

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный горный институт им.Г.В.Плеханова
(технический университет)

М.А.ПАШКЕВИЧ, В.Ф.ШУЙСКИЙ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Учебное пособие

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2002

УДК 502:55:661.510(075.80)

ББК 20.18+28.088

П22

Изложены методические основы наблюдений, оценки и контроля за состоянием атмосферного воздуха, водных ресурсов, почв, биотических компонентов и правовые аспекты экологического мониторинга. Предложены рекомендации по проведению практических работ по наблюдению и контролю природной среды, регулированию ее состояния.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 330200 «Инженерная защита окружающей среды» направления 656600 «Защита окружающей среды», изучающих дисциплины «Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг», «Биологический мониторинг», а также может быть использовано студентами всех специальностей горно-геологического профиля, изучающими дисциплины, связанные с экологией, рациональным использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды.

Научный редактор проф. *Ю.В.Шувалов*

Рецензенты: кафедра зоологии беспозвоночных Санкт-Петербургского университета, докт. биол. наук В.Б.Погребов (ГНЦ РФ ААНИИ, Санкт-Петербург).

Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф.

П22. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: Учебное пособие / *М.А.Пашкевич, В.Ф.Шуйский*. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2002. 89 с.

ISBN 5-94211-056-5

УДК 502:55:661.510(075.80)

ББК 20.18+28.088

ISBN 5-94211-056-5

© Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В.Плеханова, 2002 г.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие всех отраслей промышленности, энергетики, транспорта, увеличение численности населения, урбанизация и химизация всех сред деятельности человека приводят к нарушению и загрязнению биосферы, ее отдельных компонентов. Экологическая ситуация, сложившаяся в ряде промышленных центров, в районах добычи и переработки минерального сырья, строительства и эксплуатации промышленных объектов, часто близка к критической.

Осознание глобальной экологической катастрофы заставляет мировое сообщество искать пути выхода из кризисной ситуации. Вывод о необходимости перехода цивилизации к экологически сбалансированному развитию имеет непосредственное отношение к опасности, угрожающей человеческой цивилизации. Идея глобального мониторинга окружающей человека природной среды была выдвинута в 1972 г. на Стокгольмской конференции и нашла отклик в документах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992).

Основной задачей экологического мониторинга является изучение изменений природной среды, возникающих в результате воздействия на нее человека, получение как качественных, так и количественных характеристик изменений в природной среде.

В учебном пособии рассматриваются как общие проблемы экологического мониторинга, так и наиболее важные специальные вопросы, необходимые для приобретения практических навыков наблюдения и контроля за состоянием природной среды, выбросами в атмосферный воздух, сбросами в поверхностные воды.

Учебное пособие «Экологический мониторинг» составлено в соответствии с программами учебных дисциплин «Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг», «Биологический мониторинг» для студентов специальности 330200 «Инженерная защита окружающей среды» с учетом качественно новых требований к знаниям, необходимых инженерным кадрам для работы на предприятиях горно-добывающих и горно-перерабатывающих отраслей промышленности.

1. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

1.1. ПОНЯТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Термин мониторинг образован от латинского слова *монитор* – наблюдающий, предостерегающий (так называли вперёдсмотрящего матроса на парусном судне). Идея глобального мониторинга окружающей человека природной среды и сам термин появились в 1971 г. в связи с подготовкой к проведению Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972). Первые предложения по разработке такой системы были выдвинуты Научным комитетом по проблемам окружающей среды (СКОПЕ) профессор Р.Мэнн в 1973 г. в постановочном аспекте изложил концепцию мониторинга, которая была обсуждена на первом Межправительственном совещании по мониторингу (Найроби, февраль 1979 г.). Мониторингом Р.Мэнн предложил называть систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой.

В настоящее время под термином «экологический мониторинг» понимается система наблюдения, контроля, оценки, прогноза состояния окружающей природной среды и информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений (рис.1).

Содержание экологического мониторинга. Цель экологического мониторинга – информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью (рис.2). Для достижения поставленной цели необходимо дать ответы на следующие вопросы:

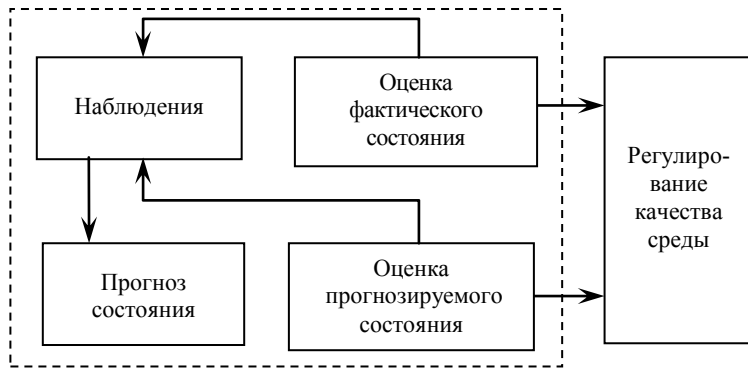


Рис.1. Блок-схема экологического мониторинга



Рис.2. Организация экологического мониторинга

- каково состояние природной среды в рассматриваемый отрезок времени в сравнении с предшествующим техногенезу состоянием (в относительной или абсолютной форме) и какие изменения (положительные, отрицательные) ожидаются в природной среде в прогнозируемый отрезок времени;

- в чем причины произошедших изменений и возможных изменений в будущем (в том числе нежелательных, губительных, критических) и что явилось, является или будет являться источником этих изменений (как правило, вредных техногенных воздействий);

- какие воздействия на данную локальную природную среду, определяемые исходя из выработанной для данного случая критериальной основы оценок функции полезности – вредности, являются вредными (нежелательными или недопустимыми);

- какой уровень техногенных воздействий, в том числе в совокупности с естественными или стихийными процессами и воздействиями, происходящими в рассматриваемой природной среде, является допустимым для природной среды и отдельных ее компонентов или комплексов (ценозов) и какие резервы имеются у природ-

ной среды для саморегенерации состояния, адекватного исходному, принятому за состояние экологического баланса;

- какой уровень техногенных воздействий на природную среду, отдельные ее компоненты и комплексы является недопустимым или критическим, после которого восстановление природной среды до уровня экологического баланса является неосуществимым.

Классификация экологического мониторинга. По уровню накопления и обработки полученной информации выделяют следующие виды мониторинга:

- глобальный (биосферный), на основе международного сотрудничества позволяющий оценить современное состояние всей природной системы Земли. Наблюдение ведут базовые станции в различных регионах планеты (30-40 сухопутных и более 10 океанических). Нередко они располагаются в биосферных заповедниках;

- национальный, проводимый в пределах государства специально созданными органами;

- региональный, объединяющий информацию, полученную в пределах крупных районов, интенсивно осваиваемых народным хозяйством и, следовательно, подверженных антропогенному воздействию, специальными станциями;

- локальный (импактный), включающий наблюдения за воздушной средой различных зон города, промышленных и сельскохозяйственных районов и отдельных предприятий, осуществляемые с помощью стационарных, передвижных или подфакельных постов. Такая система имеется в большинстве крупных городов России.

По объектам наблюдения различают геофизический и биологический экологический мониторинг.

Геофизический мониторинг состоит в наблюдении, контроле, оценке и прогнозе состояния и изменений геофизической среды (как совокупности физических процессов и свойств определенного участка земли), т.е. абиотической составляющей биосферы как в микро-, так и в макромасштабе, а также в изучении реакции крупных систем: погоды и климата.

Основными задачами биологического мониторинга являются определение состояния биотической составляющей биосферы, ее отклика, реакции на антропогенное воздействие, определение функции состояния и отклонения этой функции от нормы на различных уровнях организации биосистем.

По целям мониторинга выделяют научно-исследовательский, диагностический, фоновый, контрольный, прогнозный и другие виды мониторинга, а по методам ведения – биоиндикационный (с помощью биоиндикаторов), контактный приборный (опробование), неконтактный дистанционный (авиа- и космическая съемка). Различают также мониторинг состояния природных ресурсов и мониторинг источников и факторов антропогенного воздействия.

Государственная система экологического мониторинга. С 90-х гг. XX в. в Российской Федерации мониторинг природной среды и источников антропогенных воздействий обеспечивается следующими государственными организациями, которым определены соответствующие объекты мониторинга:

Организация, ведомство	Объекты мониторинга
Комитет по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	Вода. Воздух. Почва
Комитет по геологии и минеральным ресурсам	Подземные воды. Экзогенные геологические процессы
Министерство сельского хозяйства и продовольствия	Почвы. Растительная продуктивность. Снег
Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора	Водопроводная вода. Поверхностные воды. Почва. Атмосферный воздух. Пищевые продукты. Уровень шума, вибрации. Электромагнитное излучение
Унифицированная система санитарно-гигиенического надзора за количеством пестицидов	Пищевые продукты. Сельскохозяйственная продукция

Мониторинг состояния природных ресурсов Российской Федерации закреплен за следующими организациями:

Вид ресурса	Организация, ведомство
Водные	Роскомгидромет, Роскомводхоз, Комитет по геологии и минеральным ресурсам
Земельные	Землеустроительные органы, землепользователи
Минерально-сырьевые	Комитет по геологии и минеральным ресурсам, Госгортехнадзор
Биологические	Главохота, Госкомрыболовство
Лесные	Рослесхоз, лесостроители, ПО «Авиалесохрана», ВНИИ «Лесресурс», НИИ отрасли

Атмосферный воздух как природный ресурс изучен пока слабо. Среди мер по стабилизации экологической обстановки в России большое значение имело создание в 1993 г. Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ). Ее главная задача – обеспечение органов государственного управления и природопользователей информацией об экологической обстановке в различных регионах страны, информационная поддержка процедур принятия решений в области природоохранной деятельности и экологической безопасности.

