его частоты. Обычно инфракрасный спектр содержит ряд полос поглощения, по положению и относительной интенсивности которых делается вывод о строении изучаемого образца. Именно частоты собственных колебаний таких молекул как CO_2, NH_3, H_2S, SO_2, O_3 и т.д. проявляются в спектрах инфракрасного поглощения.

Оптико-акустическая спектроскопия. При прохождении оптическим излучением исследуемого объекта происходит поглощение кванта света молекулами объекта, их возбуждение и переход на высокий энергетический уровень. Возбужденные молекулы, возвращающиеся в основное состояние, отдают остаток энергии в виде тепла окружающей среде. Чувствительность метода достигает 10^{-7}-10^{-9} $см^{-1}$. К недостаткам метода можно отнести влияние вибраций и акустических шумов, зависимость чувствительности метода от давления исследуемого газа, сложная процедура калибровки спектров, большие (более 10 %) погрешности измерений коэффициента поглощения.

Спектроскопия на основе Фурье-преобразования. В интерферометре Майкельсона используется источник монохроматического оптического излучения. Одно из зеркал интерферометра способно двигаться поступательно. Если это зеркало перемещается на расстояние, равное четверти длины волны, то два луча будут находиться в противофазе.

При движении зеркала с постоянной скоростью детектор будет регистрировать модулированный по синусоидальному закону световой сигнал.

Традиционная спектроскопия оперирует в частотном масштабе, т.е. исследует мощность оптического излучения в зависимости от частоты (длины волны). Спектроскопия Фурье-преобразования использует временной масштаб, если регистрируются изменения мощности оптического излучения во времени. Если использовать источник не монохроматического оптического излучения, то благодаря Фурье-преобразованию можно любому частотному спектру сопоставить специфическую интерферограмму - так называемый спектр Фурье. Методы спектроскопии Фурье-преобразования характеризуются точностью и воспроизводимостью.

Спектроскопия отражения в ближней инфракрасной области спектра. Ближняя инфракрасная область спектра ограничивается диапазоном 760-2500 нм. Поглощение в ближней инфракрасной области обусловлено прежде всего участием высших гармоник (обертонов) основных колебаний и комбинации этих гармоник с основными колебаниями. Возникновению обертонов способствует наличие в атомных структурах характерных групп, таких как -OH, -CH, -NH, C=O, H-O-H и т.д. Преимуществом метода спектроскопии отражения в ближней инфракрасной области является возможность работы с высокими концентрациями жидких образцов, а также с твердыми (или сыпучими) непрозрачными материалами за счет слабого поглощения в данной области спектра. Высокая способность объ-

ектов отражать волны в ближней инфракрасной области позволяет делать количественный и качественный анализ с высокой степенью селективности: этому обстоятельству способствует разнообразие обертонов и их комбинаций, формирующих специфические спектры отражения.

Спектроскопия упругого рассеяния. К этому типу рассеяния оптического излучения можно отнести такое рассеяние, при котором частоты падающего и рассеянного излучений одинаковы. Есть три типа упругого рассеяния.

Рассеяние Релея возникает за счет смещения связанных электронов под воздействием электрического поля, падающего на молекулу. Это поле способствует образованию колеблющегося диполя и электромагнитного излучения такой же частоты. Рассеяние Релея характеризуется тем, что интенсивность рассеиваемого излучения изменяется в зависимости от четвертой степени длины световой волны. Именно такой зависимостью можно объяснить естественный голубой цвет неба, получаемый за счет отражения солнечного света от частиц пыли и водяного пара, присутствующих в атмосфере.

Рассеяние Ми происходит на частицах больших размеров и сопровождается возникновением интерференции света, что приводит к появлению интерференционной картины и существенному изменению диаграммы углового распределения рассеянного света.

Рассеяние Дебая соответствует промежуточному случаю между двумя предыдущими типами рассеяния – Релея и Ми. Анализ характера рассеяния Дебая и Ми лежит в основе нефелометрии и турбидиметрии - техники определения размеров частиц, суспендированных в жидкости.

Методы спектроскопии комбинационного рассеяния также применяются для анализа состояния окружающей среды. Этот тип рассеяния включает утрату или приобретение кванта колебательной энергии молекулой. Речь идет о неупругом световом рассеянии, когда падающий фотон имеет энергию значительно большую, чем энергия, которую колебательный квант теряет из-за возбуждения молекулы – остаток энергии рассеивается. Недостатком метода спектроскопии комбинационного рассеяния есть потребность в мощных лазерах как источниках излучения.

Флуоресцентная спектроскопия. Сущность флуоресцентных методов состоит в облучении вещества, возбуждении молекулы этого вещества и излучении света посредством флуоресценции. Длина волны излучения флуоресценции постоянно превосходит длину волны возбуждения. Регистрация различных параметров флуоресценции (интенсивности, спектров излучения и возбуждения, временной кинетики, поляризации и т.п.) дает возможность получить информацию о веществе, являющемся объектом исследования. Преимуществами методов флуоресцентной спектроскопии является высокая чувствительность, малые (до 10^{-12} г) количества вещества, необходимого для исследования, селективность и универсальность.

9.5. Ионизационные методы

Ионизационные методы базируются на ионизации анализируемого вещества и измерении силы ионного тока, пропорциональной концентрации определяемого компонента. Есть разные методы ионизации вещества. Из них наибольшее применение в практике аналитических измерений получили следующие:

- ионизация газов электронами, полученными с помощью авто- или термоэлектронной эмиссии;
- ионизация газов посредством электрического разряда;
- облучение вещества радиоактивным или рентгеновским излучением;
- облучение вещества оптическим излучением;
- ионизация путем сильного разогрева вещества, такую ионизацию принято называть термической или термоионизацией.

Наиболее распространены пламенно-ионизационные, масс-спектрометрические и радиоизотопные методы.

В основе пламенно-ионизационного метода лежит применение термической ионизации – для разогрева анализируемого вещества, используется водородное пламя. Для реализации этого метода используется измерительный преобразователь, называемый пламенно-ионизационным детектором. В практике контроля загрязнения атмосферного воздуха пламенно-ионизационный метод нашел применение в автоматических газоанализаторах, предназначенных для определения концентрации углеводородов.

В основе масс-спектрометрического метода лежит разделение всех ионов, полученных в процессе ионизации, на отдельные пучки. Каждый из этих пучков содержит ионы с определенным отношением массы иона к его заряду. Измеряя силу ионного тока в полученных пучках, можно судить о концентрации всех компонентов анализируемого вещества.

Ионизацию вещества при использовании радиоизотопных методов осуществляют с помощью радиоактивного излучения. В практике измерений наибольшее распространение получили 2 основных вида такого излучения, обладающие достаточно высокой ионизирующей способностью – это α-излучение (ядра атомов гелия) и β-излучение (электроны, позитроны).

Основной частью прибора, реализующего радиоизотопный метод, является ионизационная камера, через которую пропускается анализируемый газ. Внутри камеры размещают коллектор ионов и источник излучения. Радиоизотопные анализаторы газов, построенные по дифференциальной схеме, имеют практически линейную функцию преобразования, высокую чувствительность и способны работать при высоких (до 300 ºС) температурах.

9.6. Тепловые методы

В основе тепловых методов лежит зависимость тепловых свойств вещества, от его состава и концентрации компонентов. В этом методе используется предположение, что теплообмен в системе проводник-газ осуществляется исключительно за счет теплопроводности. Измерительные приборы, основанные на методе теплопроводности, называют катарометрами.

В практике контроля состояния природной среды метод теплопроводности находит свое применение, как для построения автоматических газоанализаторов, так и для создания детекторов, работающих в составе газовых хроматографов.

9.7. Хроматографический метод

Это один из наиболее эффективных методов анализа качественного и количественного состава веществ, содержащих значительное число компонентов (до 100 - 200). Хроматографический анализ выполняется в два этапа. На первом этапе анализируемое вещество разделяется на отдельные компоненты, на втором определяются концентрации каждого из них.

Особый интерес в хроматографическом методе представляет первый этап – разделение на компоненты. Он начинается с включения небольшого объёма вещества (пробы) в состав подвижной фазы, которая перемещается вдоль длинной трубки, названной хроматографической колонкой.

Если выполняется анализ газовой смеси, то основой подвижной фазы является газ-носитель, который прокачивается через хроматографическую колонку с помощью насоса. Если анализируется жидкое или твердое вещество, основой подвижной фазы является жидкость, перемещаемая вдоль хроматографической колонки под действием перепада давлений, капиллярных или гравитационных сил.

Хроматографическая колонка по всей длине заполняется специальным веществом, образующим неподвижную фазу. В процессе перемещения подвижная фаза входит в контакт с неподвижной фазой, и компоненты пробы вещества распределяются между фазами в соответствии с их свойствами. Причем чем сильнее данный компонент взаимодействует с неподвижной фазой, тем медленнее он двигается вдоль хроматографической колонки. В результате пути, пройденные разными компонентами к определенному моменту времени, будут разными. Произойдет пространственное распределение компонентов по длине хроматографической колонки, и они подойдут к выходу из колонки поочередно.

В зависимости от агрегатного состояния подвижной фазы различают две основные разновидности хроматографического метода, называемые

соответственно газовая хроматография и жидкостная хроматография. Газовая хроматография используется для анализа газовых смесей и паров.

В газоадсорбционной хроматографии используется твердый сорбент – вещество, отличающееся пористостью и химической инертностью. Как правило, это оксид алюминия, силикагель и т.п.

В газо-жидкостной хроматографии роль неподвижной фазы выполняет жидкость, нанесенная тонким слоем на инертный жёсткий носитель (диоксид кремния, полимеры и т.п.). Разновидностью этого вида хроматографии является капиллярная хроматография. В ней жидкость наносят непосредственно на тонкие стенки (диаметром 0,2 – 0,4 мм) трубки длиной до 100 м и более. Погрешность измерения концентрации с помощью газовых хроматографов обычно составляет 5 - 10 %. Хроматографы высших классов обеспечивают погрешности не меньше 0,5 - 2 %.

Работа детекторов, как правило, базируется на выборочном поглощении оптического излучения в разных участках спектра, то есть на спектрофотометрическом методе.

9.8. Методы измерений концентрации пыли в воздухе

Значительную часть промышленных выбросов, загрязняющих атмосферный воздух, составляет пыль. Содержание пыли в воздухе принято оценивать с помощью массовой концентрации пыли. Она равна суммарной массе пылевых частиц, содержащихся в единице объёма воздуха. Важное значение имеют такие характеристики пыли, как химический состав, распределение его частиц по размерам и т.д.

Методы измерений концентрации пыли в воздухе принято делить на две группы – с предварительным осаждением пыли и без предварительного осаждения.

Методы, основанные на предварительном осаждении пыли, включают:

– на первом этапе осуществляется выделение (осаждение) пыли из анализируемого воздуха. Чаще всего для этой цели используется метод фильтрации запыленного воздуха через фильтр из специальной ткани;

– на втором этапе оценивается количество осажденной пыли. Для этого используются электрические и неэлектрические способы.

Преимуществом этих методов является то, что через прибор прокачивается достаточно большой объём воздуха и измеренное значение массовой концентрации будет средним для этого объема.

Методы без предварительного осаждения пыли разделяют на:

– оптические, основанные на явлениях поглощения и рассеяния света частицами пыли;

– электростатические, основанные на измерении суммарного электрического заряда частиц пыли.

При использовании оптических методов мерой концентрации пыли является интенсивность ослабленного в результате прохождения через слой запыленного воздуха.

Определение концентрации пыли электростатическими методами базируется на измерении электрического заряда аэрозольных частиц. Важной частью прибора является измерительный электрод, который располагается в потоке анализируемого воздуха. В результате контакта с частицами пыли электрод приобретает заряд, размер которого зависит от суммарной площади поверхности пылевых частиц.

В настоящее время наибольшее практическое применение нашла группа методов, базирующихся на предварительном осаждении пыли. Для определения массы осажденной пыли в сети контроля загрязнения атмосферы используется весовой метод.

9.10. Электрохимические методы анализа загрязняющих веществ

В основе электрохимических методов лежит использование электрохимических преобразователей. Для заполнения ячейки электрохимических преобразователей используются исключительно электропроводящие растворы. Вещества, образующие такие растворы, называются электролитами. Функции растворителя в электрохимических преобразователях обычно выполняет вода. Могут использоваться также другие растворители, например, этанол, этиленгликоль и другие.

Электролиты, диссоциирующие в растворах не полностью, называются слабыми. Электролиты, которые практически полностью диссоциируют в водных растворах, называются сильными. К сильным электролитам относятся большинство солей, гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов, некоторые кислоты (HCl, HBr, HI, HCl, HNO_3, H_2SO_4 и др.).

Для описания состояния ионов в растворе часто пользуются величиной, называемой активностью (моль/л). Она определяет условную (эффективную) концентрацию ионов, согласно которой они действуют в химических процессах.