В соответствии с нормативными правовыми документами общее руководство созданием и функционированием ЕГСЭМ и координация деятельности государственных органов исполнительной власти в области мониторинга окружающей природной среды возложены на Госкомэкологию России. При координации Госкомэкологии ведутся работы по созданию и развитию территориальных подсистем ЕГСЭМ (ТСЭМ) на экспериментальных территориях (Алтай, Мордовия, Чувашия, Вологодская, Калужская, Курганская, Пермская, Оренбург-

ская, Челябинская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, эколого-курортный регион Кавказские Минеральные Воды). В настоящее время количество субъектов Российской Федерации, в которых развернуты работы по созданию ТСЭМ, приближается к 50.

ЕГСЭМ как центр единой научно-технической политики в области экологического мониторинга должен выполнять следующие функции (рис.3):

- координацию разработки и выполнения программ наблюдений за состоянием окружающей среды;
- регламентацию и контроль сбора и обработки достоверных данных;
- хранение информации, ведение специальных банков данных;
- оценку и прогноз состояния объектов окружающей природной среды, природных ресурсов, откликов экосистем и здоровья населения на антропогенное воздействие;
- предоставление экологической информации широкому кругу потребителей.

Особое место в структуре ЕГСЭМ принадлежит эколого-аналитическому контролю (ЭАК) – системе мероприятий по выявлению и оценке источников и уровня загрязненности природных объектов вредными веществами и другими техногенными загрязнителями со стороны разных природопользователей. В сферу ЭАК входят следующие объекты (рис.4):

- воздух (атмосферный, природных заповедников, городов и промышленных зон, рабочей зоны);
- воды (поверхностные, подземные, морские, талые, сточные, атмосферные осадки);
- почвы (в аспекте загрязнения);
- биота (химическое и радиоактивное загрязнение биосистем различных рангов).



Рис.3. Структура функции ЕГСЭМ

На территории Российской Федерации эколого-аналитический контроль осуществляют государственные контрольные органы, отраслевые (ведомственные) службы и лаборатории предприятий-природопользователей. Кроме них в ЭАК участвуют специализированные экологические и промышленно-санитарные лаборатории, выполняющие измерения и анализ на договорных основаниях.

Виды ЭАК по способу определения контролируемого параметра подразделяют на инструментальный, инструментально-лабораторный, индикаторный и расчетный. Измерения и анализ уровня загрязненности осуществляют арбитражными и экспрессными методами. Первые проводят с большой точностью и за длительный период времени, вторые применяют для ежедневной оценки состояния природной среды и оперативного контроля источников загрязнения.

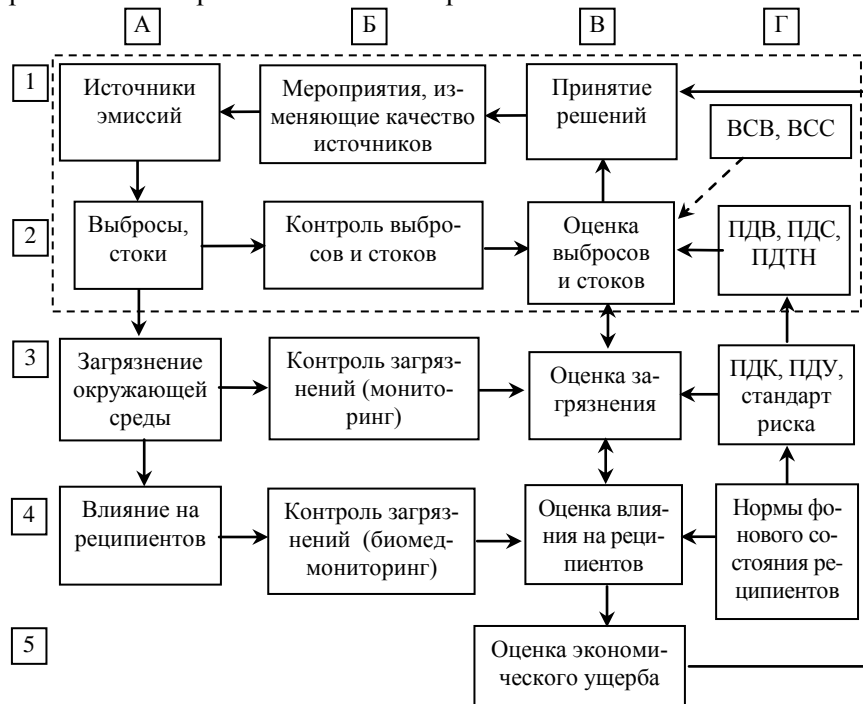


Рис.4. Общая схема контроля загрязнения окружающей среды (выделен минимальный контур практического регулирования)

1-5 – этапы воздействия и откликов; А – уровень процессов; Б – уровень контроля и коррекции; В – уровень оценок и принятия решений; Г – уровень нормативов; ВСВ и ВСС – временно согласованные выброс и сброс соответственно; ПДВ, ПДС и ПДТН – предельно допустимые выброс, сброс и техногенное загрязнение соответственно; ПДК и ПДУ – предельно допустимые концентрация и уровень

В системе ЭАК задействованы стационарные посты контроля, передвижные лаборатории, автоматизированные системы и устройства контроля, аналитические лаборатории (центры). Так, для контроля за загрязнением атмосферного воздуха в промышленных городах предусматриваются три категории постов наблюдения: стационарный, маршрутный и передвижной (подфакельный). Стационарный пост предназначен для непрерывной регистрации концентрации загрязняющих веществ и регулярного отбора проб воздуха для последующих анализов (павильоны типа ПОСТ-1, ПОСТ-2 и др.), маршрутный – для отбора проб воздуха в фиксированных точках местности в соответствии с установленным графиком наблюдений, передвижной – для отбора проб под дымовым (газовым) факелом. Маршрутные и подфакельные наблюдения ведут с помощью специальных транспортных средств, оборудованных соответствующей аппаратурой.

Наблюдения за уровнем загрязнения поверхностных вод проводятся на стационарной сети пунктов контроля качества воды водоемов и водотоков и на временных экспедиционных пунктах. Анализ проб осуществляют гидрохимические лаборатории. Время между отбором проб и анализом иногда достигает нескольких суток. Путь к устранению этого уязвимого звена в цепи аналитического контроля водных объектов – внедрение автоматизированного пробоотбора на объектах контроля и последующий анализ качества воды в стационарной лаборатории с помощью компьютеризированных аналитических комплексов.

1.2. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В исследованиях факторов и источников воздействия на природную среду определен ряд приоритетных направлений мониторинга в зависимости от его объекта:

Объект мониторинга	Высший приоритет
Территория	Города Водные бассейны, объекты питьевого водоснабжения Места нерестилищ рыб
Среда (компонент экосистемы)	Атмосферный воздух Пресноводные водоемы
Ингредиенты загрязнения: воздуха	Пыль, двуокись серы, тяжелые металлы (ртуть), оксиды азота и углерода, бенз(а)пирен, пестициды
воды	Биогенные продукты, нефтепродукты, фенолы

Источники загрязнения (в городах) Автомобильный транспорт, тепловые электростанции, предприятия цветной металлургии

Определение приоритетов основывается на свойствах загрязнителей и возможности организации наблюдений и проводится по следующим критериям:

- уровень фактического или возможного влияния на здоровье и благополучие человека, на климат или экосистемы;
- склонность к деградации в окружающей природной среде и накоплению токсикантов в человеке и пищевых цепях;
- возможность химической трансформации в физических и биологических системах, в результате чего вторичные (дочерние) вещества могут оказаться более токсичными или вредными;
- мобильность, подвижность загрязняющих веществ;
- фактические или возможные тенденции концентраций загрязнителей в окружающей среде и (или) в человеке;
- частота и (или) величина воздействия;
- возможность измерений;
- значение для оценки состояния окружающей среды;
- пригодность с точки зрения всеобщего распространения для равномерных изменений в глобальной или субрегиональной программах.

Оценка загрязняющих веществ по перечисленным критериям вещества разбивается на классы с указанием среды и типа программы измерений (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация приоритетных загрязняющих веществ
по классам приоритетности**

Класс приоритетности	Загрязняющее вещество	Среда	Тип программы измерений
1	Двуокись серы + взвешенные частицы	Воздух	И, Р, Г
	Радионуклиды (⁹⁰ Sr + ¹³⁷ Cs)	Пища	И, Р
2	Озон	Воздух	И, Г (в стратосфере)
	ДДТ и другие хлорорганические соединения	Биота, человек	И, Р
	Кадмий и его соединения	Пища, человек, вода	И

Окончание табл. 1

Класс приоритетности	Загрязняющее вещество	Среда	Тип программы измерений
3	Нитраты, нитриты Окислы азота	Питьевая вода, пища	И
		Воздух	И
4	Ртуть и ее соединения Свинец Двуокись углерода	Пища, вода	И, Р
		Воздух, пища	И
		Воздух	Г
5	Окись углерода Нефтеуглеводы	Воздух	И
		Морская вода	Р, Г
6	Флуориды	Свежая вода	И
7	Асбест Мышьяк	Воздух	И
		Питьевая вода	И
8	Микротоксины Микробиологические загрязнения Реактивные углеводороды	Пища	И, Р
		Пища	И, Р
		Воздух	И

Примечание. Виды мониторинга: Г – глобальный, Р – региональный, И – импактный (локальный).

Другим приоритетным направлением экологического мониторинга является фоновый (базовый) мониторинг, проводящийся в биосферных заповедниках.

Сеть станций должна охватывать каждый из типов биомов на Земле. Общее количество необходимых станций оценено в 20-40 единиц. Заповедники, которые можно потенциально использовать для проведения глобального фонового мониторинга отбираются по следующим критериям:

Обязательные	Желательные
Размер не менее 2000 га. Такой размер позволяет свести до минимума локальные воздействия и защитить от воздействия «ядро» заповедника	Существование буферной зоны, т.е. неосвоенных окружающих участков
Доступность. Участок должен быть доступен в разумных пределах, однако на него должен быть ограничен доступ, например, большого числа автомобилей	Отсутствие нарушений в прошлом, обеспечивающее естественный характер экосистем. Поскольку на практике трудно найти много таких заповедников, критерием является минимум нарушений
Юридическое положение. Заповедник должен быть взят навечно под правовую защиту	

Штат. Штат работников должен быть постоянным и достаточным для формирования следующих служб: охраны, научных исследований, ухода за местностью, технических работ при проведении наблюдений

Текущая научная работа (мониторинг загрязняющих веществ, фундаментальные экологические исследования, изучения воздействия на среду)

Растительность. Тип растительности в заповеднике должен приблизительно соответствовать основным биогеографическим типам земного шара.

Наличие необходимых данных по заповеднику: метеорологических, гидрологических, геофизических, почвенных, гидрогеологических, биологических

Наблюдения на станциях глобального фонового мониторинга носят комплексный характер и проводятся по единой программе (табл.2).

Таблица 2

Программа наблюдений за содержанием загрязняющих веществ на сухопутных фоновых станциях

Среда	Загрязняющие вещества	Частота наблюдений
Атмосфера (на высоте 2 м от подстилающей поверхности)	Взвешенные частицы (аэрозольная мутность атмосферы), окись и двуокись углерода, оксиды азота, углеводороды, двуокись серы, сульфаты, 3-4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие хлорорганические соединения, свинец, ртуть, кадмий, мышьяк	Ежесуточно
Атмосферные выпадения, снежный покров	Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, 3, 4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие хлорорганические соединения	Осадки – интегральные пробы за декаду и месяц Сухие выпадения – интегральная проба за месяц Снежный покров – интегральная проба на всю глубину снежного покрова перед его сходом
Поверхностные, подземные воды, донные отложения и взвеси	Свинец, ртуть, метилртуть, кадмий, мышьяк, 3, 4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие хлорорганические соединения, биогенные элементы	Вода и взвеси – в характерные гидрологические периоды (половодье, межень, паводки) Донные отложения – ежегодно
Окончание табл.2		
Среда	Загрязняющие вещества	Частота наблюдений

Почва	Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, 3, 4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие органические соединения, биогенные элементы	Ежегодно
Биологические объекты	Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, 3, 4-бенз(а)пирен, ДДТ и другие хлорорганические соединения, биогенные элементы	В зависимости от биологии объекта

Примечание. 1. Утверждена Советом уполномоченных по проблеме глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС).

2. При мониторинге атмосферных выпадений и снежного покрова согласно программе ВМО регистрируются рН, анионы и катионы.

1.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

К настоящему времени в России и за рубежом создан большой парк специальной и универсальной контрольно-измерительной и аналитической техники, образцовых средств, технологий проведения анализа, контроля, оценки, обработки информации. Поэтому задача технико-технологического обеспечения экологического мониторинга сводится к выбору оптимального комплекта технических средств наблюдения и контроля из числа серийно выпускаемых различными предприятиями и ведомствами на основе нормативной базы экологического мониторинга.

Результаты экологического мониторинга составляют информационную базу (банк данных) ООС, что позволяет использовать ЭВМ для сбора, хранения, обработки и анализа информации. Информационное обеспечение ООС, в свою очередь, является основой для управления природоохранной деятельностью, проведения ресурсосберегающей политики. Информативность мониторинга во многом зависит от уровня технических средств (оснащенности службы), поэтому при комплектовании парка приборов необходимо руководствоваться всем комплексом нормативов контроля, регламентирующим объемы, периодичность, требуемую точность и достоверность, а также полноту наблюдений. Обязательное условие обеспечения требуемой информативности – использование ЭВМ и средств мониторинга на их основе.

Ведомственная служба экологического мониторинга должна иметь полный комплект необходимых технических средств для контроля всех основных параметров загрязнений окружающей среды. Обычно состав загрязнителей воздуха, воды, почв достаточно точно прогнозируется (оксиды азота, углеводороды и др.) и поэтому задача экологического контроля сводится к количественному определению концентраций известных загрязнений. Для этого ведомственные службы экологического контроля достаточно оснастить комплексными передвижными лабораториями анализа качества воздуха, воды, почв.

Организации экологической службы, ее техническому оснащению для контроля какой-либо определенной территории с находящимися на ней источниками техногенеза должны предшествовать научно-

исследовательские работы, необходимые для исследования и прогнозирования возможных загрязнений (по составу и объемным концентрациям). Результаты исследований служат основанием для комплектования контрольных служб техническими средствами измерений и анализа состава и концентраций загрязнителей.

Инспекционные службы применяют разные методы и средства экологического контроля. Все они равноправны по критериям информативности, точности и достоверности.

В общую структуру аппаратных средств входят три уровня сети наземных измерений.

Низовой уровень мониторинговой сети представлен стационарными постами по воздуху и воде, передвижными и стационарными лабораториями по состоянию атмосферы, воды, почвы, снега, передвижными станциями контроля выбросов и сбросов, инспекционными службами, службами получения данных от населения.

Число стационарных и передвижных станций и постов определяется результатами исследований, расчетов на имеющихся моделях конкретной природно-технической геосистемы (или природно-территориального комплекса), а также на основании накопленного опыта наблюдения за окружающей средой.

На среднем уровне сети работают центры сбора и обработки информации, полученной в низовых сетях, отличающиеся друг от друга спецификой и сложностью решаемых задач.

Высший уровень сети – пользователи информации, полученной в центрах ее сбора и обработки. Непосредственными пользователями данных являются инспектора по охране окружающей среды.

К числу основных составляющих сети мониторинга относятся датчики и анализаторы, устройства загрузки данных, устройства передачи данных и др.

В иерархически построенной сети наземных измерений вычислительные средства обработки информации используются практически на всех уровнях сети. В стационарных и передвижных постах загрузчик данных не только управляет работой анализаторов, но и производит их первичную обработку. В локальных и центральном вычислительных центрах определяются по моделям уровни загрязнения среды по основным и дополнительным ингредиентам, строятся карты изолиний, рассчитываются прогнозы, вычисляются вероятные источники загрязнений и т.п.

Вычислительный центр сети мониторинга загрязнений выполняет следующие функции:

- управление работой сети наземных измерений в оперативном, штормовом режимах и режиме проверки работоспособности;
- сбор информации от стационарных постов и передвижных лабораторий контроля загрязнений;
- ведение банков данных оперативного и долговременного хранения информации с обеспечением надежности хранения информации и защиты от несанкционированного доступа;
- обработка информации для получения общей картины загрязнений для вычисления прогнозов, интегральных оценок экологического состояния среды и др.;

- подготовка и выдача информации о загрязнениях в плановом порядке в виде сводных таблиц, картографического материала и т.п.;

- передача информации в автоматическом режиме в главный вычислительный центр.

Сеть передачи данных наземных измерений со станций экологического мониторинга обеспечивает регулярную (один раз в 10 мин, 30 мин, 1 ч и т.п.) передачу данных измерений от стационарных постов и передвижных лабораторий, передачу данных, поступающих от населения о тревожных и аварийных ситуациях и от вычислительного центра пользователям информации (исполнительной власти, населению и т.п.) по каналам связи.

Информация, передаваемая от стационарных постов и передвижных лабораторий, невелика по объему (сотни байт), но передается достаточно часто. Скорость передачи данных невелика – сотни бит в секунду. Требования к надежности передаваемых данных не предельно жесткие, так как протекающие в атмосфере и воде процессы имеют высокую скорость распространения.

Данные от вычислительного центра пользователям должны передаваться 1-2 раза в сутки, объем их достаточно велик (до нескольких десятков килобайт). Поэтому скорость передачи и требования к надежности передачи данных должны быть достаточно высоки.

Информационное обеспечение системы комплексного экологического мониторинга должно содержать следующие элементы:

- упорядоченную структуру информационных потоков (входных, внутренних, выходных);
- инфраструктуру собственно информационной базы данных;
- методики сбора данных от стационарных и передвижных постов;
- методики передачи данных, полученных от постов различного уровня, включая лидары;
- методики обработки данных и расчета интегральных показателей состояния окружающей среды;
- методики определения источников выбросов;
- структуру пользовательских организаций сети и эксплуатационных служб.

Состав программного обеспечения сети комплексного экологического мониторинга следующий:

- развитые операционные системы;
- стандартные базы данных;
- картографическое и графопостроительное обеспечение;
- мониторы для управления сбором данных.

Базой данных называют совокупность хранимых операционных данных, используемых прикладными системами некоторого потребителя. Основополагающим при проектировании или выборе структуры базы данных является модель представления данных.

По способу организации баз данных различают реляционные, иерархические и сетевые базы данных. Первые строятся на основе реляционной модели данных, использующей математическое понятие теоретико-множественного отношения. База данных при этом представляет собой совокупность таблиц. В иерархических базах данных, соответствующих иерархической модели, данные имеют структуру просто-

го дерева, база данных в целом – совокупности деревьев. Сетевые базы данных организованы как ориентированная сеть, где данные имеют вид ориентированного графа.

Выбор конкретной базы данных зависит от характера выполняемых задач. В соответствии с общими задачами сети наземных измерений должны быть созданы основные базы данных по следующим объектам: воздух, выбросы и отходы, вода и др. Большинство из них целесообразно строить как реляционные. В то же время, скажем, для картографических систем могут быть использованы базы данных иерархического типа.