Для характеристики степени кислотности раствора широко используется водородный показатель pH, описывающий активность водородных ионов H^+. Диапазон изменения pH для водных растворов составляет 0...14 единиц.

Электролиз является окислительно-восстановительным процессом, при котором процессы окисления и восстановления разделены друг от друга в пространстве. Их называют соответственно анодным окислением и катодным восстановлением. Отметим, что при электролизе водных растворов электролитов в этих процессах могут участвовать как ионы электролита и молекулы воды.

Кондуктометрический способ. Кондуктометрический метод основан на зависимости электропроводности растворов от их состава и концентрации компонентов. Этот метод широко применяется для измерения концентрации солей, оснований и кислот в жидких средах и расплавах, для измерения солёности воды, в том числе, в Мировом океане, измерения концентрации газов по изменению электропроводности раствора при поглощении им пробы анализируемого газа.

Приборы, основанные на рассматриваемом методе, называются в зависимости от объекта измерения – кондуктометрические концентратомеры, соленомеры, кондуктометрические газоанализаторы и т.д.

Кондуктометрические концентратомеры, выпускаемые промышленностью, обеспечивают измерение электрической проводимости в жидких средах с погрешностью (1...5) % при температурах (0...110) ºС и давлениях до 106 Па.

При контроле загрязнения воздуха кондуктометрические газоанализаторы применяются для измерений малых концентраций широкого класса газов (CO, SO_2, H_2S, NH_3 и др.). При этом погрешность измерений не превышает 5 %.

Потенциометрический способ. При использовании потенциометрического метода электрохимическая ячейка работает в режиме гальванического элемента.

ЭДС, вырабатываемая таким элементом, зависит от концентрации соответствующих ионов в анализируемом растворе. При использовании метода граничного потенциала электрохимическая ячейка состоит из двух частей (камер): измерительной и сравнительной. Измерительная камера заполняется анализируемым раствором, сравнительная – специальным раствором известной концентрации. Камеры разделены ионообменной мембраной.

Более широкое применение получил метод электродных потенциалов, основанный на применении гальванических преобразователей. Этот метод нашел широкое применение для измерения активности водородных ионов H^+. Приборы, предназначенные для этих целей, называются pH-метрами.

Амперометрический метод базируется на измерении силы тока, протекающего через ячейку при электролизе анализируемого вещества или вещества, реагирующего с детектируемым компонентом.

Амперометрический метод широко используется при построении газоанализаторов. В них исследуемую газовую смесь (например, атмосферный воздух) пропускают через электрохимическую ячейку, заполненную специальным раствором. В результате реакции компонента газовой смеси с этим раствором образуются ионы, участвующие в электролизе и определяющие силу тока через электрохимическую ячейку.

Разновидностью амперометрического способа является **полярографический**. Его важнейшей особенностью является применение электрохимической ячейки со специальной системой электродов, обеспечивающей возможность одновременно производить качественный и количественный анализ многокомпонентных растворов. Концентрации компонентов оцениваются по высоте соответствующих ступеней полярограммы.

Для воспроизводимости результатов полярографических измерений необходимо, чтобы рабочий электрод имел однородную и непрерывно обновляемую поверхность, и процесс диффузии ионов к электроду носил стационарный характер.

9.11. Методы оценки и анализа состояния окружающей среды

Одной из главных составляющих экологического мониторинга является оценка и анализ состояния окружающей среды. Осуществление наблюдений за состоянием окружающей среды не должно быть самоцелью – важен не столько сбор информации, сколько её обработка и использование для принятия решений, направленных на улучшение состояния окружающей среды или поддержание её на заданном уровне в соответствии с концепцией устойчивого развития. В таких условиях значительная роль отводится всестороннему анализу и корректной обработке экологической информации.

Информация о состоянии окружающей среды является классическим примером пространственно-ориентированной информации. Экологическая информация характеризует объекты, которые распределены в пространстве: реки, атмосферный воздух, леса, почвы, моря и т.д.

Существуют математические методы, которые позволяют анализировать закономерности процессов и явлений, которые изменяются во времени и в пространстве.

Рассмотрим наиболее распространенные из них, которые используются в системе экологического мониторинга для анализа и оценки разного рода характеристик и показателей состояния окружающей среды:

1. Сравнение данных и определение их максимума и минимума:

- сравнение показателей состояния окружающей среды с их ПДК;
- определение максимального значения;

– определение минимального значения.

2. Статистическая обработка данных:

– построение вариационного ряда;

- построение гистограммы;
- идентификация закона распределения;
- определение основных статистических характеристик: среднего арифметического, среднеквадратического отклонения, дисперсии, медианы, моды, эксцесса, коэффициента асимметрии и т.д.

3. Интерполяция данных:

- обычная интерполяция, то есть нахождение значения функции между несколькими заданными уже известными;

- аппроксимация, то есть идентификация параметров и структуры математической зависимости, описывающей заданный набор точек;

- экстраполяция, то есть вычисление значений функции вне того интервала, на котором эта функция строилась.

4. Сглаживание данных.

Сравнение данных и определение их максимума и минимума – это достаточно простые, но наиболее распространенные операции обработки данных наблюдений.

Для системы мониторинга регионального уровня такой объем обработки данных является сложным и длительным процессом. Поэтому его лучше автоматизировать с использованием систем управления базами данных. Статистическую обработку данных начинают с формирования вариационного ряда по известным правилам и критериям. Далее строится график или гистограмма эмпирического закона распределения значений показателя. По ним формируются гипотезы о законе распределения и по критериям согласия (Пирсона, Колмогорова и др.) определяется, какая из этих гипотез является правильной. Далее для определенного закона распределения вычисляются статистические характеристики: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, медиана, мода, эксцесс, коэффициент асимметрии и т.д. Наиболее распространены два типа интерполяции в пространстве – одно- и двумерная, позволяющая по многим точкам построить кривую или поверхность, что может приближенно описать зависимость определенного параметра от одной или двух координат.

Интерполяция данных может рассматриваться как сравнительно простой способ решения задач моделирования и прогнозирования данных без учета физико-химической и биологической природы рассматриваемых процессов. Интерполяция может выполняться следующими методами:

1) линейная интерполяция;

2) полиномиальная интерполяция – интерполяция путем аппроксимации заданной зависимости полиномом n-го;

3) сплайн-интерполяция – интерполирование набором сплайнов (полиномиальных кривых 1-3 порядка с минимальной кривизной), которые «сшиваются» между собой путем согласования всех возможных производных;

Аппроксимация, то есть идентификация параметров и структуры математической зависимости, описывающая заданный набор точек, выполняется в следующей последовательности:

1. Строится график зависимости y_i от x_i (i=1, M).

2. Определяется тип математической зависимости y(x), которой можно описать линию на графике – наибольшее распространение в экологии получили следующие зависимости:

- линейная зависимость типа: $y(x) = ax + b$;
- нелинейная полиномиальная зависимость:

$y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0$;

- экспоненциальная зависимость, которая является решением обычного дифференциального уравнения первого порядка $y(x) = ae^{-bx+c}$, $b > 0$;
- нелинейная зависимость типа $y(x)=a/(1+bx)$
- логарифмическая зависимость $y(x) = a \cdot \ln(bx + c)$, $bx + c > 0$;
- тригонометрическая зависимость $y(x) = a + b \cdot \sin(ct + d)$.

Как правило, на данном этапе выбирают несколько функций; если не удается чётко определить тип зависимости, тогда аппроксимацию проводят полиномом при n = 2 - 6.

3. Заданный набор точек функции y_i от x_i (i=1, M) разбивается на две части: N используются для идентификации параметров, выбранных на втором этапе математических зависимостей, а остальные P = M – N для независимой проверки правильности идентификации и выявления более точной идентификации заданной линии по всем значениям массива точек M.

4. По набору из N точек y_i от x_i (i=1, N) проводится идентификация параметров всех выбранных на втором этапе математических зависимостей. Наиболее распространенным методом идентификации является метод наименьших квадратов.

5. В массиве из P точек y_i от x_i (i=1) определяются относительные погрешности для всех математических зависимостей с идентифицированными на предыдущем этапе параметрами.

6. Проводится идентификация структуры математической зависимости – из идентифицированных на четвертом этапе зависимостей выбирается такая, которая имеет малейшую погрешность σ, найденную на пятом этапе.

Экстраполяция, реализуется в такой последовательности:

1) для заданного набора данных решается задача аппроксимации и идентифицируется математическая зависимость $y = f(x)$;

2) в эту математическую зависимость подставляется значение аргумента, которое следует спрогнозировать, и производится соответствующий расчет.

Сглаживание данных сводится к построению кривой, имеющей наименьшую кривизну, воспроизводя тренд функции. Сглаживание уменьшает «пики» и «провалы» заданного случайного процесса.

Для реализации широкого круга методов математической обработки данных существуют специальные математические пакеты: Matlab, Scilab, Maple, Mathcad, Mathematica, Statistica и другие.

9.12. Методы прогнозирования состояния окружающей среды

Для прогнозирования изменений состояния окружающей среды необходимо иметь данные о его современном и прошлом состояниях и возможных реакциях природных экосистем на техногенные воздействия.

Под прогнозированием антропогенных воздействий и изменений состояния окружающей среды подразумевают процесс получения вероятностных суждений о характере и параметрах будущих изменений.

Прогнозная оценка антропогенных воздействий предполагает сопоставление прогнозируемых параметров, которыми характеризуются эти воздействия, с научно-обоснованными приемлемыми значениями.

Наиболее распространенные методы прогнозирования при экологическом мониторинге:

– метод экстраполяции;

– метод экспертных оценок;

– метод математического моделирования.

1. **Метод экстраполяции** - логико-методологическая процедура переноса выводов, сделанных на основе какой-либо части объектов или явлений на всё множество данных объектов или явлений, а также на их другую какую-либо часть. При этом период наблюдений должен быть в несколько раз больше прогнозируемого периода. Для экстраполяции можно использовать математические методы, в частности метод наименьших квадратов. Простейший в применении метод графической экстраполяции, который для повышения точности прогнозирования может сочетаться с методом наименьших квадратов и регрессионным анализом.

Метод экстраполяции используют выборочно для краткосрочных прогнозов в вариантах равномерного развития действий в течение значимого срока.

2. **Метод экспертных оценок** относится к эвристическому прогнозированию, среди которых наиболее развит метод Делфи. Основными элементами метода Делфи являются:

1. Структурирование потоков информации как от экспертов, так и к ним;

2. Обратные информационные связи между участниками;

3. Анонимность участников.

Достоинства метода Делфи:

1. Он является объективным способом прогнозирования очень сложных процессов, для которых нет адекватных формализованных моделей;

2. Иногда возложение на интуицию не только допустимо, но и необходимо, как в случае сложных непредсказуемых проблем.

Недостатки метода Делфи:

1. Зависимость полученного прогноза от уровня компетентности экспертов-участников;

2. Чувствительность результатов к вероятной неопределенности в анкетах;

3. Трудности с оценкой квалификации экспертов, участвующих в исследовании.

Суть метода состоит в получении специализированных экспертных оценок и обработке анкет методами математической статистики. Опросные листы составляют из последовательности основных факторов и эффектов воздействия, размещенных по определенным рангам значимости. Затем, по результатам обработки опросных листов, определяется для каждого фактора или эффекта его «вес». Далее методами математической статистики определяют математическое ожидание, дисперсию оценок экспертов по каждой характеристике, оценку согласованности суждений.

Применение метода Делфи наиболее приемлемо для исследования какой-либо одной проблемы, то есть для однофакторного анализа и прогнозирования.

3. **Метод математического моделирования**. Моделирование – это теоретическое или практическое исследование объекта, в котором непосредственно изучается не сам объект познания, а вспомогательная искусственная или природная система, находящаяся в некотором объективном отношении с объектом познания, способная его заменять в определенном отношении и дающая при его исследовании в конечном счете информацию о самом моделируемом объекте.

Моделирование основывается на методах теории подобия. Подобными называются явления, в которых все процессы (полное сходство) или наиболее существенные при данном исследовании (неполное или локальное сходство) в любой момент времени и в любой точке пространства отличаются от соответствующих параметров другого явления в определенное (постоянное) число раз.

Сходство явлений может быть физическим и математическим. В физических подобных явлениях все процессы (основные для данного исследования) имеют одинаковое физическое происхождение. В математически подобных явлениях процессы имеют разное физическое происхождение, но описываются одинаковыми уравнениями.

Возможности установления сходства при математическом моделировании выявляют с помощью теории подобия, основанной на анализе соответствующих уравнений, а также экспериментальной проверкой.

Модели делят на следующие основные группы:

- математические – предназначены для исследования явлений на установках, позволяющих реализовать математическое сходство;

- геометрические – дают только геометрическое сходство без отражения сути происходящих явлений;

- физические – для исследования явлений на установках, сохраняющих сходство основных физических процессов исследуемого явления.