1.4. УПРАВЛЕНИЕ В СТРУКТУРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА

Изучение сущности современных экологических процессов, попытки регулирования природного и природно-техногенного равновесия не могут обойтись без научного управления системами различного масштаба. Схема управления в применении к экологическим системам при анализе ее содержательности переходит в разряд наисложнейших. В настоящее время человеческое сообщество не обладает возможностями, позволяющими решать задачи экологического управления с достаточной полнотой. Под экологическим управлением понимается сознательная деятельность по регулированию экосферы в соответствии с практическими целями социума на основе познанных объективных экологических закономерностей естественного или техногенного характера.

Экологическое управление осуществляется на базе целевых функций с учетом предыдущих и текущих показателей экосистемы, модельных прогностических параметров с учетом планирования организационно-технических природоохранных мероприятий. Задачи экологического управления следующие:

- восстановление исходного состояния экосистемы;
- перевод экосистемы в другое устойчивое состояние;
- поиск и поддержка зон устойчивого состояния в экосистеме.

В целом экологическая мониторинговая система решает одновременно две задачи: познания и управления, причем первая ставится с расчетом на переход ко второй. Данные наблюдения и контроля служат и базой для получения новых знаний (рис.5) и обоснованием к планированию управления объектом. Чем меньше известно об объекте, тем более совершенным должен быть датчик с целью извлечения максимальной информации об объекте контроля и управления.

Достичь экономически эффективного регулирования и управления качеством природной среды при самых строгих нормах природопользования возможно решением следующих вопросов:

- какое качество природной среды в комплексных и единичных показателях будет приниматься за «нормальное» и «высокое»;
- к какому уровню качества природной среды следует стремиться при восстановительной природоохранной деятельности с учетом экологической и экономической точек зрения и какими критериями руководствоваться;
- проведение каких мероприятий необходимо для уменьшения, снижения или полной компенсации вредных техногенных воздействий, снижения или полной ликвидации экологического ущерба, достижения нового, более высокого уровня качества природной среды;

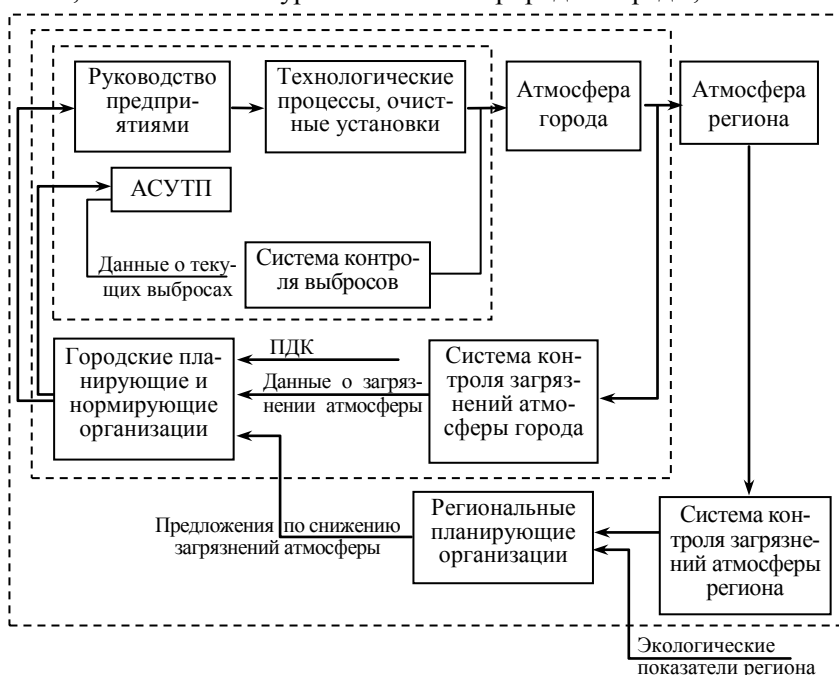


Рис.5. Структура системы регулирования атмосферным воздухом региона

- какова эффективность и полезность природоохранных, восстановительных или компенсационных действий на длительных временных интервалах (долговременный экологический прогноз);

- как определять приоритетность действий при столкновении экономических и экологических интересов.

Основные положения о мониторинге сформулированы в законе РФ «Об охране окружающей среды». Кроме того, положения о мониторинге имеются во всех природоресурсных и иных нормативных правовых актах. К примеру, органы санэпиднадзора обязаны проводить социально-гигиенический мониторинг, регулируемый Положением о сани-

тарно-гигиеническом мониторинге, утвержденным постановлением Правительства РФ от 6 октября 1994 г. [3].

В соответствии с законом «Об охране окружающей среды» организуется государственная служба наблюдения за состоянием окружающей среды, т.е. за происходящими в ней физическими, химическими и биологическими процессами, за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почв, водных объектов. Эта служба фиксирует последствия влияния антропогенных воздействий на растительный и животный мир, обеспечивает заинтересованные организации и население текущей, экстренной и прогнозной информацией об изменениях в окружающей среде. На Правительство РФ возложена задача определения порядка организации и деятельности государственной службы наблюдения.

Постановление Правительства РФ от 3 августа 1992 г. «О повышении эффективности использования в народном хозяйстве гидрометеорологической информации и данных о загрязнении окружающей природной среды» обязывает предприятия и организации Росгидромета и Минприроды России предоставлять специализированную гидрометеорологическую информацию и данные о загрязнении окружающей природной среды коммерческим структурам, предприятиям и организациям гражданской авиации, морского и железнодорожного транспорта на договорной основе (за плату) [3].

За счет централизованных ассигнований из федерального бюджета Росгидромет и Минприроды России осуществляют следующие функции:

- обеспечение населения и хозяйственно-экономических структур предупреждениями (оповещениями) о возникновении стихийных гидрометеорологических и гелиогеофизических явлений, информацией о фоновом состоянии загрязнения окружающей природной среды, прогнозами погоды общего пользования на период до трех суток;
- ведение государственных банков (архивов) данных в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды;
- выполнение международных обязательств РФ по передаче (обмену) гидрометеорологической информации и данных по загрязнению окружающей природной среды.

С целью повышения эффективности работ по сохранению и улучшению состояния окружающей среды Правительство РФ 24 ноября 1993 г. приняло постановление «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» [3].

Условия пользования информационными ресурсами, формируемыми в процессе проведения мониторинга окружающей среды, регулируются Положением об информационных услугах в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды, утвержденным постановлением Правительства РФ от 15 ноября 1997 г. В соответствии с Положением к информационным услугам в области мониторинга загрязнения окружающей среды отнесено предоставление организациями Росгидромета оперативно-прогностической, аналитической, режимно-справочной информации общего назначения и специализированной информации [3].

Информация в области мониторинга загрязнения окружающей среды общего назначения предоставляется пользователям (потребителям) бесплатно или за плату, не возмещающую в полном размере расходы на эти услуги. Такие расходы компенсируются из средств федерального бюджета. Бесплатно названная информация предоставляется органам государственной власти РФ и органам единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

2.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Для получения объективной информации о состоянии и уровне загрязнения различных объектов природной среды необходимо располагать надежными средствами и методами экологического контроля. Повышение эффективности контроля за состоянием природной среды может быть достигнуто повышением производительности, оперативности и регулярности измерений, увеличением масштабов охвата одновременным контролем и автоматизацией и оптимизацией технических средств и процесса контроля.

С помощью набора инструментальных методов химического, физико-химического, микробиологического анализа и других видов наблюдений постоянно отслеживаются состав и техногенные загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод суши, почв, морской воды, геологической среды, а также состояние и поведение источников антропогенных воздействий. Здесь мониторинг смыкается с функциями технологического контроля.

В развитых индустриальных странах техника приборного контроля качества водной и воздушной среды быстро совершенствуется. Разработаны и применяются коммутационные системы непрерывного автоматического слежения за концентрациями загрязнителей воздуха, техника автоматического экспресс-анализа стоков, телеметрические спектральные анализаторы эмиссий в устьях источников, а также разнообразные портативные индикаторные приборы. В последнее время в Интернет появились серверы, содержащие разнообразную и постоянно обновляющуюся информацию о данных экологического мониторинга в странах Западной Европы, США, Канады и Японии.

Средства экологического мониторинга подразделяются на контактные и неконтактные; а контролируемые показатели – на функциональные (продуктивность, оценка круговорота веществ и др.) и структурные (абсолютные или относительные значения физических, химических или биологических параметров: концентрация загрязняющего вещества, коэффициент суммарного загрязнения и др.). Среди контактных методов контроля различают методы, использующие прямое измерение параметра и косвенное (рис.6). В результате прямого измерения искомый параметр определяется непосредственно, например по-

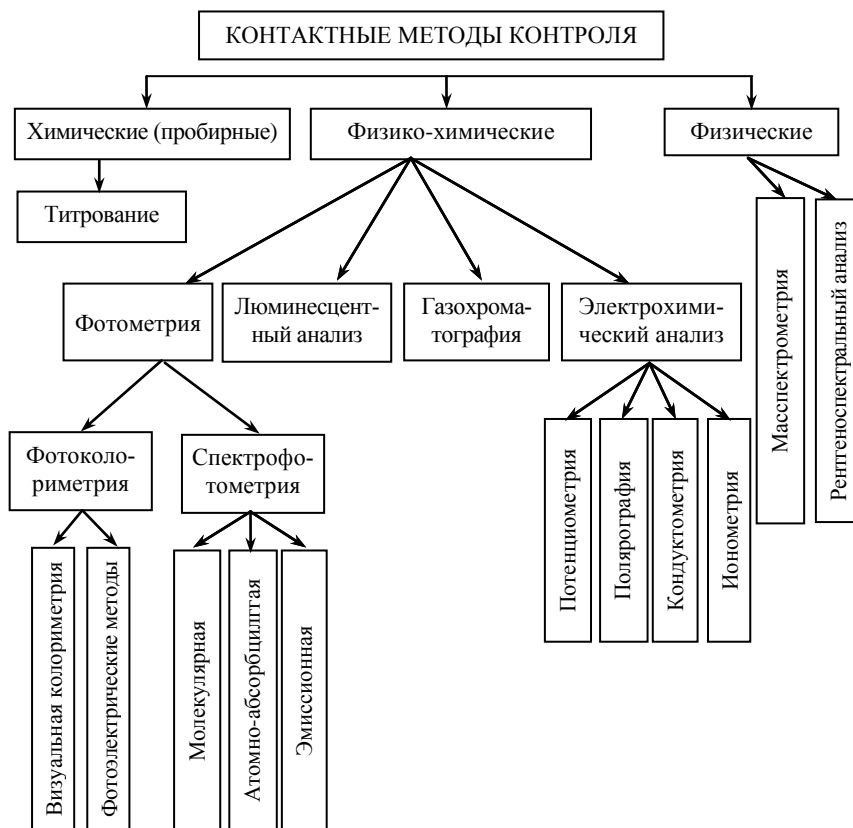


Рис.6. Структура контактных методов наблюдения и контроля за состоянием природной среды

Контактные методы контроля. Наиболее распространена обширная группа физико-химических методов.