Наиболее распространенные в научных исследованиях физические и математические модели.

Физическое моделирование позволяет заменить в процессе исследования сложные объекты и процессы более простыми и исследовать на основе этого вместо реальных объектов и процессов их простые заменители. При этом они дают возможность наблюдать за многими реальными процессами или явлениями. Посредством физических моделей становится возможным изучать и прогнозировать влияние отдельных параметров на исследуемые объекты.

Математические модели позволяют количественно исследовать процессы и явления, трудно поддающиеся изучению на физических моделях. Математическим моделированием можно предусмотреть свойства или поведение изучаемого объекта или процесса ещё до создания.

Первым этапом при прогнозировании является сбор и анализ необходимой исходной информации, касающейся источников, факторов и параметров процессов антропогенного воздействия в ретроспективе и в настоящее время. Значительная часть указанной исходной информации может быть получена в блоке экологического мониторинга.

Второй этап прогнозирования заключается в создании математической модели процесса антропогенного воздействия на окружающую среду, а также методов идентификации параметров и структуры по входным данным. Модель разрабатывается с учетом данных ретроспективного моделируемого анализа процесса антропогенного воздействия. Важная роль принадлежит установлению эмпирических или подтверждению теоретических закономерностей формирования факторов антропогенного воздействия.

Третьим этапом прогнозирования является проведение необходимых расчетов и визуализация результатов. Результаты расчетов должны быть представлены в виде, удобном для оценки антропогенного воздействия на объекты окружающей среды.

На заключительном четвертом этапе прогнозирования делается оценка адекватности модели настоящим действиям и вероятности получаемой прогнозной информации. При этом могут использоваться разные методы.

Поскольку будущая ситуация, связанная с антропогенным влиянием, зависит от многих факторов стохастической природы и характеризуется неопределенностью, то в таком случае наиболее подходящий метод максимума правдоподобия. Указанный метод основывается на вероятностном подходе. Главная идея метода состоит в определении так называемой функции правдоподобия. Как правило, за такую функцию принимается условная плотность вероятности.

Широкое применение в задачах прогнозирования находит и достаточно известный метод наименьших квадратов, являющийся частным случаем метода максимального правдоподобия, когда препятствия и возму-

щения, накладываемые на детерминированную часть прогнозируемого процесса, аддитивны и имеют нормальное распределение.

9.13. Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определения величины, значение величины, числовое значение величины, размерность величины.
2. Дайте определения системы единиц измерений и средств измерений.
3. Погрешность результата измерения.
4. Округление измеряемых величин.
5. Аналитические методы анализа веществ.
6. Оптико-спектральные методы анализа веществ.
7. Ионизационные методы.
8. Хроматографический метод.
9. Методы измерений концентрации пыли в воздухе.
10. Электрохимические методы анализа загрязняющих веществ.
11. Методы оценки и анализа состояния окружающей среды.
12. Методы прогнозирования состояния окружающей среды.

Глава 10. ЛОКАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ

В Донецком регионе 80 % всех породных отвалов находится в черте горнопромышленных агломераций, зачастую в пределах санитарно-защитной зоны находится жилье. Мероприятия по переселению населения жилой застройки, находящейся в санитарно-защитной зоне породных отвалов, не проводятся. Размеры зон влияния породных отвалов в несколько раз превышают их площади. Остро стоит проблема горящих породных отвалов, они зафиксированы практически на всех континентах земного шара (рис. 10.1).

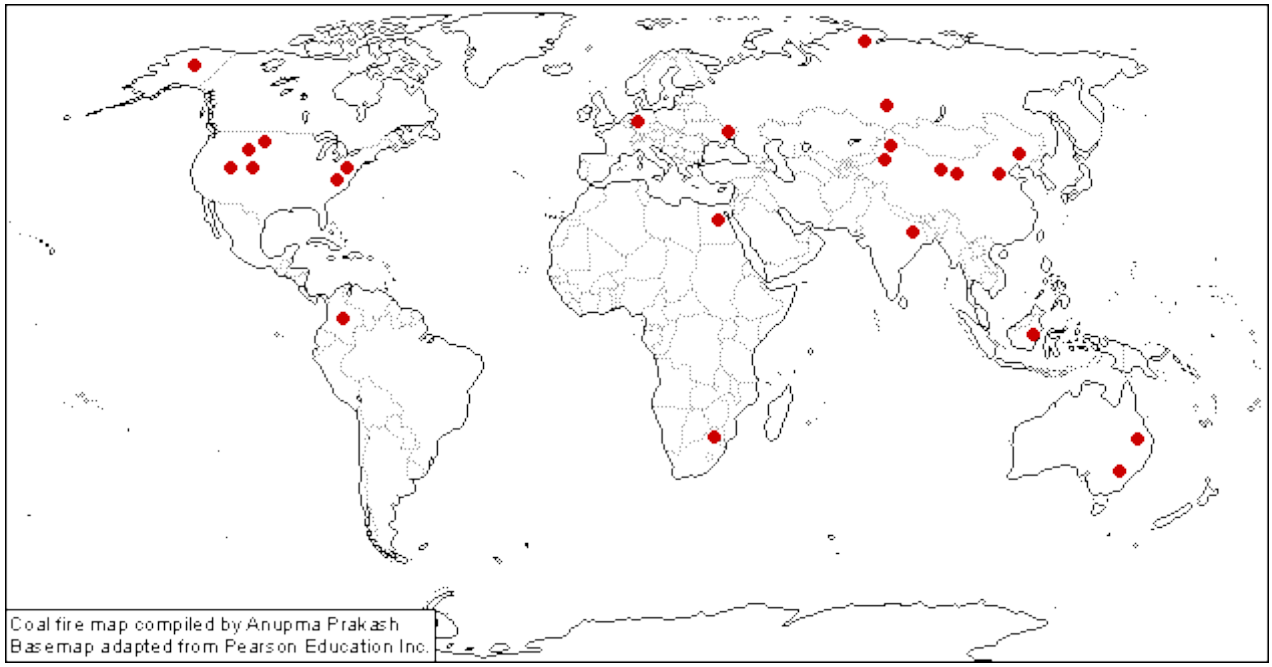

Рис. 10.1. Зоны влияния горящих породных отвалов

В экологически вредных и опасных для здоровья и жизни условиях вынуждены находиться жители, проживающие в пределах зоны влияния горящих породных отвалов. Горение породных сопровождается выбросом токсичных газов, загрязнением почв и поверхностных водоемов. Горящие породные отвалы Донбасса ежегодно выделяют в атмосферу около 300 000 тонн загрязняющих веществ в том числе парниковых газов. Установлено, что в угледобывающих районах горящие породные отвалы выбрасывают в сутки в среднем 9,758 т CO; 154,170 т - CO_2; 1,476 т - SO_2; 0,399 т - H_2S и 0,072 т NO + NO_2.

Для выбора оптимального комплекса мероприятий по предупреждению и ликвидации пожаров необходим своевременный экологический мо-

ниторинг отвальных пород. В качестве критерия экологической опасности здесь используется **тепловое состояние породного отвала**.

Мониторинг теплового состояния породных отвалов может проводиться как контактным путем – с помощью термопар, забитых в отвальную массу, так и дистанционно – с помощью тепловизионной техники и беспилотных летательных аппаратов, с помощью спутниковых данных (рис. 10.2).

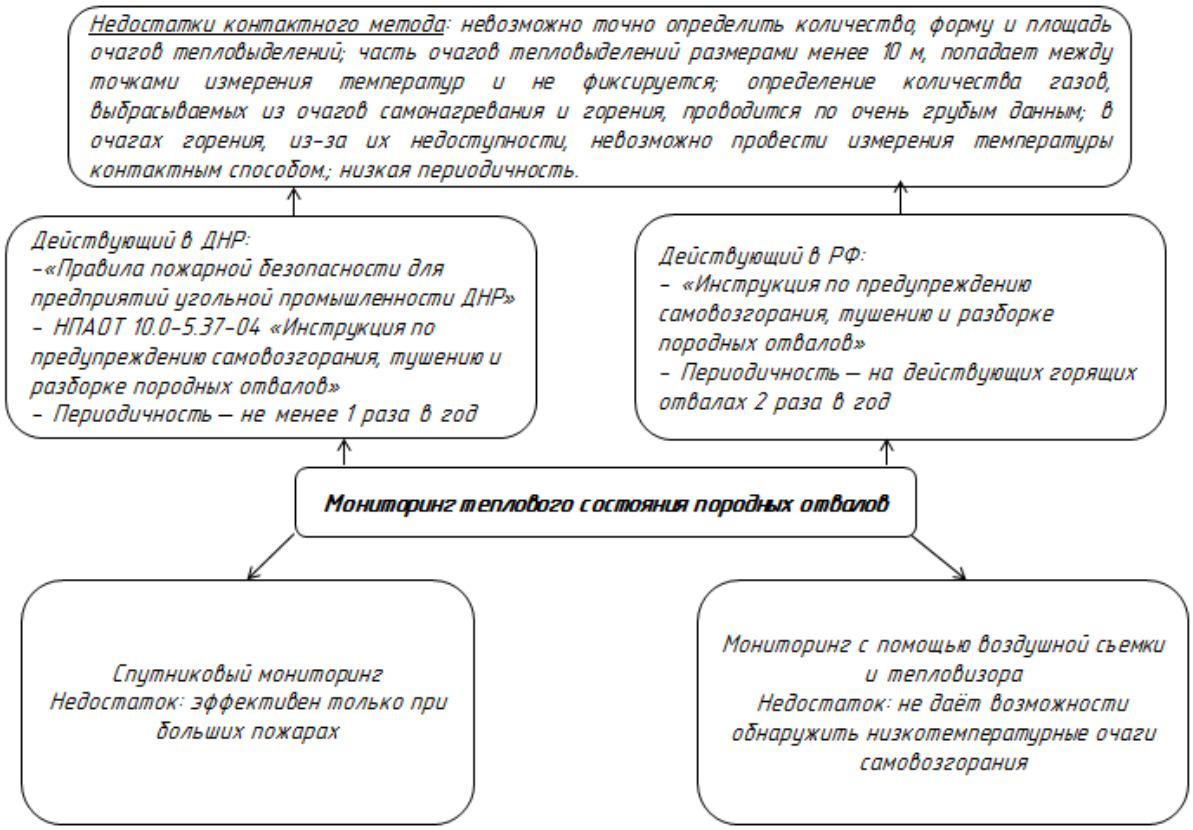

Рис. 10.2. Виды мониторинга теплового состояния породных отвалов

10.1. Контактные методы контроля теплового состояния породных отвалов

В соответствии с "Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности" N Пр-469 от 27 ноября 2020 г., принятой в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору тепловое состояние породных отвалов контролируют при проведении температурных съёмок.

Температурная съёмка породных отвалов проводится в соответствии с «Инструкцией по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов». Температурные съёмки проводятся на действующих (горящих и не горящих) и недействующих (горящих и не горящих) пород-

ных отвалах. Результаты температурных съёмок заносят в журнал регистрации температуры породного отвала.

Температурные съёмки проводятся:

– на действующих не горящих отвалах 3 раза в год: май, июль и сентябрь;

– на действующих горящих отвалах 2 раза в год: май и сентябрь;

– на недействующих горящих отвалах – 1 раз в год: сентябрь.

Точки замеров температуры располагаются через каждые 20 м; на откосах конических и хребтовидных отвалов – на расстоянии 10 м от вершины; на горизонтальной части плоских отвалов – 2 - 3 м от откосов. Замеры температуры проводятся на глубине 0,5, 1,5 и 2,5 м по рекомендуемым схемам расположения точек замеров температурных съёмок породных отвалов (рис. 10.3).

Температурные съёмки выполняются не менее чем двумя рабочими, имеющими при себе средства индивидуальной защиты и газоанализаторы.

До проведения температурных съёмок поверхность отвала обследуется. Участки породных отвалов, на которых выявлены пустоты, трещины, и участки с рыхлой поверхностью ограждаются, и около них устанавливаются предупреждающие знаки.

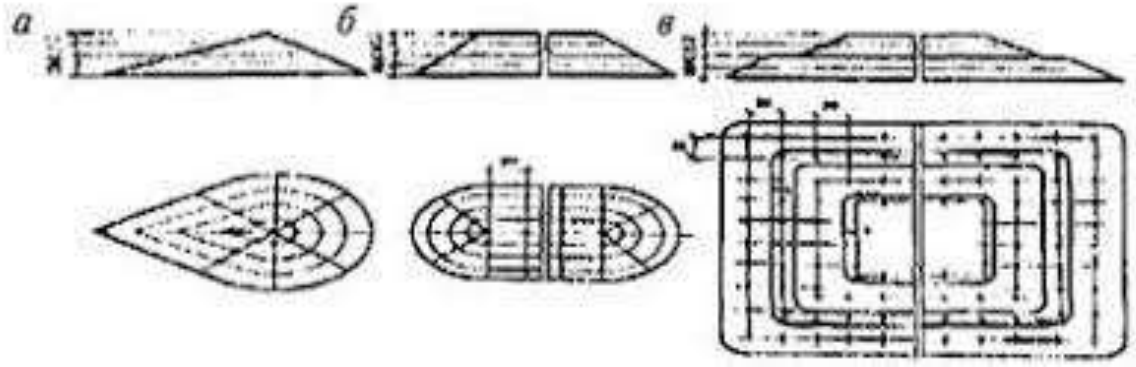

Рис. 10.3. Схемы расположения точек замеров температуры на породных отвалах: а - коническом; б - хребтовидном; в - плоском

Температурные съёмки не проводятся и/или прекращается их проведение при грозах и ливневых осадках; при обнаружении признаков деформации поверхности породного отвала и выгоревших участков.

На участках породного отвала, температура пород которых превышает более чем на 5 °С температуру вмещающих пород или составляет более 45 °С, принимаются меры по её снижению.

Перед началом работ по тушению или разборке горящих породных отвалов производятся контрольные температурные съёмки. Работы по тушению и разборке породных отвалов проводятся при контроле температуры пород разбираемого слоя. Температура перемещаемых при разборке пород не должна превышать 80 °С.

На отвалах большого объёма применяются технические средства, позволяющие обнаружить очаги самонагревания и самовозгорания на ранней стадии.

По результатам температурных съёмок производится оконтуривание очагов горения по площади и глубине. При наличии на поверхности отвала участков с температурой более 300 °С глубину и площадь распространения очагов горения определяют бурением скважин. Скважины на всю глубину обсаживают перфорированными на 1/3 их длины обсадными трубами.

Отвал относится к категории горящих, если на нем имеется хотя бы один очаг горения с температурой пород на глубине до 2,5 м более 80 °С.

В Российской Федерации контроль теплового состояния породных отвалов проводится в соответствии с «Инструкцией по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов», утвержденной приказом Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору N 738 от 23.12.2011 г. Температурная съемка в Российской Федерации также проводится контактным методом – с помощью термопар, погруженных в отвальную массу.

Существующая методика проведения контактной температурной съемки породных отвалов имеет ряд существенных недостатков - часть очагов тепловыделений размерами менее 10 м, без явных признаков горения, попадает между точками измерения температур и не фиксируется; в очагах горения, из-за их недоступности, невозможно провести измерения температуры контактным способом; по регламентированным схемам расположения точек замеров (по горизонтали - через 20 м, по вертикали - слои с высотой 10 м, на конических поверхностях - секторами через 45^0) на породных отвалах различной формы невозможно точно определить количество, форму и площадь очагов тепловыделений.

10.2. Дистанционные методы контроля теплового состояния породных отвалов

В мировой практике дистанционный тепловой контроль получил широкое практическое применение в космической отрасли, где разнообразие задач неразрушающего контроля не позволяет ограничиться одним или несколькими методами.

Стоимость работ на различные виды тепловизионных обследований была разработана Минэнерго СССР. В настоящее время стоимость работ составляет от 300 до 3000 долларов США на объекты типа участка теплотрассы, жилого дома, электрической подстанции, дымовой трубы, и т.п. Тепловизионная диагностика была признана Минэнерго РФ и РАО «ЕЭС России» в качестве штатного средства испытаний электроустановок. Тепловидение также применяется при обследованиях котлов и печей, дымовых труб, изотермических резервуаров для хранения сжиженных газов и

т.п. Тепловидение используется в качестве важного инструмента диагностики качества строительства и энергосбережения.

Работы по использованию тепловизионной техники для температурной съёмки ПО начались в СССР и за рубежом в 60-80-х годах прошлого столетия. Их широкое применение сдерживалось дороговизной инфракрасной (ИК) техники (30...800 тыс. $), преимущественным использованием её в военном деле, что связано с закрытостью такого рода тематики и дефицитом комплектующих изделий.

В этот период в НИИГД «Респиратор» был разработан и серийно изготовлялся ИК-прибор «Квант–РТ» для бесконтактного определения температуры нагретых тел в подземных условиях и на поверхности. Его основным недостатком была низкая разрешающая способность по линейным размерам тепловых «пятен». Это обусловлено конструкцией, в которой использован всего один чувствительный элемент, дающий интегральное значение температуры по всей визируемой поверхности. Это ограничивало расстояние съёмки дистанцией в несколько метров. Для съёмки больших площадей этот вид ИК-техники был неприемлем.

Для съёмки пространств, соизмеримых с боковой поверхностью породных отвалов (высота – 20...140 м, ширина 70...600 м) использовались тепловизоры – устройства аналогичные приборам ночного видения, в которых на экране электронно-лучевой трубки отображалась тепловая картина поверхности объекта. После выявления координат тепловых «пятен», дальнейшую съемку производили контактными приборами. В Донбассе для этих целей применяли импортные тепловизоры шведского и британского производства, как правило, это были отработавшие свой ресурс приборы весьма ненадежные и дорогие (10...15 тыс. $).

Прорывом в рассматриваемом вопросе стала разработка специалистами отечественного матричного (420х420 элементов) теплочувствительного элемента, охлаждаемого жидким азотом, и соединенного с компьютером. На тот период это было пионерское решение, один из первых компьютерных термографов. Бесконтактным способом определялась температура любой самой опасной и недоступной поверхности. С помощью ПЭВМ появилась возможность определить с высокой точностью: температуру в точке, тепловой профиль по любой трассе, тепловые потоки с любой площади, построить изотермы и т.п. Стоимость такой техники составляла до 7...10 тыс. $, включая стоимость «ноутбука».

Появление современных тепловизоров и массовый характер их производства позволили существенно снизить стоимость тепловизионной техники. В настоящее время благодаря качеству и надежности распространение получили тепловизоры Fluke, Testo, Flir.

Использование тепловизоров возможно, как в ручном режиме, так и с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Массовое производство БПЛА, наиболее приближенных к требуемым техническим условиям использования, а также стабильных в управлении и в работе, делает их использование актуальным.

Беспилотные летательные аппараты позволяют обеспечить своевременное обнаружение очагов тепловыделения на начальной стадии горения, проанализировать состояние воздуха, наличие в нем вредных веществ и их концентрацию (табл. 10.1). Крупные БПЛА предназначены для непосредственного тушения пожаров. Многие производители тепловизоров предлагают готовые комплекты для дистанционной съёмки – тепловизор и БПЛА.

Таблица 10.1 - Характеристика некоторых БПЛА и тепловизоров (на апрель 2023 года)

Название	Время полета мин	Максимальная высота полета, м	Полезный груз, кг	Максимальная дальность полета, км
Геоскан 201	180	4000	1,5	210
Геоскан 401	60	500	2	24
Optiplane S2	60	3000	1,5	40
uDrone Пегас	65	3000	7	-
VolJet VTOL X8	90	1500	1	90
Supercam X6M2	55	2500	8	10
Supercam X4	40	500	4	5
ВРТ-300 (вертолетного типа)	300	5800	70	325

Впервые методы дистанционного зондирования для обнаружения и определения местоположения очагов самовозгорания на породных отвалах были применены в США в 1963 году в Скрантоне (штат Пенсильвания). В 60-е и 70-е годы многие американские ученые проводили наблюдения за горящими породными отвалами, используя тепловизионные камеры, размещенные на борту летательных аппаратов. Однако технические возможности тепловизионной техники в тот период давали очень грубую оценку температуры очагов самовозгорания.

С 1980-х годов данные многоспектрального сканирования и данные теплового инфракрасного сканирования использовались для исследования угольных пожаров и пожаров на породных отвалах в китайских районах Тайюань и Сишань. Исследования на основе данных многоспектрального воздушного сканирования продолжались в Индии, где Bhattacharya et al., Mukherjee et al. (1991) и Prakash et al. (1995) исследовали угольное месторождение, создавая карты угольных и породных пожаров, полученные на основе аэротермических данных. Подробная информация о возможности обнаружения пожара на породных отвалах по данным воздушного теплового сканера представлена Zhang, X. et al. На рис. 10.4 показан спутниковый снимок размером 20 × 20 км. Зеленый, красный и ближний инфра-

красный диапазоны датчика отображаются синим, зеленым и красным. На рисунке справа часть теплового изображения наложена на многоспектральное спутниковое изображение.

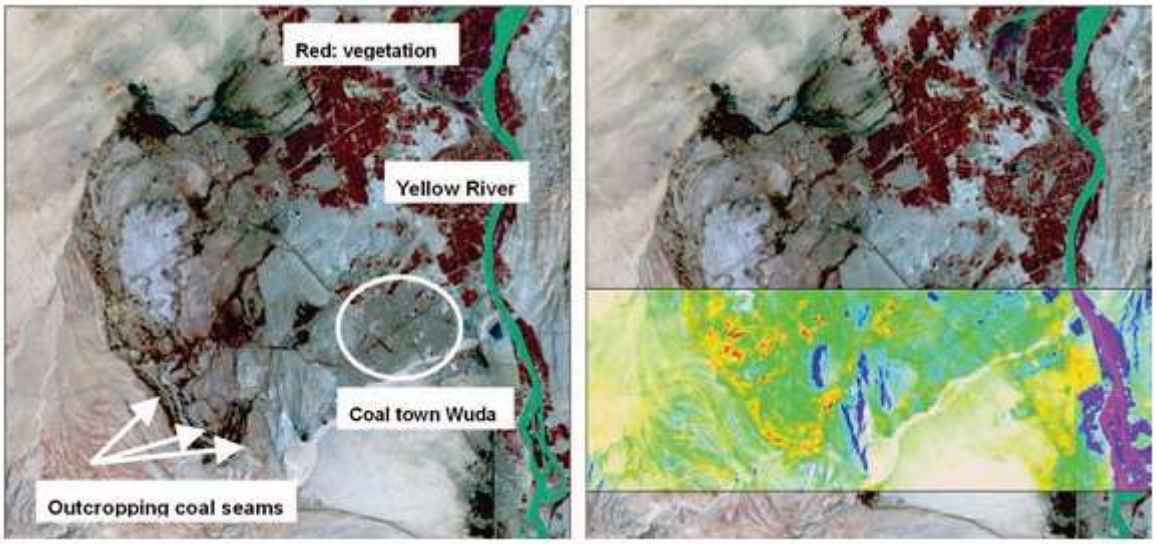

Рис. 10.4. Спутниковое изображение района добычи угля Уда с наложением части теплового изображения с цветовой кодировкой (справа) (протяженность: 20 × 20 км)

Угольные регионы Индии были изучены на основе данных спутниковых датчиков Mansor et al., используя тепловые и средние инфракрасные данные NOAA-AVHRR и тепловые данные Landsat-5 TM. Пракаш и Гупта применили данные теплового диапазона Landsat-5 TM с пространственным разрешением 120 м в той же области для извлечения термических аномалий на основе методов порогового определения. Установлено, что спутниковый мониторинг с применением данных Landsat-5 достаточен для обнаружения лишь крупных поверхностных пожаров.

Исследователи доказали, что пространственное разрешение спутника NOAA-AVHRR (1 км) слишком низкое для обнаружения подземных угольных разрезов на северо-западе Китая. То же самое относится в целом к необработанным данным разрешения 1 км от MODIS.

На рис. 10.5 представлена часть многоспектрального спутникового дневного изображения Landsat (ок. 80 × 80 км) угольных месторождений северной части Китая во Внутренней Монголии и Нинся, включая две основные зоны угольного разреза в регионе – Уда на севере и Руджигу на востоке. Жёлтым цветом наложены тепловые аномалии, извлеченные из тепловых ночных данных спутника Landsat.

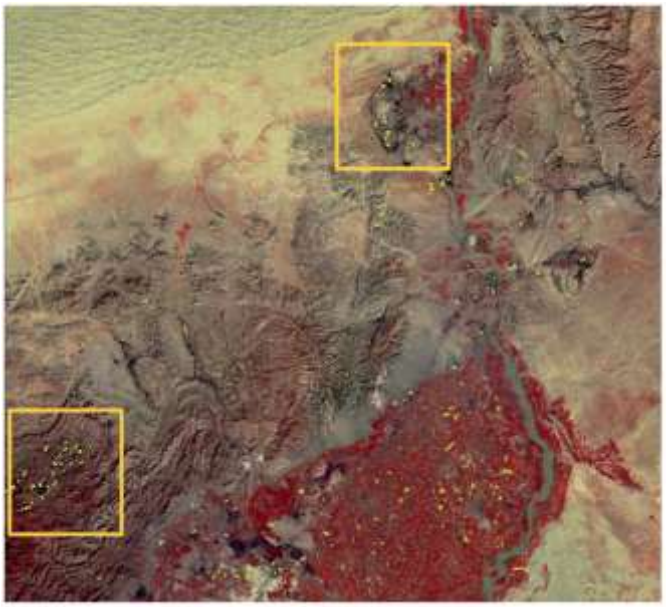

Рис. 10.5. Спутниковое изображение угольных месторождений северной части Китая (спутник Landsat, 80 × 80 км)

Несколько жёлтых скоплений расположены в угольных районах, другие происходят из промышленности, бытового сжигания, домашних хозяйств и других не угольных источников.