Фотометрический метод основан на сравнении оптических плотностей исследуемой и контрольной жидкостей, определяемых по закону Бугера – Ламберта – Бера:

$$D = abc,$$

где D – оптическая плотность раствора; a – коэффициент поглощения при определенной длине волны; b – толщина кюветы; c – концентрация исследуемого элемента (вещества). При постоянных значениях a и b

казатель pH (метод pH-метрии). При косвенном измерении искомого параметр получают с использованием различных калибровочных графиков, таблиц и пр.

Эффективность любого метода наблюдений и контроля за состоянием природной среды оценивается следующими показателями в их совокупности:

- селективностью и точностью определения;
- воспроизводимостью получаемых результатов, чувствительностью определения;
- пределами обнаружения элемента (вещества);
- экспрессностью выполнения анализа.

Основным требованием к выбираемому методу является его применимость в широком интервале концентраций элементов (веществ): от следовых содержаний в незагрязненных объектах фоновых районов до высоких концентраций в районах техногенного воздействия.

зависимость между оптической плотностью раствора и концентрацией загрязнителя должна быть линейной.

К разновидностям фотометрического метода анализа относятся фотоколориметрический (визуальная фотоколориметрия, фотоэлектроколориметрия) и спектрофотометрические фотоколориметрические методы (с поглощением полихроматического света). Для визуальной фотоколориметрии используют приборы визуального сравнения: пробирки, ручные колориметры, визуальные фотометры; для фотоэлектроколориметрии – фотоэлектрические фотометры, которые являются двухлучевыми приборами с двумя фотоэлементами. Чувствительность определения соединения зависит от природы элемента соединения и составляет 0,02-20 мкг/мл пробы.

Спектрофотометрические методы анализа отличаются от фотоколориметрических использованием поглощения монохроматического света. Чувствительность определения различных элементов и соединений спектрофотометрами 0,08-20 мг/мл пробы. Частными случаями спектрофотометрии являются турбидиметрический и нефелометрический методы анализа, применяющиеся для определения количества веществ, находящихся во взвешенном состоянии, посредством измерения интенсивности прохождения (турбидиметрический) или рассеивания (нефелометрический) света в контролируемом растворе пробы. Для измерений турбидиметрическим методом служат спектрофотометры различных типов с синим светофильтром, а также специальные приборы – мутномеры. Рассматриваемый метод пригоден для измерения концентраций порядка несколько частей на миллион. Нефелометрический метод анализа более чувствителен для сильно разбавленных суспензий и при благоприятных условиях может дать точность, сравнимую с точностью других колориметрических методов.

В основе спектрофотометрии (спектрально-эмиссионного метода) лежит излучение световой энергии атомами, ионами, реже молекулами. Излучаемые молекулами, атомами, ионами эмиссионные линейчатые спектры не зависят от вида химических соединений, из которых состоит исследуемое вещество. Поэтому этот вид анализа применяется для элементного состава проб воды и почвы. Метод является универсальным, высокочувствительным, экспрессным и точным; кроме того, он позволяет одновременно анализировать до 30 элементов в одной пробе.

Атомно-абсорбционный спектральный анализ основан на способности свободных атомов элементов селективно поглощать резонансное излучение определенной для каждого элемента длины волны. Метод универсален, прост, высокопроизводителен и позволяет выделить более семи элементов с точностью 0,1-0,01 мг/л.

Люминесцентный (флуориметрический) метод использует появление сильной флуоресценции у некоторых веществ (нефтепродуктов, фенолов и др.) при воздействии на них ультрафиолетовым излучением. Приборы для люминесцентного анализа называются спектрофлуориметрами.

Газохроматографический метод основан на селективном разделении соединений между двумя несмешивающимися фазами, одна из которых неподвижна (жидкость или твердое тело), а другая – подвижна (инертный газ – носитель). Рассматриваемый метод позволяет определять ничтожно малые количества

веществ, не обладающих специфическими реакциями, анализировать смеси, состоящие из десятков и сотен компонентов с близкими свойствами.

Электрохимические методы анализа используют зависимость различных электрических свойств среды от количественного и качественного состава исследуемого вещества:

- изменение потенциала электрода в зависимости от физико-химических процессов, протекающих в веществе (потенциометрический метод);
- изменение электропроводности и диэлектрической проницаемости вещества в зависимости от концентрации и природы ее компонентов (кондуктометрический метод);
- реакции ионоселективных электродов, обратимых к большому числу катионов и анионов (ионометрический метод).

К этой же группе методов относится полярографический метод, использующий принцип восстановления анализируемого соединения на ртутном каплюющем электроде, как правило, при анализе следовых количеств веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях. Полярографы имеют чувствительность, равную 0,005-1 мкг/мл пробы.

Масс-спектрометрический метод заключается в ионизации газообразной пробы электронной бомбардировкой, после чего образующиеся ионы подвергаются воздействию магнитного поля. В зависимости от массы и заряда ионы отклоняются с различной скоростью и соответствующим образом разделяются.

Рентгеноспектральный анализ состоит в изучении спектров различных элементов и веществ под воздействием рентгеновского излучения.

Неконтактные методы измерений. Контактные методы наблюдений и контроля за состоянием природной среды дополняются неконтактными, основанными на использовании двух свойств зондирующих полей (электромагнитных, акустических, гравитационных): осуществлять взаимодействия с контролируемым объектом и переносить полученную информацию к датчику. Зондирующие поля обладают широким набором информативных признаков и разнообразием эффектов взаимодействия с веществом объекта контроля.

Принципы функционирования средств неконтактного контроля условно подразделяют на пассивные (прием зондирующего поля, исходящего от самого объекта контроля) и активные (прием отраженных, прошедших или переизлученных зондирующих полей, созданных источником).

Неконтактный контроль атмосферы осуществляется с помощью радиоакустических и лидарных методов. Сначала радиоволны были использованы для анализа состояния ионосферы (по отражению и преломлению волн), затем для исследования осадков, облаков, турбулентности атмосферы (сантиметровые волны).

Область применения радиоакустических методов ограничена сравнительно локальными объемами воздушной среды (в радиусе 1-2 км). Приборы могут функционировать в наземных условиях и на борту аэронавигаторов.

Одной из причин появления отраженного акустического сигнала являются мелкомасштабные температурные неоднородности, что позволяет контролировать температурные изменения, профили скорости ветра, верхнюю границу тумана.

Принцип лидарного (лазерного) зондирования заключается в том, что лазерный луч рассеивается молекулами, частицами, неоднородностями воздуха, поглощается, изменяет свою частоту, форму импульса, в результате чего возникает флюоресценция, которая позволяет качественно или количественно судить о таких параметрах воздушной среды как давление, плотность, температура, влажность, концентрация газов, аэрозолей, скорость и направление ветра. Преимущество лидарного зондирования заключается в монохроматичности, когерентности и возможности изменять спектр, что позволяет избирательно контролировать отдельные параметры воздушной среды. Главный недостаток – ограниченность потолка наземного зондирования атмосферы влиянием облаков.

Среди методов неконтактного контроля природных вод наиболее распространены радиояркий, радиолокационный и флуоресцентный. Радиояркий метод обеспечивает одновременный контроль волнения, температуры и солености вод в диапазоне зондирующих волн от видимого до метрового. Радиолокационный метод заключается в приеме и обработке (амплитудной, энергетической, частотной, фазовой, поляризованной, пространственно-временной) сигнала, отраженного от взволнованной поверхности.

Для дистанционного контроля параметров нефтяного загрязненной водной среды (площадь покрытия, толщина, примерный химический состав) используется лазерный отражательный, лазерный флуоресцентный, фотографирование в поляризованном свете.

Флуоресцентный метод основан на поглощении оптических волн нефтью и различии спектров свечения легких и тяжелых фракций нефти. Оптимальный выбор длины возбуждающей волны позволяет по амплитуде и форме спектров флюоресценции идентифицировать типы нефтепродуктов.

Многообразие химических загрязнителей и других видов техногенных загрязнений соответствует широкая номенклатура методов и средств ЭАК. Для определения концентрации загрязняющих веществ служат разнообразные методы химического анализа: газовая и ионная хроматография, рентгенофлуоресценция, оптическая спектроскопия и др. Для измерений шума, инфразвука и вибраций применяют как отечественную, так и зарубежную аппаратуру: шумомеры, спектрометры, полосовые фильтры, вибродатчики. Измерение электрической и магнитной составляющей напряженности электромагнитного поля производят приборами типа ИЭМП, NFM-1 (ФРГ). Методы радиационного контроля основаны на измерении параметров ионизирующих излучений (мощность дозы, эквивалентная доза, поверхностная активность и др.) с помощью дозиметрических приборов.

Лаборатории различных министерств и ведомств, выполняющих эколого-аналитический контроль, имеют разную нормативно-методическую и метрологическую базу. Для достижения единства и требуемой точности измерений системы ЭАК должны иметь соответствующее метрологическое обеспечение: единые научные и организационные основы, нормативно-техническую документацию, методы и технические

средства измерений. С этой целью формируется федеральный реестр методик ЭАК, аттестованных и прошедших метрологическую экспертизу.

В аппаратном обеспечении ЭАК существуют два направления. Первое – выпуск приборов общего назначения для контроля большого числа показателей разнотипных объектов (хроматографы, спектрофотометры, полярографы и т.п.), второе направление ориентировано на специальные приборы, предназначенные для определения конкретного агента в конкретном объекте. Такие приборы удобны для стационарных постов контроля, передвижных лабораторий и санитарно-промышленных лабораторий предприятий, где номенклатура загрязнителей ограничена.

Актуальным направлением аналитического приборостроения является создание многоцелевых приборных комплексов на блочно-модульной основе. Аналитический комплекс – это совокупность материальной (средства измерения, вычислительная техника, вспомогательное оборудование) и интеллектуальной (методики, программное обеспечение) составляющих анализа. В комплекс входят комплект аттестованных методик ЭАК и все приборы, технические средства, необходимые для их реализации. Удачным примером аналитического комплекса может служить многоцелевая лабораторная автоматизированная система эколого-аналитического контроля «Инлан».

В последние годы для решения задач экологического контроля и мониторинга все шире используется космическая техника. Получаемые с помощью систем спутниковой связи и оптико-электронных средств высокого разрешения данные используются для построения многослойных электронных карт различной тематики. Космические средства мониторинга в сочетании с наземными системами ЭАК позволяют создать мощную информационную базу для управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью на региональном, национальном и глобальном уровнях.

Сведения о контрольно-измерительной технике, применяемой в промышленной экологии, можно найти в специальной литературе.

2.2. НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Мониторинг состояния атмосферного воздуха подразделяется на две системы: наблюдения и контроля. Первая обеспечивает наблюдение за качеством атмосферного воздуха в городах, населенных пунктах и территориях, расположенных вне зоны влияния конкретных источников загрязнения, вторая – контроль источников загрязнения и регулирования выбросов вредных веществ в атмосферу. Реализация первой задачи возложена на Госкомгидромет, а второй – на Министерство природных ресурсов.

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха проводят в районах интенсивного техногенного воздействия (городах, промагломерациях) и в районах, удаленных от источников загрязнения (фоновых районах).

Сеть фоновых станций, расположенная на территории РФ, включена в ЕГСЭМ. Информация, получаемая с фоновых станций, позволяет оценивать состояние и тенденции глобальных изменений загрязнения атмосферного воздуха. На станциях фонового мониторинга наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводят по физическим, химическим и биологическим показателям.

Необходимость организации контроля загрязнения атмосферного воздуха в зоне интенсивного антропогенного воздействия определяется предварительными экспериментальными и теоретическими исследованиями с использованием методов математического и физического моделирования.

Для получения репрезентативной информации о пространственно-временной изменчивости загрязнения воздуха проводится рекогносцировка – предварительное обследование состояния атмосферного воздуха на определенной территории с помощью передвижных средств (передвижной лаборатории, производящей отбор и анализ проб воздуха). Такой метод позволяет выявить границы промышленных комплексов, зоны их влияния. В результате обработки полученной информации устанавливаются границы, спектр и контрастность загрязнения атмосферного воздуха, разрабатывается схема размещения стационарных постов наблюдения. Пост наблюдений может давать информацию об общем состоянии воздушного бассейна и осуществлять контроль за источниками выбросов.

На постах наблюдений в обязательном порядке измеряются основные, наиболее часто встречающиеся загрязняющие воздух вещества: пыль, SO_2 , CO , NO_x . Выбор других веществ, требующих контроля, определяется спецификой производства и выбросов в данной местности и частотой превышений ПДК.

Стационарный пост наблюдений – это специально оборудованный павильон, в котором размещена аппаратура, необходимая для регистрации концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров по установленной программе. Из числа стационарных постов выделяются опорные стационарные посты, предназначенные для выявления долговременных изменений содержания основных или наиболее распространенных загрязняющих веществ. Место для установки стационарного поста выбирается, как правило, с учетом метеорологических условий формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха. При этом заранее определяется круг задач: оценка средней месячной, сезонной, годовой и максимальной разовой концентраций, вероятности возникновения концентраций, превышающих ПДК, и др.

Перед установкой поста анализируются следующие данные:

- расчетные поля концентраций по всем ингредиентам от совокупности выбросов всех стационарных и передвижных источников;
- особенности застройки и рельефа местности;
- перспективы развития жилой застройки и расширения предприятий промышленности, энергетики, коммунального хозяйства, транспорта и др.;
- функциональные особенности выбранной зоны;
- плотность населения;
- метеорологические условия данной местности.

Пост должен находиться вне аэродинамической тени зданий и зоны зеленых насаждений, его территория должна хорошо проветриваться, не подвергаться влиянию близкорасположенных низких источников (стоянок автомашин, мелких предприятий с низкими выбросами и т.п.). Количество стационарных постов в населенном пункте зависит от численности населения, рельефа, особенностей промышленности и функциональной структуры местности (жилая, промышленная, зеленая зона и т.д.), пространственной и временной изменчивости полей концентраций вредных веществ. Так, например, исходя из численности населения, количество постов устанавливается следующим образом:

Население, тыс. человек	< 50	50-100	100-200	200-500
Количество постов	1	2	3	3-5
Население, тыс. человек	500-1000	1000-2000	> 2000	
Количество постов	5-10	10-15	15-20	

Для населенных пунктов со сложным рельефом и большим числом источников загрязнений рекомендуется один пост на каждые 5-10 км². Чтобы информация о загрязнении воздуха учитывала особенности города, посты наблюдений следует размещать в различных функциональных зонах: жилой, промышленной и селитебной. В городах с большой интенсивностью движения автотранспорта необходимы посты вблизи автомагистралей.

Для обеспечения оптимальных условий проведения стационарных наблюдений отечественной промышленностью выпускаются стандартные посты наблюдений (комплектные лаборатории) типа ПОСТ. Лаборатория ПОСТ – это утепленный, обитый дюралевыми ячейками павильон, в котором размещены комплекты приборов и оборудования для отбора проб воздуха и проведения метеорологических измерений: скорости и направления ветра, температуры, влажности. Практически все стационарные пункты контроля загрязнения оборудованы лабораториями ПОСТ-1, ПОСТ-2 и ПОСТ-2а. За одно обслуживание на ПОСТ-1 можно отобрать девять проб, на ПОСТ-2 – 38. Кроме того, ПОСТ-2 оснащен автоматизированным прибором «Компонент» с узлом отбора проб для определения запыленности воздуха и автоматическим прибором контроля относительной влажности и температуры с самописцем. В лабораториях ПОСТ-1 и ПОСТ-2 могут устанавливаться газоанализаторы.

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха и метеорологическими параметрами на стационарных постах должны проводиться круглогодично и независимо от погодных условий. Для постов наблюдений, как правило, устанавливаются три программы наблюдений: полная, неполная и сокращенная. Полная программа предусматривает ежедневные (кроме воскресений, субботы чередуются) наблюдения в 1, 7, 13 и 19 ч по местному декретному времени либо наблюдения по вторникам, четвергам, субботам в 7, 10 и 13 ч, по понедельникам, средам и пятницам в 15, 18 и 21 ч. Измеряются содержания в воздухе как основных, так и специфических загрязняющих веществ. По неполной программе наблюдения проводятся ежедневно (воскресенья и субботы чередуются) в 7, 13 и 19 ч по местному декретному времени.

В районах, где зимой температура воздуха ниже 45 °С или где средние месячные концентрации меньше $1/20$ ПДК_{м.р} или меньше нижнего предела диапазона измерений примеси используемым методом наблюдения проводятся по сокращенной программе: ежедневно, кроме воскресенья, в 7 и 13 ч по местному декретному времени.

При неблагоприятных метеорологических условиях (туман, продолжительная инверсия температур и др.) отбор проб воздуха на всех постах наблюдений должен производиться через каждые 3 ч. Одновременно следует отбирать пробы под факелами основных источников загрязнения на территории с наибольшей плотностью населения. Подфакельные наблюдения осуществляются за характерными для данного предприятия примесями.

Маршрутный пост наблюдений – место на определенном маршруте в городе. Он предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности. Для маршрутных наблюдений на маршрутных постах серийно выпускаются автолаборатории. Такая передвижная лаборатория имеет производительность около 5000 отборов проб воздуха в год, в день 8-10 отборов. Порядок объезда маршрутных постов ежемесячно меняется так, чтобы отбор проб воздуха на каждом пункте проводился в разное время суток. Например, в первом месяце машина объезжает посты в порядке возрастания номеров, во втором – в порядке их убывания, а в третий – с середины маршрута к концу и от начала к середине и т.д.

Передвижной (подфакельный) пост служит для отбора проб под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника. Подфакельные наблюдения осуществляются по специально разрабатываемым программам и маршрутам за специфическими загрязняющими веществами, характерными для выбросов данного предприятия. Места отбора проб при подфакельных наблюдениях выбирают на разных расстояниях от источника загрязнения с учетом закономерностей распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Отбор проб воздуха производится последовательно по направлению ветра на расстояниях 0,2-0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 и 20 км от стационарного источника выброса, а также с наветренной стороны источника. Наблюдения под факелом за типичными для данного предприятия ингредиентами должны учитывать объем выбросов и их токсичность. В зоне максимального загрязнения (по данным расчетов и экспериментальных замеров) отбирается не менее 60 проб воздуха, а в других зонах не менее 25. Отбор проб воздуха производится на высоте 1,5 м от поверхности земли в течение 20-30 мин не менее чем в трех точках одновременно. В течение рабочего дня под факелом можно отобрать пробы последовательно в пяти-восьми точках.