Исследования в области дистанционного зондирования, проводившиеся в последние десятилетия, были сосредоточены на интерактивном анализе, извлечении термических аномалий при горении угля и породы, и определения пороговых значений. Пространственно-переносимые или автоматизированные методы отсутствовали.

Исследования, основанные на мультиспектральной справочной информации дистанционного зондирования, проводились только в очень редких случаях и зависели в значительной степени от локальных описаний среды очагов горения на породном отвале. Установлено, что при спутниковом мониторинге теплового состояния породных отвалов около 80 % обнаруженных аномалий из дневных данных и 50 % из ночных данных могут быть идентифицированы как ложные.

Для разграничения, а также для обнаружения и количественного определения датчики спутников EMT + и ASTER не показывают существенных различий в результатах. Датчик спутника BIRD часто слишком грубый для обнаружения мелких очагов самовозгорания. Тем не менее, данные ASTER ещё доступны.

Для выявления очагов самовозгорания проводились спутниковые исследования, которые показали, что, несмотря на значительный прогресс, дистанционное зондирование и измерение температуры могут быть эффективными только при больших пожарах из-за низкого пространственного разрешения теплового сканирования поверхности.

Спутниковый мониторинг имеет ряд недостатков - низкая разрешительная способность, сложность учёта влияния основных факторов воздействия на инфракрасное излучение, присутствие облачности снижает периодичность мониторинга и оперативность прогноза распространения очагов самовозгорания.

Для нахождения очагов пожаров также используются геофизические методы и методы ГИС (геоинформационные системы).

Анализ состояния породных отвалов с использованием летательных аппаратов и тепловизора был также осуществлен на породных отвалах Польши. Во время воздушной съёмки регистрировались термограммы вдоль траектории полёта, при этом получалась серия изображений, которые позволили построить термографическую карту района (рис. 10.6).

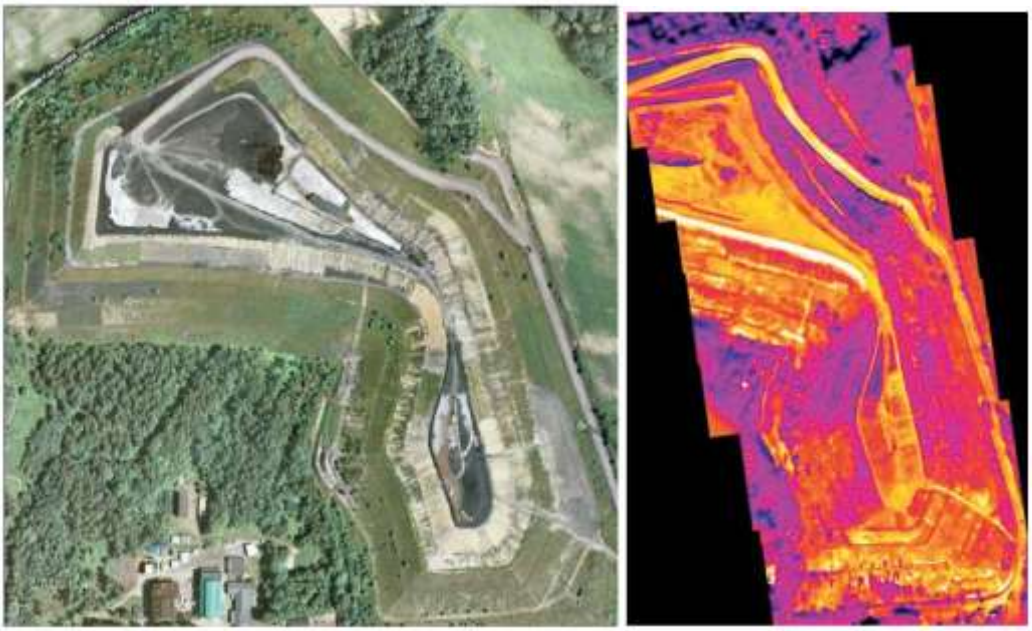

Рис. 10.6. Спутниковые снимки породного отвала (Польша, 2015)

В приказе Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 декабря 2011 г. N 738 г. Москва «Об утверждении Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов» тепловизор находится в числе рекомендуемого оборудования. Согласно вышеприведенной инструкции тепловизор – средство измерения температуры по тепловому излучению объекта и преобразования её в визуальную картину распределения тепловых полей по поверхности объекта в реальном времени.

Использование тепловизора дает возможность обнаружить потенциальные очаги тепловыделения на ранних этапах, что может быть полезным при определении приоритетности работ по предотвращению самонагревания.

Существующие современные методы дистанционного контроля теплового состояния породных отвалов с применением величины температурного контраста позволяют выявлять низкотемпературные очаги самовозгорания (рис. 10.7). Величина температурного контраста учитывает условия съёмки и влияние внешних факторов на результаты тепловизионной съёмки. К основным внешним факторам относятся расстояние от очага самовозгорания до тепловизора, размеры очага самовозгорания, ракурс дистанционной съёмки, теплопроводные свойства породы и т.д.

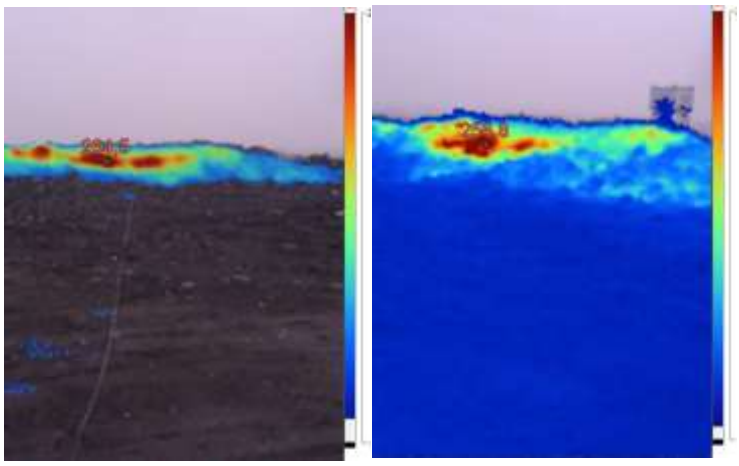

Рис. 10.7. Тепловизионные фотографии съёмки
ПО шахты «Октябрьский рудник».

Исследователями теоретически и экспериментально доказано, что эффективным способом повышения уровня экологической безопасности породных отвалов горнопромышленных агломераций является дистанционный мониторинг теплового состояния поверхности действующих и не действующих, горящих и не горящих породных отвалов, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов, оснащённых приборами тепловизионной съёмки.

10.3. Анализ применения авиационных средств при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха

Средства измерения, позволяющие оценивать качество атмосферного воздуха, также проводить контроль состояния подстилающей поверхности устанавливаются и применяются на пилотируемых воздушных средствах с середины 1950-х годов. На сегодняшний день, во многих странах мира разрабатываются и функционируют на постоянной основе различные летающие экологические лаборатории на базе широко спектра летательных аппаратов. Основные технические характеристики ряда зарубежных летательных аппаратов, применяемых в целях мониторинга и специально оборудованных военных самолетов, привлекаемых для выполнения

контрольных полетов, а также назначение данных аппаратов приведены в табл. 10.3. Следует отметить, что совершенствованию средств мониторинга воздушной среды на базе пилотируемых летательных аппаратов гражданского и военного назначения в развитых странах уделяется значительное внимание.

Диапазон технических характеристик, применяемых пилотируемых летательных аппаратов – носителей средств измерения является достаточно обширным: скорость изменяется в диапазоне от 180 до 1100 км/ч, потолок высоты варьируется в диапазоне от 3 до 32 км. Широкие диапазоны значений технических характеристик пилотируемых средств являются следствием значительного перечня решаемых авиационными комплексами задач.

Таблица 10.3 - Основные технические характеристики ряда зарубежных летательных аппаратов, применяемых в целях мониторинга

Тип самолёта	Количество / тип двигателя	Максимальная масса, кг	Полезная нагрузка, кг	Скорость, км/ч	Потолок, м	Дальность полета, км	Назначение	Комплектация
HU-25. США	2/ТРД	14500	1265	1000	13700	4650	Оценка загрязнения поверхностных водных объектов	ИК- и УФ-аппаратура, РЛС БО, ТВ
HC-130. США	4/ТВД	79380	19870	590	10000	3600	Анализ ледовой обстановки и оценка загрязнения морей	РЛС БО, ИК- и ТВ-аппаратура,
RU-38A. США	2/ПД	2440	400	180	3000	900	Картографирование, разведка погоды	ИК-аппаратура, РЛС БО
Gates Lear Jet -23. США	2/РД	5900	2900	900	13800	3100	Исследование вулканов	Спектрозональная аппаратура TIMS
ДС-7 Франция	4/ТВД	48100	23500	500	6000	7850	Исследование атмосферы	Лидары, ИК-аппаратура
ДС-8 США	4/ТРД	142800	85800	930	9100	12000	Исследования атмосферы	Лидары
ER-2 США	2/ТВД	22450	6100	500	9600	3000	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства, лидары
QUEEN AJR США	2/ПД	3700	1450	350	9500	2000	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства, лидары
L-180 Electra США	4/ТВД	52660	26600	650	8600	5600	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства
КС-135 США	4/ТРД	125000	78000	700	10700	14800	Исследование атмосферы.	Пробоотборные устройства, лидары

Анализ сведений об аппаратурном оснащении летающих лабораторий, используемых в США и странах Европы, также свидетельствует о широком спектре решаемых задач, определяемых характеристиками устанавливаемых средств измерений и индикации. Среди подобных задач следует выделить: детальное изучение метеорологических параметров и физико-химических свойств атмосферного воздуха на локальном уровне; оценку состава и свойств атмосферных аэрозолей; анализ геологических условий, а также радиационных и физических параметров земной поверхности и поверхностных водных объектов. Обзор сведений, опубликованных в открытых литературных источниках, показал, что наличие высокоэффективного аппаратурного оформления, позволяет с большей периодич-

ностью использовать авиационные средства наблюдения в международных проектах и программах мониторинга качества компонентов окружающей среды. Так, например, подобные средства применяются в Программе изучения средних слоев атмосферы, Международной программе изучения литосферы, Всемирной климатической программе и ряде других.

Иностранные авиационные средства, переоборудованные под цели летающих лабораторий, считаются достаточно эффективным средством оценки качества атмосферного воздуха. В целях проведения режимных мониторинговых наблюдений ряд летательных аппаратов оснащен средствами отбора проб.

В связи с ограниченной площадью фильтров, указанных пробоотборных средств летающие лаборатории могут быть применены в целях отбора газообразных веществ из атмосферного воздуха только тогда, когда не предъявляются требования по высокой производительности.

В Российской Федерации накоплен значительный опыт разработки летающих лабораторий гражданского назначения. В настоящее время в РФ существуют летающие лаборатории различного класса на базе самолетов и вертолетов, предназначенные для осуществления съёмки рельефа местности, а также изучения состава и свойств атмосферного воздуха. На протяжении последних лет подобные измерительные комплексы разрабатывались на базе авиационных средств конструкторских бюро Ил, Ан, Ту, Як, Ми, Ка.

В РФ на базе современных серийно производимых самолетов разработаны следующие перспективные авиационные лаборатории:

– геофизическая лаборатория на базе АН-74;

– лаборатория океанологических исследований и разведки рыбных запасов на базе ИЛ-114;

– лаборатория разведки ледовой обстановки на базе С-80;

– лаборатория крупномасштабной аэрофотосъемки и геофизических исследований на базе С-80;

– лаборатория крупномасштабной аэрофотосъёмки и геофизических исследований на базе АН-28;

– лаборатория океанологических исследования и разведки рыбных запасов на базе АН-28;

– лаборатория разведки пожароопасных ситуаций и охраны лесов на базе АН-28.

Однако, в ходе исследований было выявлено, что существующие пробоотборные устройства из-за своих массогабаритных параметров не могут быть установлены на БВС.

Авиасредства по сравнению с космическими обладают рядом преимуществ: расстояние между средствами контроля и изучаемыми объектами в разы меньше, это позволяет получать информацию большего разре-

шения, короче временные промежутки между повторными полётами, полётные трассы авиасредств не зависят от орбиты.

В то же время применение пилотируемых средств в целях экологического мониторинга имеет ряд существенных недостатков: экономическая эффективность проведения мониторинговых исследований с привлечением авиалабораторий достигается лишь при изучении состояния компонентов окружающей природной среды на региональном уровне; кроме того существующие пробоотборные устройства в силу своих массогабаритных параметров могут устанавливаться лишь на пилотируемые аппараты, что обусловливает необходимость разработки авиационных пробоотборных устройств новой конструкции.