Отбор проб – один из важнейших элементов анализа качества атмосферного воздуха. Если отбор проб выполнен неправильно, то результаты самого тщательного анализа теряют всякий смысл. Возможны два способа отбора проб атмосферного воздуха: аспирационный (пропусканием воздуха через поглотительный прибор с определенной скоростью) и заполнением сосудов ограниченной емкости. Для исследования газообразных примесей пригодны оба способа, для анализа примесей в виде аэрозолей (пыли) только первый. При аспирационном способе анализируемое вещество концентрируется в поглотительной сре-

де. Для достоверного определения расход воздуха через прибор должен быть достаточно большим: десятки и сотни литров в минуту.

Пробы подразделяются на разовые и среднесуточные. Обычно для получения средних суточных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе пробы воздуха отбирают в 1, 7, 13 и 19 ч по местному декретному времени. Наилучшим способом получения среднесуточных концентраций является непрерывный отбор проб воздуха в течение 24 ч.

2.3. НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

Наблюдения за химическим составом природных вод в нашей стране стали выполняться в системе гидрометслужбы СССР с 1936 г., а, начиная с 1964 г., сеть приступила к наблюдениям за состоянием качества поверхностных вод. С созданием единой государственной службы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) наблюдения за качеством поверхностных вод вступили в следующий, качественно новый этап – этап систематического контроля за загрязнением вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям.

Основные задачи выполняемых в рамках ЕГСЭМ наблюдений качества поверхностных вод следующие:

- систематическое получение как отдельных, так и обобщенных во времени и пространстве данных о качестве воды;
- обеспечение заинтересованных организаций систематической информацией о качестве воды водоемов и водотоков и экстренной информацией о резких изменениях загрязненности воды.

Основным принципом организации наблюдений является их комплексность, которая предусматривает согласованную программу работ по гидрохимии, гидрологии и гидробиологии, т.е. наблюдения за качеством воды по физическим, химическим, гидробиологическим показателям и проведение сопутствующих микробиологических работ. Необходимым условием является также синхронность всех систем наблюдений, систематичность и согласованность сроков проведения наблюдений.

Наиболее важным этапом организации работ по наблюдению за загрязнением поверхностных вод является выбор местоположения пункта наблюдений. Под пунктом наблюдений качества поверхностных вод следует понимать место на водоеме или водотоке, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Пункты наблюдений организуются, в первую очередь, на водоемах и водотоках, имеющих большое народно-хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению сточными водами предприятий энергетики и промышленности, хозяйственно-бытовыми стоками, а также стоками с сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов. На водных объектах с незначительным загрязнением создаются пункты для фоновых наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в природных объектах.

Пункты наблюдений качества водоемов и водотоков подразделяются на четыре категории. Категории пунктов и их расположение определяются в установленном порядке с учетом комплекса факторов: народно-хозяйственного значения водного объекта, качества воды, размера и объема водоема, размера и водности водотока, данных о режимах (водный, ледовый, термический), физико-географических признаках. Кроме того, при размещении пунктов наблюдений следует учитывать состояние и перспективы использования водоема или водотока на основании предварительных обследований. Предварительные обследования на участках водоемов и водотоков являются важным этапом в организации пунктов наблюдений, так как определяют направление дальнейших работ в пункте. Цели предварительных обследований:

- определение состояния водного объекта, сбор и анализ сведений о водопользователях, выявление источников загрязнения, количества, состава и режима сбросов сточных вод в водоем или водоток;
- определение расположения пунктов наблюдений, створов наблюдений, вертикалей и горизонтов в них;
- установление характеристик для данного водоема или водотока загрязняющих веществ и биотопов;
- составление программы работ.

На основе имеющихся материалов составляют карты-схемы водоема, водотока или их частей, где отмечаются источники загрязнения и места сброса сточных вод. Затем выбирают местоположение пунктов и створов наблюдений и выполняют обследование водоема или водотока, во время которого исследуются источники загрязнения (место, характер, режим сброса сточных вод, их количество и состав), а также отбираются пробы воды для определения их гидрохимических и гидробиологических показателей с целью выявления характерных для данного пункта загрязняющих веществ.

Количество и местоположение пунктов наблюдения за качеством вод водотоков и водоемов должны обеспечить получение информации, необходимой для выполнения задач, поставленных перед сетью ЕГСЭМ. Пункты наблюдений включают один или несколько створов. Под створом пункта наблюдений следует понимать условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Створы наблюдений размещают с учетом гидрометеорологических условий и морфологических особенностей водоема или водотока, расположения источников загрязнения, объема и состава сбрасываемых сточных вод и интересов водопользователей.

При наблюдении качества вод всего водоема устанавливают не менее трех створов, по возможности равномерно распределенных по его акватории с учетом береговой линии. При наблюдении по отдельным участкам водоема створы располагаются следующим образом:

- на водоемах с интенсивным водообменом один створ выше источника загрязнения и вне зоны его влияния, и не менее двух ниже источника загрязнения или ниже последнего по течению из группы источников загрязнения на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязнения;

- на водоемах с умеренным и замедленным водообменом один створ вне зоны влияния источника или группы источников загрязнения, второй совмещают с местом сброса сточных вод, и не менее двух располагают параллельно второму по обе его стороны на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности.

На водотоках, где отсутствует организованный сброс сточных вод, по одному створу устанавливают в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков, на предплотинных участках рек, на замыкающих участках рек, в местах пересечения государственной границы РФ. Два створа и более устанавливают на водотоках при наличии организованного сброса сточных вод. Один из них располагают на расстоянии 1 км выше источника загрязнения и вне зоны его влияния, другие ниже источника загрязнения или последнего по течению из группы источников загрязнения в следующих местах:

- в месте достаточно полного (не менее 80 %) смешения сточных вод с водами водотока; при невозможности отбора проб в створе полного смешения допускается отбор проб в створе, расположенном ближе к источнику загрязнения;

- в месте, определяемом в установленном порядке, но не далее 0,5 км от сброса сточных вод при отсутствии рассеивающего выпуска для объектов рыбохозяйственного водопользования.

При наличии на водотоке нескольких рукавов створы располагают на тех из них, где наблюдаются небольшие расходы воды и нарушения норм качества воды.

Местоположение вертикалей и количество горизонтов в каждом створе зависят от характера сбросов, особенностей течения водотока, условий рельефа дна.

Под вертикалью створа следует понимать условную отвесную линию от поверхности воды (или льда) до дна водоема или водотока, на которой выполняют работы для получения данных о показателях качества воды. Количество вертикалей в створе на водоемах определяется шириной зоны загрязнения с учетом условий смешения вод водотока со сточными водами, а также с водами притоков. Первую вертикаль располагают на расстоянии не более 0,5 км от берега или от места сброса сточных вод, последнюю – непосредственно за границей зоны загрязнения. При неоднородном химическом составе воды в створе устанавливается не менее трех вертикалей (на стрежне и на расстоянии 3-5 км от берегов), при однородном химическом составе одна вертикаль на стрежне водотока.

Под горизонтом створа следует понимать место на вертикали (по глубине), на котором производят комплекс работ для получения данных о показателях качества воды. Количество горизонтов на вертикали зависит от глубины водного объекта следующим образом:

- при глубине до 5 м – один горизонт (летом в 30 см от поверхности воды, зимой у нижней поверхности льда);

- при глубине от 5 до 10 м – два горизонта (у поверхности и у дна на расстоянии 0,5 м от дна);

- при глубине более 10 м – три горизонта (на поверхности, на половине глубины водного объекта и у дна);

- при глубине более 100 м – шесть горизонтов (у поверхности, на глубинах 10, 20, 50, 100 м и у дна). Кроме того, устанавливают дополнительные горизонты в каждом слое скачка плотности.

Состав и объем гидрологических и гидрохимических работ в пунктах наблюдений должны отвечать задачам наблюдений и удовлетворять требованиям заинтересованных народно-хозяйственных органов об информации о качестве вод водотоков и водоемов. Перечень определяемых показателей качества воды водоемов и водотоков устанавливают с учетом целевого использования сточных вод, состава сбрасываемых сточных вод, требований потребителей информации. Все это обуславливает различие программ наблюдений. Выделяют обычно четыре вида программ: обязательную (ОП) и три сокращенных (ПС1, ПС2 и ПС3). Выбор программы и периодичности наблюдений зависит от категории пункта наблюдений.

Состав показателей гидрологических наблюдений следующий:

- расход воды, скорость течения при опорных измерениях расхода на водотоках или уровень воды на водоемах (ОП и ПС3);

- расход воды на водотоках или уровень воды на водоемах (ПС1 и ПС2).

Комплекс гидрохимических наблюдений включает определение следующих показателей:

Программа	Показатели
ОП	Визуальные наблюдения Температура, цветность, прозрачность, запах Концентрация растворенных в воде газов (кислорода, диоксида углерода) Концентрация взвешенных веществ Водородный показатель рН Окислительно-восстановительный потенциал Eh. Концентрация главных ионов (хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатных, кальция, магния, натрия, калия, сумма ионов) Химическое потребление кислорода. Биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК ₅) Концентрация биогенных элементов (аммонийных, нитритных и нитратных ионов, фосфатов, железа общего, кремния) Концентрация широко распространенных загрязняющих веществ (нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ, летучих фенолов, пестицидов и соединений металлов)
ПС1	Визуальные наблюдения Температура Концентрация растворенного кислорода Удельная электропроводность
ПС2	Визуальные наблюдения Температура Водородный показатель рН

	Удельная электропроводность
	Концентрация взвешенных веществ. Химическое потребление кислорода. БПК ₅
	Концентрация двух-трех загрязняющих веществ, основных для воды в данном пункте
ПС3	Визуальные наблюдения
	Температура
	Водородный показатель pH
	Концентрация взвешенных веществ. Концентрация растворенного кислорода. Химическое потребление кислорода. БПК ₅
	Концентрация всех загрязняющих воду в данном пункте наблюдений веществ

Примечание. При наличии ниже источника загрязнения нескольких створов концентрация главных ионов измеряется только в первом после сброса сточных вод створе.