10.4. Применение беспилотных авиационных систем при проведении экологического мониторинга атмосферного воздуха

Для решения задач экологического мониторинга применяются следующие методы дистанционного контроля:

- спутниковый метод;
- пилотируемые средства контроля;
- беспилотные авиационные системы.

Выбор дистанционных методов определяется размерами изучаемых территорий и масштабом решаемых задач в связи с чем использование беспилотных авиационных систем (БАС) при оценке качества окружающей среды горнопромышленных агломераций является наиболее выигрышным по сравнению с использование аэро- и космосъёмки, поскольку данные методы успешно применяются, как правило, в исследованиях регионального масштаба.

В настоящий момент, беспилотное воздушное судно (unmanned aircraft) – это воздушное судно, управляемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту.

Исследователями была проведена сравнительная характеристика дистанционных средств, применяемых для экологического мониторинга по шкале от 1 до 5 балов.

Наиболее отвечающими требуемым параметрам дистанционным средством являются беспилотные летательные средства вертолетного типа (табл. 10.4).

В целях повышения оперативности проведения экологического мониторинга, при сохранении достаточной степени достоверности получаемых результатов, рекомендуется применение беспилотных летательных средств вертолётного типа с использованием тепловизоров и газоаналитической системы.

Таблица 10.4 – Сравнительные характеристики дистанционных методов контроля

Параметры	Пилотируемая авиация (самолет)	Пилотируемая авиация (вертолет)	Наземные методы	Спутниковые системы (ДЗЗ)	БВС (самолет)	Мультикоптеры	БВС (вертолет)
Оперативность	1	1	4	1-5	5	5	5
Продолжительность	5	5	2	2-5	5	2	5
Всепогодность	2	3	2	2	3	3	4
Себестоимость (1 час.)	1	1	4	1-4	4	4	5
Наличие инфраструктуры (взлётная площадка)	1	3	4	5	3	5	5
Режим «висения»	-	5	5	2	-	5	5
Трудоемкость	3	2	3	4	5	5	5
Производительность	5	5	3	5	5	2	5
Задачи	Пилотируемая авиация (самолет)	Пилотируемая авиация (вертолет)	Наземные методы	Спутники (ДЗЗ)	БВС (самолет)	Мультикоптеры	БВС (вертолет)
Экологический мониторинг	1	5	5	2	3	2	5
Картографирование	5	5	0	3	5	4	5
Мониторинг нештатных ситуаций	4	4	3	1	4	4	5
Геофизическая съёмка	5	5	5	3	0	0	5

При применении газоаналитической системы в целях контроля качества атмосферного воздуха рациональным является выбор систем непрерывного действия оборудованных комплектом измерительных преобразователей различных типов:

- электрохимических детекторов в целях определения концентрации кислорода, сернистого ангидрида, оксида и диоксида азота, сероводорода, оксида углерода и аммиака;

- оптических детекторов в целях определения концентрации диоксида углерода и суммы углеводородов.

Принцип действия электрохимических газоаналитических приборов основывается на электрохимическом методе определений массовых концентраций вредных токсичных веществ, а также кислорода в газовоздушной среде. В качестве чувствительного элемента используется электрохимический сенсор (ячейка), предназначенный для обнаружения контроля токсичных, инертных и других газов, кислорода, органических веществ и паров кислот.

Газовоздушная смесь через противопылевой фильтр (также выполняющий функцию селективного (избирательного) фильтра) и гидрофобную мембрану диффундирует на измерительный (рабочий)электрод, выполненный из одного из благородных металлов (платина, золото, палладий либо другого драгметалла). Высвобождающиеся при этом электроны проходят через электролит и эталонный электрод, и формируют во внешней цепи сигнал постоянного тока. Величина этого сигнала прямо пропорциональна концентрации детектируемого газа.

С учетом проведенных ранее исследований, рационально применение следующей компоновки БВС вертолетного типа (рис. 10.8, табл. 10.5).

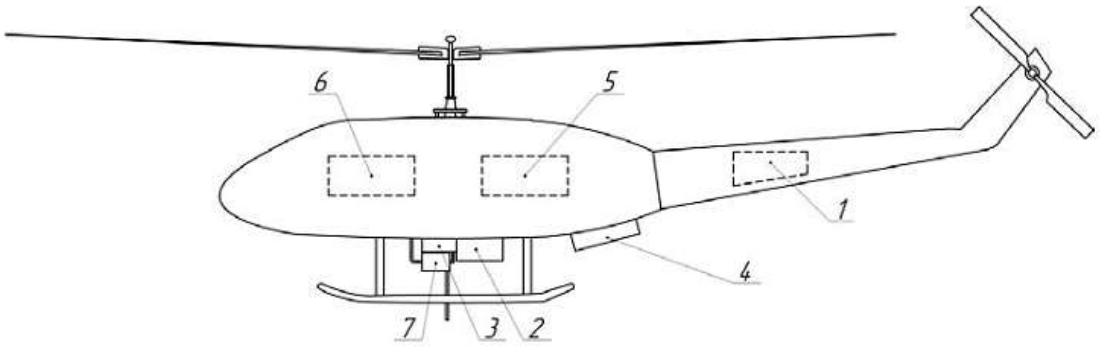

Рис. 10.8. Общий вид автоматизированной измерительной системы на базе БВС для мониторинга атмосферного воздуха (1 – блок GPS; 2 – блок химических сенсоров, состоящий из газоанализатора и элементов питания; 3 – тепловизор; 4 – усилительно-преобразующее устройство и антенна радиосвязи; 5 – блок метеодатчиков; 6 – система управления; 7 – блок пробоотборника)

Таблица 10.5 – Основные технические характеристики БВС

Характеристика	Значение
Дальность действия БВС (при условии радиовидимости), км, не менее	10
Максимальная высота полета БВС, м, не менее	600
Максимальная скорость горизонтального полета БВС, км/ч, не более	60
Скорость горизонтального полета БВС, км/ч	0 - 60
Среднее квадратическое отклонение от заданного маршрута полета, м, не более	25
Время непрерывной работы БВС от бортовой системы электропитания изделия во время полета, ч, не менее	1
Максимальная взлетная масса БВС, кг, не более	35
Рабочие условия эксплуатации - температура атмосферного воздуха, °С - атмосферное давление, кПа - относительная влажность атмосферного воздуха, %	 от 0 до 45 от 84,0 до 106,7 от 5 до 95

Учитывая практически равномерный характер рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух одиночным источником загрязнения, предполагается применение в качестве полетного задания облета по замкнутому спиралеобразному маршруту, начинающемуся в центре породного отвала и расширяющемуся к периферии (рис. 10.9).

Данная методика разработана в Санкт-Петербургском Горном университете. Фото исследований на Коркинском разрезе в РФ с применением беспилотного воздушного судна вертолетного типа приведено на рис. 10.10.

Рис. 10.9. Карта-схема исследуемой территории
с наложенным маршрутом облетов беспилотных воздушных судов

Рис. 10.10. Размещение БВС на восточном борту
Коркинского угольного разреза

Метод контроля и оценки качества компонентов окружающей среды на территориях горнопромышленных агломераций с применением беспилотных воздушных судов обеспечивает:

- более высокую точность при построении ареалов распространения загрязняющих веществ в атмосфере;
- измерение температуры окружающего воздуха с привязкой по высоте, что обеспечит идентификацию зон инверсии;
- автоматизацию измерений.

10.5. Вопросы для самоконтроля

1. Контактные методы контроля теплового состояния породных отвалов.
2. Дистанционные методы контроля теплового состояния породных отвалов.
3. Применение авиационных средств при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха.
4. Применение беспилотных авиационных систем при проведении мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

Глава 11. АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

11.1 Единая система государственного экологического мониторинга

В соответствии с законом №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 63.1) **единая система государственного экологического мониторинга** (государственного мониторинга окружающей среды) создается в целях обеспечения охраны окружающей среды.

Задачами единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) являются:

– регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;

– хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;

– анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;

– обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

Единая система государственного экологического мониторинга (ЕСГЭМ) включает в себя подсистемы:

– государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;

– государственного мониторинга атмосферного воздуха;

– государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации;

– государственного мониторинга земель;

– государственного мониторинга объектов животного мира;

– государственного лесопатологического мониторинга;

– государственного мониторинга воспроизводства лесов;

– государственного мониторинга состояния недр;

– государственного мониторинга водных объектов;

– государственного мониторинга водных биологических ресурсов;

– государственного мониторинга внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации;

– государственного мониторинга исключительной экономической зоны Российской Федерации;

– государственного мониторинга континентального шельфа Российской Федерации;

– государственного экологического мониторинга уникальной экологической системы озера Байкал;

– государственного мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания.

Для оценки антропогенного воздействия объектов хозяйственной деятельности организуются системы мониторинга источников воздействия на окружающую природную среду и зон их непосредственного влияния (импактный мониторинг), осуществляющие свое функционирование в рамках соответствующих подсистем ЕСГЭМ. Решение о необходимости наличия у предприятия указанных систем мониторинга принимается органами, выдающими лицензии на природопользование и проведение мониторинга состояния окружающей среды.

Региональный уровень ЕСГЭМ может быть образован для решения задач экологического мониторинга, носящих региональный характер, с определением территориальных подсистем ЕСГЭМ, участвующих в формировании региональной системы. Целесообразность создания регионального уровня ЕСГЭМ определяется:

- необходимостью оценки состояния природных объектов, анализа природных процессов и экологически неблагоприятных явлений, когда их границы не совпадают с границами субъектов Российской Федерации;

- сложившейся структурой территориальных (региональных) органов ряда ведомств;

- целесообразностью создания мощных региональных функциональных центров, способных обслуживать ряд субъектов Российской Федерации.

На **федеральном уровне ЕСГЭМ** выполняет следующие основные функции:

- обобщение информации, получаемой на территориальном или региональном уровнях;

- обеспечение требуемого качества данных, получаемых на всех уровнях ЕСГЭМ;

- информационное обеспечение управления в области охраны окружающей природной среды и экологической безопасности, осуществляемого федеральными органами исполнительной и представительной власти;

- информирование населения и общественности России об основных показателях, характеризующих экологическую обстановку на территории страны, и крупномасштабных тенденциях ее изменения;

- обеспечение функционирования подсистем экологического мониторинга, имеющих федеральное значение, а также специальных систем мониторинга, не имеющих территориального и регионального уровней;

- обеспечение участия Российской Федерации в международных, в том числе глобальных, системах экологического мониторинга.

В Единую систему государственного экологического мониторинга включены:

- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды РФ).

- Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз РФ).

- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

- Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).

- Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз).

- Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра).

- Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы).

- Федеральное агентство по рыболовству (Росрыболовство).

- органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Отраслевая системы мониторинга радиационной обстановки Госкорпорации «Росатом» обеспечивает выполнение государственного мониторинга и государственного контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации, осуществляемого Госкорпорацией «Росатом» в районах расположения ядерно и радиационно опасных объектов атомной отрасли.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), ведёт социально-гигиенический мониторинг, и подчиняется напрямую правительству РФ.

Структурная схема подсистем ЕСГЭМ, органов, осуществляющих мониторинг и их ведомственная принадлежность представлены на рис. 11.1.

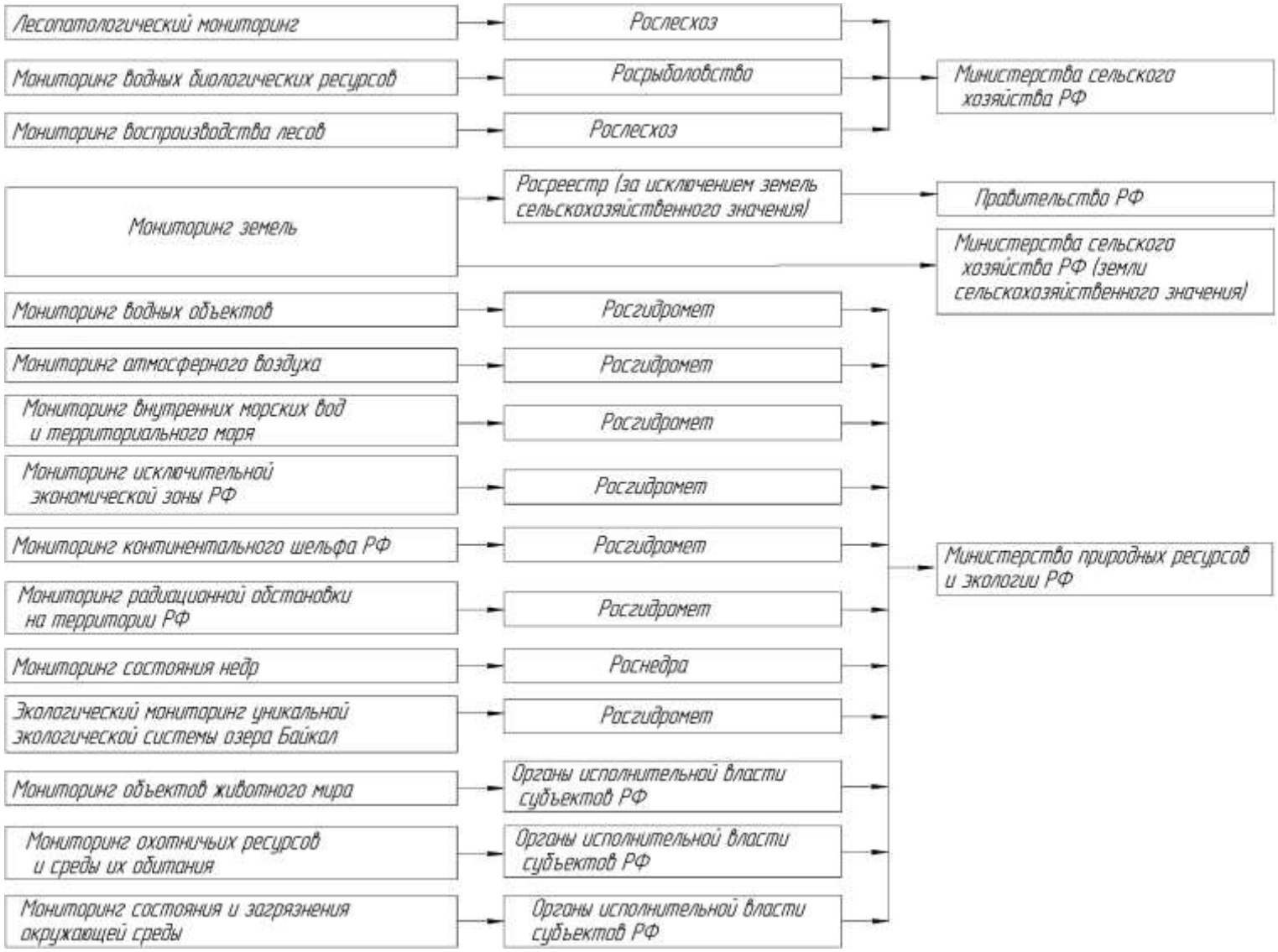

Рис. 11.1. Структурная схема ЕСГЭМ

11.2. Глобальная система мониторинга окружающей среды

В 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде было предложено создать Службу Земли, одним из главных компонентов которой была предложена Глобальная Система Мониторинга Окружающей Среды (ГСМОС).

Важным этапом в выработке концепции ГСМОС было Межправительственное совещание по мониторингу в Найроби (1974), где было сформулировано семь **основных задач программы ГСМОС**:

1. Организация расширенной системы предупреждений об опасности для здоровья.
2. Оценивание глобального загрязнения атмосферы и его влияние на изменение климата.
3. Оценивание количества и распределение загрязнения биологических систем и пищевых цепей.
4. Оценивание критических проблем, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности и землепользования
5. Оценка реакции наземных экосистем на воздействие окружающей среды.
6. Оценивание загрязнения океана и влияние загрязнений на морские экосистемы.
7. Создание усовершенствованной системы предупреждений о стихийных бедствиях в международном масштабе.

Сформулированные задачи предусматривают работу в разных направлениях. Во многих случаях речь шла не об организации новых служб, а о максимальном использовании уже существующих систем, их поддержке и развитии, эффективном использовании информации.

Глобальная система мониторинга органически переплетается с национальными системами – она в значительной степени объединяет станции национальных систем. Биосферные заповедники рассматриваются как составная часть системы мониторинга.

Главные цели функционирования системы мониторинга:

– содействие изучению биогеохимических циклов;

– установление контрольного уровня ЗВ антропогенного происхождения;

– определение глобального распространения и тенденций изменения уровней загрязнения окружающей среды химическими веществами;

– установка фоновых уровней для критических параметров экосистем, с которыми можно сравнивать данные, полученные в районах импактных загрязнений;

– определение уровней отдельных критических загрязнений в среде и их распределение в пространстве и во времени;

– изучение размеров и скорости потоков ЗВ и их соединений;

– обеспечение возможности сравнения методов наблюдений и анализа за изменением окружающей среды в разных странах;

– обеспечение на глобальном и региональном уровнях информацией, необходимой для принятия управленческих решений.

Фоновый мониторинг осуществляется с целью фиксации фонового состояния окружающей среды, эти показатели необходимы для дальнейшей оценки уровня антропогенного действия.

Программы наблюдений формируются по принципу выбора приоритетных загрязняющих веществ и интегральных характеристик. Определение приоритетов при организации систем мониторинга зависит от целей и определенных задач: на территориальном уровне предпочтение отдается промышленным городам, источникам питьевой воды, местам нереста рыб; что касается среды наблюдений приоритетным выступает атмосферный воздух и вода пресных водоемов и водотоков.

Основные результаты, полученные в рамках ГСМОС:

1. В сфере глобальной оценки деградации почвы составляются карты деградации, выделяются зоны риска, отмечаются зоны опустынивания, исследуется состояние пастбищ и т.п.

2. Организована система мониторинга покрова тропического леса (в Азии и Латинской Америке).

3. В сфере мониторинга водных ресурсов организовано исследование водного баланса, выделены разные гидрологические регионы.

4. В области мониторинга фонового состояния биосферы проводятся наблюдения в 226 биосферных заповедниках 62 стран мира.

5. В области мониторинга возможных изменений климата проводятся наблюдения за концентрацией CO_2, мутностью атмосферы, озоносферы и ледников мира;

6. В области мониторинга живых морских ресурсов контролируется лов рыбы и оцениваются ее запасы, проводится мониторинг загрязнения Мирового океана.

7. В области мониторинга состояния наземных экосистем выделены эталонные экосистемы.

8. В области мониторинга атмосферного воздуха контролируются конфигурации концентраций химических частей в воздухе.

Мониторинг осуществляется на следующих станциях:

1) базовые станции (для глобального мониторинга очень низких фоновых концентраций, наиболее важных составляющих атмосферы);

2) региональные станции (для мониторинга длительных изменений состава атмосферного воздуха, вызванных человеческой деятельностью);

3) региональные станции с расширенными программами.

Наблюдения проводятся по минимальным и расширенным программам. Минимальная программа на базовых станциях содержит измерение мутности атмосферы, содержания CO_2 в воздухе и химии осадков. На ре-

гиональных станциях программа включает наблюдение за мутностью атмосферы и химией осадков. Расширенная программа включает дополнительные наблюдения за диоксидом серы, сероводородом, содержанием общего озона, угарного газа и всех соединений азота, тяжелых металлов.

11.3. Международные программы системы глобального мониторинга

Начиная с 1974 г. функционирует глобальная сеть станций фонового мониторинга, на которых постоянно осуществляются наблюдения за естественными изменениями в биосфере. Такие наблюдения проводятся под координацией **международной программы по окружающей среде ЮНЕП (UNEP)** и охватывают все типы экосистем: водные (морские и пресноводные) и наземные (лесные, степные, пустынные и горные). Станции фонового мониторинга размещаются на территориях биосферных заповедников. Все эти станции входят составной частью в сеть глобальной системы мониторинга.

С 1990 г. осуществляется **Международная геосферно-биосферная программа (МГБП)**, задачей которой является изучение Земли как целостной природной системы. В рамках МГБП проводятся исследования в семи ключевых направлениях:

1. *Закономерность химических процессов в глобальной атмосфере и роль биологических процессов в круговоротах малых газовых компонентов*. В рамках этого направления осуществляется анализ влияния изменений содержания озона в стратосфере на проникновение на земную поверхность биологически опасного ультрафиолетового излучения, а также оценку влияния аэрозолей на изменения глобального климата.

2. *Воздействие биогеохимических процессов в Мировом океане на климат и наоборот*. Проекты этого направления включают в себя комплексные исследования глобального газообмена между океаном и атмосферой, морским дном и границами континентов, разработку методик прогнозирования реакций биогеохимических процессов в океане на антропогенные возмущения в глобальном масштабе. Мировой океан функционирует как огромный резервуар биогенных элементов, составляющих значительную часть производительности биосферы. Для характеристики Мирового океана используются такие параметры, как биомасса фитопланктона, первичная производительность фитопланктона и концентрация хлорофилла "а". Для исследований используется спутниковая оптическая аппаратура. Спутниковые наблюдения обязательно сопровождаются контрольными маршрутными наблюдениями.

3. *Исследование прибрежных экосистем и влияние на их состав в системах землепользования*. В рамках этого направления изучаются прибрежные экосистемы в бассейнах больших рек, озер и морей, а также взаимодействия между прибрежными экосистемами и системами землеполь-

зования. Важной задачей является изучение роли лесов в формировании биогеохимических кругооборотов, особенно их влияние на формирование осадков, энергетический баланс, климат, а также их роль как источника и стока углекислого газа и т.д.

4. *Взаимодействие растительного покрова с физическими процессами, ответственными за формирование глобального круговорота воды.* Проводятся исследования по программе глобального эксперимента с целью изучения круговорота энергии и воды в дополнение к исследованиям Всемирной программы исследований климата.

5. *Воздействие глобальных изменений климата на континентальные экосистемы***.** Разрабатываются методики прогноза влияния изменений климата, концентрации углекислого газа и систем землепользования на экосистемы, а также обратных связей; исследуются глобальные изменения биологического разнообразие. При изучении биологических процессов в наземных экосистемах ключевая роль отводится исследованию специфики энергетического баланса в различных экосистемах: пустынях, лесах, саваннах, агроэкосистемах разных уровней и т.д.

6. *Палеоэкология, палеоэкологические изменения и их последствия.* Проводятся исследования для реконструкции истории изменений климата за период с 2000 года до нашей эры с временным интервалом 10 лет.

7. *Моделирование земной системы в целях прогнозирования ее эволюции***.** Формируются математические модели в глобальном масштабе, производятся количественные оценки взаимодействия глобальных физических, химических и биологических интерактивных процессов в земной экосистеме в течение 100 тысяч лет.

Одним из координационных центров программы МГБП является Сибирское отделение Академии наук России (город Томск и Новосибирск), где с 2001 года проводятся ежегодные международные конференции ENVIROMIS и CITES. В рамках МГБП изучаются биогеофизические кругообороты углерода, азота, фосфора и серы, определяемые как природными, так и антропогенными факторами. Последние особенно существенны для углерода. Сложность изучения всех этих кругооборотов обусловлена неопределенностями, связанными с вкладом континентальной биомассы (изменения вследствие вырубки лесов, изменения суммарной производительности экосистем).

С 1995 года реализуется международная программа Environmental Observance System (EOS), работающая на основе данных наблюдений из трех спутников, обслуживаемых орбитальной системой. Комплект аппаратуры состоит из почти 40 приборов: видео спектрометры, радиометры, радиовысотомеры и т.д. EOS планируется как всеобъемлющая информационная система, анализ данных которой позволит понять принципы функционирования Земли как единого природного комплекса «атмосфера-гидросфера-криосфера-биосфера», а также определить пределы его воз-

можных изменений и оценить направления будущей эволюции. Гигантский объём наблюдений со спутников требует разработки и внедрения мощных систем обработки, анализа, архивации и хранения данных.

Одной из важнейших задач считается определение величины допустимого воздействия на Землю, в частности биосферу Земли. Допустимыми считаются такие воздействия, которые не приводят к ухудшению биосферы ни по одному из выбранных параметров.

Глобальные процессы являются объектом пристального внимания к индустриально развитым странам и международному сотрудничеству. В рамках общего соглашения между странами «восьмерки» (Великобритания, Италия, Канада, США, Франция, Германия, Япония, Россия) создан Международный комитет по природно-ресурсным спутникам (IEOSC). В рамках Комиссии подписана декларация о совместных действиях по предотвращению потепления климата. Предполагается снизить энергоёмкость выпускаемой продукции, повысить КПД оборудования на тепловых станциях, увеличить долю использования возобновляемых источников энергии.

Основными направлениями глобального мониторинга принято считать мониторинг следующих процессов:

1) незначительные изменения, которые повсеместно проявляются, например, глобальные изменения климата вследствие загрязнения атмосферы;

2) эффектов, связанных с распространением ЗВ на большие расстояния;

3) антропогенные воздействия, характеризующиеся значительной инерционностью эффектов, а также кумулятивным эффектом (например, действие пестицидов).

11.4. Производственный экологический мониторинг

В соответствии с ГОСТ Р 56059-2014 «Производственный экологический мониторинг. Общие положения» **производственный экологический мониторинг** (ПЭМ) – осуществляемый в рамках производственного экологического контроля мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды, включающий долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей среды, ее загрязнением и происходящими в ней природными явлениями, а также оценку и прогноз состояния окружающей среды, ее загрязнения на территориях субъектов хозяйственной и иной деятельности (организаций) и в пределах их воздействия на окружающую среду.

Объект мониторинга – природный, техногенный или природно-техногенный объект или его часть, в пределах которого по определенной программе осуществляются регулярные наблюдения за окружающей средой с целью контроля за ее состоянием, анализа происходящих в ней про-

цессов, выполняемых для своевременного выявления и прогнозирования их изменений и оценки.

Цель ПЭМ - обеспечение организаций информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды, необходимой им для осуществления деятельности по сохранению и восстановлению природной среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, предотвращению негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию его последствий.

Основные задачи ПЭМ:

- регулярные наблюдения за состоянием и изменением окружающей среды в районе размещения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (далее - объектов);
- прогноз изменения состояния окружающей среды в районе размещения объектов;
- выработка предложений о снижении и предотвращении негативного воздействия на окружающую среду.

Выбор объекта мониторинга и мест наблюдений (точек отбора проб, постов наблюдений) проводят с учетом:

- сведений о фоновом загрязнении (если такие исследования проводились);
- размещения источников негативного воздействия на окружающую среду;
- природных и климатических особенностей районов размещения объектов.

Определение перечня контролируемых параметров проводят с учетом установленных нормативов допустимого воздействия на окружающую среду.

Требования к содержанию программ производственного экологического мониторинга, а также порядок предоставления отчета о результатах осуществления производственного экологического мониторинга утверждается республиканским органом исполнительной власти, реализующим государственную политику в сфере охраны окружающей среды. Программы ПЭМ разрабатываются один раз на каждый наблюдаемый компонент природной среды в отдельности (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почво-грунты и т.д.) и корректируются в процессе их реализации на основании:

1) полученных данных по мониторингу состояния компонентов природной среды;

2) в случае изменений требований законодательства в области охраны окружающей среды, влияющего на условия реализации программы ПЭМ;

3) изменения характера и объёма оказываемого негативного воздействия (количества источников негативного воздействия, перечня загрязняющих веществ и др.);

4) изменения требований к объёму и качеству информации о результатах ПЭМ.

Программа производственного экологического мониторинга содержит разделы: общие сведения о предприятии, цели и задачи, описание объекта, контролируемые параметры, расположение точек отбора проб и постов наблюдения при мониторинге компонентов окружающей среды, используемые методы наблюдения и инструментальных измерений, периодичность наблюдений и измерений, порядок сбора, хранения, анализа, оценки результатов наблюдений ПЭМ, повышение экологической эффективности плана мероприятий по охране окружающей среды, приложения.

ПЭМ должна предусматривать решение таких задач как инструментальные наблюдения за источниками и факторами воздействия, оценка фактического состояния, прогноз воздействия, выявление аномалий состояния компонентов окружающей среды, вызванных производственной деятельностью предприятия.

Одним из составляющих ПЭМ является план-график проведения наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха с указанием измеряемых загрязняющих веществ, периодичности, мест и методов отбора проб, используемых методов и методик измерений. План-график наблюдений должен содержать:

- адреса (географические координаты) пунктов наблюдений с указанием номера каждого пункта наблюдения;
- перечень контролируемых на каждом пункте загрязняющих веществ;
- методы определения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;
- периодичность отбора проб атмосферного воздуха.

По результатам осуществления производственного экологического мониторинга составляются ежегодный и квартальный отчет о результатах осуществления ПЭМ, которые подаются в республиканский орган исполнительной власти, реализующий государственную политику в сфере охраны окружающей среды.

Ежегодный и квартальный отчет составляется по результатам осуществления ПЭМ на каждый наблюдаемый компонент природной среды отдельно.

Ежегодный отчет содержит следующие разделы:

1) Введение;

2) Физико-географические условия работы (климат, рельеф, гидрография, почвенно-растительный покров);

3) Методика выполнения работ.

4) Оценка степени загрязнения окружающей среды. Раздел сопровождается иллюстрациями – картами, схемами, диаграммами, графиками, таблицами, рисунками;

5) Оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды. В разделе приводятся сравнительные данные о показателях компонентов окружающей среды за отчетный период и предыдущие отчетные периоды;

6) Выводы и рекомендации;

7) Планируемые и реализованные мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду и восстановлению природной среды, в том числе за прошлые годы.

11.5. Вопросы для самоконтроля

1. Задачи единой системы государственного экологического мониторинга.
2. Региональный и федеральный уровень ЕСГЭМ.
3. Основные задачи глобальной системы мониторинга окружающей среды.
4. Главные цели функционирования глобальной системы мониторинга окружающей среды.
5. Основные результаты, полученные в рамках ГСМОС.
6. Международные программы системы глобального мониторинга.
7. Структура единой системы государственного экологического мониторинга.
8. Производственный экологический мониторинг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологический мониторинг состояния природных сред является основой всех других видов мониторинга – экосистемного, геосистемного, геоэкологического и др. Это связано с тем, что природные среды являются компонентами экосистем и геосистем. Вместе с тем нельзя забывать о том, что природные среды – это то, что окружает человека и активно определяет его здоровье и благополучие.

Регулярный глобальный экологический мониторинг является необходимым условием сохранения природных ресурсов Земли.

Описанные в учебном пособии существующие виды экологического мониторинга природных сред, специфические виды мониторинга, применение глобальных программ и мировой опыт мониторинга систематизируют имеющуюся информацию об экологическом мониторинге.

Современный экологический мониторинг направлен на поиск лучших и более надёжных способов получения обширной информации о состоянии окружающей природной среды. Такая информация особенно важна, учитывая текущую глобальную экологическую ситуацию.

Надежная информация, включая прогнозы, является ключевой предпосылкой для планирования природоохранных мероприятий. Кроме этого, создание моделей, основанных на всемирной экологической информации, позволит прогнозировать грядущие глобальные изменения и своевременно принять меры по защите окружающей природной среды.

Важным и актуальным направлением является локальный мониторинг состояния природных сред в горнопромышленных агломерациях. Сложившаяся в этой сфере практика экологического мониторинга не лишена недостатков. Контроль теплового состояния породных отвалов происходит по контактной методике, не дающей объективную информацию об экологической безопасности горнодобывающих агломераций. Отсутствует наблюдение за уровнем загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния породных отвалов. Полученные данные не подвергаются анализу и не публикуются. Все это требует пересмотра взаимоотношений между государственными природоохранными органами и природопользователями. Должны быть чётко сформулированы цель локального мониторинга и порядок использования полученных данных. Это позволит определить состав измеряемых показателей, методы анализа и их дальнейшую судьбу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьева, О. А. Проблемы загрязнения атмосферы. Экологический мониторинг и нормы воздействия отраслей промышленности: учебное пособие / О. А. Арефьева, Н. А. Политаева, О. В. Рябова [и др.]. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2020. – 72 с.

2. Афанасьев Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: Учеб. пособие: В 2 ч. Ч. 2. Специальная / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин, В.В. Меньшов и др. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 337 с.

3. Ашихмина, Т. Я. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор, А. Н. Васильева [и др.]; под редакцией Т. Я. Ашихминой. – 4-е изд. – Москва: Академический проект, 2020. – 415 с.

4. Батракова Г.М. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / Г.М. Батракова, Я.И. Вайсман, Л.В. Рудакова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 218 с.

5. Бетенеков, Н. Д. Радиоэкологический мониторинг: учебное пособие / Н. Д. Бетенеков; под редакцией Ю. В. Егоров. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 208 с.

6. Богомолов А.Ю. Планирование измерений в экологическом мониторинге: учебное пособие / А. Ю. Богомолов, Д. Е. Быков, В. Н. Пыстин, Е. В. Губарь. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. – 47 с.

7. Васильченко, А. В. Почвенно-экологический мониторинг: учебное пособие / А. В. Васильченко. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 282 с.

8. Волкова, В. А. Повышение эффективности функционирования мониторинга в системе управления экологической безопасностью угледобывающего предприятия / В. А. Волкова, Д. А. Козырь // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сборник материалов XIV международной научной конференции аспирантов и студентов. Посвящается Всемирному Дню окружающей среды, 75-летию Победы в Великой Отечественной Войне, Донецк, 14–16 апреля 2020 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. – С. 87-89.

9. Высоцкий, С. П. Экологический мониторинг породных отвалов горнопромышленных агломераций / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 11. – С. 37-46. – DOI 10.18799/24131830/2021/11/2964.

10. Высоцкий, С. П. Контроль экологического состояния породных отвалов / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – № 3(131). – С. 12-18.

11. Высоцкий, С. П. Дистанционный контроль теплового состояния породных отвалов / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // . – 2018. – № 3(55). – С. 84-90.

12. Высоцкий, С. П. Мониторинг теплового состояния породных отвалов с использованием дистанционных методов контроля / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Академии гражданской защиты. – 2018. – № 1(13). – С. 59-68.

13. Гогмачадзе, Г. Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации: монография / Г. Д. Гогмачадзе ; под редакцией Д. М. Хомяков. – Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2010. – 592 с.

14. Горшков М.В. Экологический мониторинг: учебное пособие. / М.В. Горшков. - Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.

15. ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация и общие требования безопасности»

16. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения

17. ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод»

18. Губайдуллин, М. Г. Экологический мониторинг нефтегазодобывающих объектов Европейского Севера России: учебное пособие / М. Г. Губайдуллин, В. Б. Коробов. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2012. – 235 с.

19. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 534 с.

20. Израэль, Ю. А. Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды / Ю. А. Израэль. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 398 с.

21. Калинин, В.М. Мониторинг природных сред: Учеб. пособие. Тюмень. / В.М. Калинин. – Изд-во ТюмГУ, 2007. – 208 с.

22. Киселев, М. В. Экологический мониторинг и восстановление природных объектов. Практикум: учебное пособие / М. В. Киселев. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2017. – 100 с.

23. Козырь, Д. А. Экологический мониторинг распространения амброзии / Д. А. Козырь // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2020. – № 3(34). – С. 51-59.

24. Козырь, Д. А. Дистанционный мониторинг уровня экологической безопасности твердых промышленных отходов / Д. А. Козырь // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях : Материалы VIII Международной научной конференции, Белгород, 22–25 октября 2019 года / Под редакцией М.А. Польшиной. – Белгород: Издательский дом "Белгород", 2019. – С. 142-144.

25. Латыпова, М. М. Практикум по экологическому мониторингу. Часть 1. Экологический мониторинг гидросферы: учебное пособие / М. М.

Латыпова, Л. М. Смоленская. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. – 79 с.

26. Латышенко, К. П. Информационно-измерительные системы для экологического мониторинга: учебное пособие / К. П. Латышенко, А. А. Попов. – 2-е изд. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 309 с.

27. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг. Часть 1: практикум / К. П. Латышенко. – 2-е изд. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 129 с.

28. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг. Часть 2: практикум / К. П. Латышенко. – 2-е изд. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 100 с.

29. Макеева, Д. А. Экологический мониторинг состояния водных ресурсов и маловодья реки Кальмиус / Д. А. Макеева, Д. А. Козырь, О. А. Гутовская // . – 2021. – № 3(38). – С. 25-33.

30. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв: учебник / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – Москва: Академический Проект, 2020. – 240 с.

31. Погребов, В. Б. Экологический мониторинг прибрежной зоны арктических морей / В. Б. Погребов, М. Б. Шилин. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2001. – 96 с.

32. Потапов, А. И. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Часть 2. Экологический контроль: учебное пособие / А. И. Потапов, В. Н. Воробьев, Л. Н Карлин, А. А. Музалевский. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2004. – 290 с.

33. Реймерс, И. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. / И.В. Реймерс. – М., 1990. – 637 с.

34. РД 52.04.52-85 Методические указания. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях.

35. Самарина, О. А. Геоэкологический мониторинг и обращение с отходами горного и нефтегазового производства: лабораторный практикум / составители О. А. Самарина [и др.]. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. – 76 с.

36. Тетельмин, В. В. Основы экологического мониторинга: учебное пособие / В. В. Тетельмин, В. А. Язев. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013. – 255 с.

37. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза: учебное пособие для СПО / А. В. Шамраев. – Саратов: Профобразование, 2020. – 141 с.

38. Шамраев, А. В. Экологический мониторинг и экспертиза: учебное пособие / А. В. Шамраев. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 141 с.

39. Шевченко, Д. А. Агроэкологический мониторинг: учебное пособие / Д. А. Шевченко, Л. В. Трубачёва, О. И. Власова. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2018. – 75 с.

У ч е б н о е и з д а н и е

Козырь Дмитрий Александрович
Макеева Дарья Александровна
Омельчук Юлия Аркадьевна

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Учебное пособие

В авторской редакции

ISBN 978-5-6050377-0-5

Подписано в печать 24.10.2023 г.
Изд. № 28/2023. Зак. 43/2023. Тираж 300 экз.
Объем 6,25 п.л. Усл. печ. л. 9,53. Уч. изд. л. 10,045.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
299015 г. Севастополь, ул. Курчатова, 7