В пунктах наблюдений I категории наблюдения проводятся ежедневно в первом створе после сброса сточных вод. Кроме того, в этом же створе обязателен ежедневный отбор проб в объеме не менее 5 л. Пробы хранятся в течение 5 суток на случай необходимости проведения гидрохимического анализа при чрезвычайных обстоятельствах (замор, гибель рыбы, аварийные сбросы загрязняющих веществ). Отбор проб производится ежедекадно (по ПС2), ежемесячно (по ПС3) и в основные фазы водного режима (по ОП). В пунктах II категории наблюдения по гидрологическим и гидрохимическим показателям проводятся ежедневно (визуальные наблюдения), ежедекадно (по ПС1), ежемесячно (по ПС3) и в основные фазы водного режима (по ОП). В пунктах III категории наблюдения проводятся ежемесячно (по ПС3) и в основные фазы водного режима (по ОП). В пунктах IV категории наблюдения по гидрологическим и гидрохимическим показателям осуществляются в основные фазы водного режима (по ОП).

При наблюдениях по обязательной программе для большинства водотоков отбор проб воды производится семь раз в год: во время половодья (на подъеме, пике и спаде), летней межени (при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка), осенью перед ледоставом, во время зимней межени.

Количество отбираемых для анализа проб воды в течение года по обязательной программе зависит от особенностей водного режима отдельных водотоков:

- на водотоках с длительным половодьем (больше месяца) – восемь (на подъеме, пике, в начале и конце спада половодья);
- на водотоках, характеризующихся паводочным режимом, – не менее восьми;
- на водотоках с устойчивой летней меженью и слабо выраженным осенним подъемом воды – пять-шесть;
- на временных водотоках – более трех-четырёх;
- на водотоках в горных районах в зависимости от типа водотока – от четырех до одиннадцати.

Наблюдения по гидрологическим и гидрохимическим показателям на водоемах проводятся зимой при наиболее низком уровне и наибольшей толщине льда, в начале весеннего и в период максимального наполнения водоема, при наиболее низком уровне в летне-осенний период.

При наблюдениях за загрязнением воды водотоков и водоемов на основании сведений об источниках загрязнения и результатах анализа проб воды, отобранной во время предварительных исследований, выявляют характерные для них загрязняющие вещества, и затем включают их в программу наблюдений. Для получения данных о качестве воды вне пунктов наблюдений проводятся экспедиционные обследования. Как правило, такие обследования осуществляются для получения информации о качестве воды при чрезвычайных обстоятельствах и ситуациях, при обследовании водных объектов для уточнения расположения пунктов и створов контроля и программы работ. Помимо этого, экспедиционные работы проводятся, если пункт наблюдений не обеспечен наблюдателем.

Отбор проб воды для химического анализа поверхностных вод проводят в гидрохимических (гидрологических) створах на стрежне потока с горизонта 0,2-0,5 м от поверхности воды эмалированным ведром емкостью 10 л. Из батометра или ведра водой наполняют сосуды для определения рН, содержания в воде кислорода, диоксида углерода, фиксируют растворенный в воде кислород для дальнейшего химического анализа в лаборатории, а также наполняют водой склянки с притертыми пробками (через сифон, пропустив перед закрытием склянки не менее трех объемов воды) для определения БПК₅. Пробы для определения концентрации нефтепродуктов, фенолов, СПАВ, тяжелых металлов, пестицидов отбирают в отдельные бутылки.

Отбор проб воды для определения содержания пестицидов производят из придонного слоя бутылочным батометром (на глубине до 3 м) или батометром Молчанова (на глубине более 3 м) в объеме 1 л.

В зимнее время при температуре воздуха ниже 0 °С отобранную пробу воды сразу же после измерения температуры переносят в теплое помещение, где производят анализ «первого дня».

Объем пробы воды для химического анализа с каждого створа не менее 7-8 л. Для пересылки проб воды используется полиэтиленовая и стеклянная посуда. В целях сохранности бутылок при транспортировке необходимо не доливать воду до пробки на 1-2 см.

2.4. НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Влияние химических веществ антропогенного происхождения на почвенный покров, особенно вблизи источников загрязнения (вокруг городов, промышленных и сельскохозяйственных комплексов, автомагистралей и т.д.), постоянно возрастает. В составе атмосферных выбросов, загрязняющих почву, рассматриваются макро- и микроэлементы, газы и гидрозоли, сложные органические соединения (пирдин, фенол, бензол и др.).

Негативные последствия антропогенного загрязнения почв проявляются на региональном и даже на глобальном уровне. Поэтому в настоящее время актуальна разработка программ наблюдения за химическим загрязнением почв. Цель таких программ – адекватная оценка современного состояния почв и

прогноз изменений этого состояния. Такую информацию может дать система наблюдений за уровнем химического загрязнения почв, испытывающих антропогенное воздействие.

Содержание и характер наблюдений за уровнем загрязнения почв и их картографирование в сельских и городских условиях имеют свою специфику. Наблюдения должны обеспечивать решение следующего круга задач:

- регистрация современного уровня химического загрязнения почв, выявление географических закономерностей и динамики временных изменений загрязнения почв в зависимости от расположения и технологических параметров источника загрязнения;

- прогноз тенденций изменения химического состава почв в ближайшем будущем и оценка возможных последствий загрязнения почв;

- обоснование состава и характера мероприятий по регулированию возможных отрицательных последствий в результате загрязнения почв и мероприятий, направленных на коренное улучшение уже загрязненных почв;

- предоставление информации об уровне загрязнения почв заинтересованным организациям.

Исходя из вышеперечисленных задач, можно выделить следующие виды наблюдений:

- режимные (систематические) за уровнем содержания химических веществ в почвах в течение определенного промежутка времени;

- комплексные, включающие исследование процессов миграции загрязняющих веществ в системе атмосферный воздух – почва, почва – растение, почва – вода и почва – донные отложения;

- изучение вертикальной миграции загрязняющих веществ в почвах по профилю;

- наблюдения за уровнем загрязнения почв в определенных пунктах, намеченных в соответствии с запросами тех или иных организаций.

При наблюдениях за уровнем загрязнения почв необходимо получить представление не только о степени химического загрязнения почв в настоящее время, но и путях развития процессов, в частности, в период, когда будут внедряться мероприятия, направленные на уменьшение химического загрязнения почв, существенно изменяющие водный, тепловой, солевой, биологический и другие режимы почвы.

Состояние и прогноз загрязнения почв не может базироваться только на анализах проб почв. Почва – элемент ландшафта, поэтому её исследование неотделимо от изучения всех компонентов природного и антропогенного комплекса, всех путей накопления загрязняющих веществ в природных, сельских и городских условиях.

Перед осуществлением полевой программы наблюдений за уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами в природных и сельскохозяйственных ландшафтах необходимо провести планирование работ, т.е. определить примерное количество точек отбора почв, которые дадут основной физический материал, составить схему их территориального размещения, наметить полевые маршруты или последовательность обработки площадей, установить календарные сроки исполнения задания. Помимо этого, следует проверить наличие и качество топографического материала, а также тематических карт (почвенных, геоботани-

ческих, геологических, геохимических и др.). Необходимо собрать сведения об источниках загрязнения почв на территории (расположение, используемое сырье, объем производства, отходы), а также установить связь с учреждениями, которые заинтересованы в предполагаемых обследованиях.

Наблюдения за уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами в городах и на окружающей территории носят характер экспедиционных работ и поэтому включают в себя все мероприятия по подготовке к ним. Время проведения экспедиционных работ и отбора почв не имеет значения. Однако сбор материалов удобнее проводить в сухое время года, в период уборки урожая основных сельскохозяйственных культур, т.е. летом и в начале осени. При развернутых стационарных наблюдениях отбор проб производится независимо от времени экспедиционных работ. Повторные наблюдения за уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами ранее обследованных территорий осуществляются через 5-10 лет.

При выборе участков наблюдения на территориях, используемых сельским хозяйством, исходным рабочим документом служит топографическая основа определенного масштаба (обычно 1:10 000). Контур (схема) города (рабочего поселка) или промышленного комплекса размещаются, как правило, в центре плана местности, который переносится с топографической основы. Из геометрического центра (город, промышленный комплекс, завод и т.д.) с помощью циркуля наносятся окружности на расстояниях 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 20; 30; 50 км, которые обозначают зоны возможного загрязнения почв тяжелыми металлами. Протяженность зоны загрязнения почв определяется скоростью и частотой ветров данного румба (розой ветров), характером выбросов в атмосферу (плотностью вещества, дисперсностью частиц), высотой труб, рельефом территории, растительностью и т.д. Значительное количество тонкодисперсных аэрозолей и газов, содержащих тяжелые металлы, остается в атмосфере, переносится на большие расстояния и поступает в глобальный круговорот на планете.

На подготовленный таким образом план местности наносятся контуры многолетней розы ветров по 8-16 румбам. Самый большой вектор, соответствующий наибольшей повторяемости ветров, откладывается в подветренную сторону (его длина составляет 25-30 см, т.е. 25-30 км). Таким образом, в контур, образованный розой ветров, включается территория наибольшей загрязненности тяжелыми металлами (рис.7). В направлении радиусов строятся секторы шириной 200-300 м вблизи источников загрязнения с постепенным расширением до 1-3 км; в местах пересечения осей секторов с окружностями располагаются ключевые участки, на них – сеть опорных разрезов, пункты и площадки взятия проб.

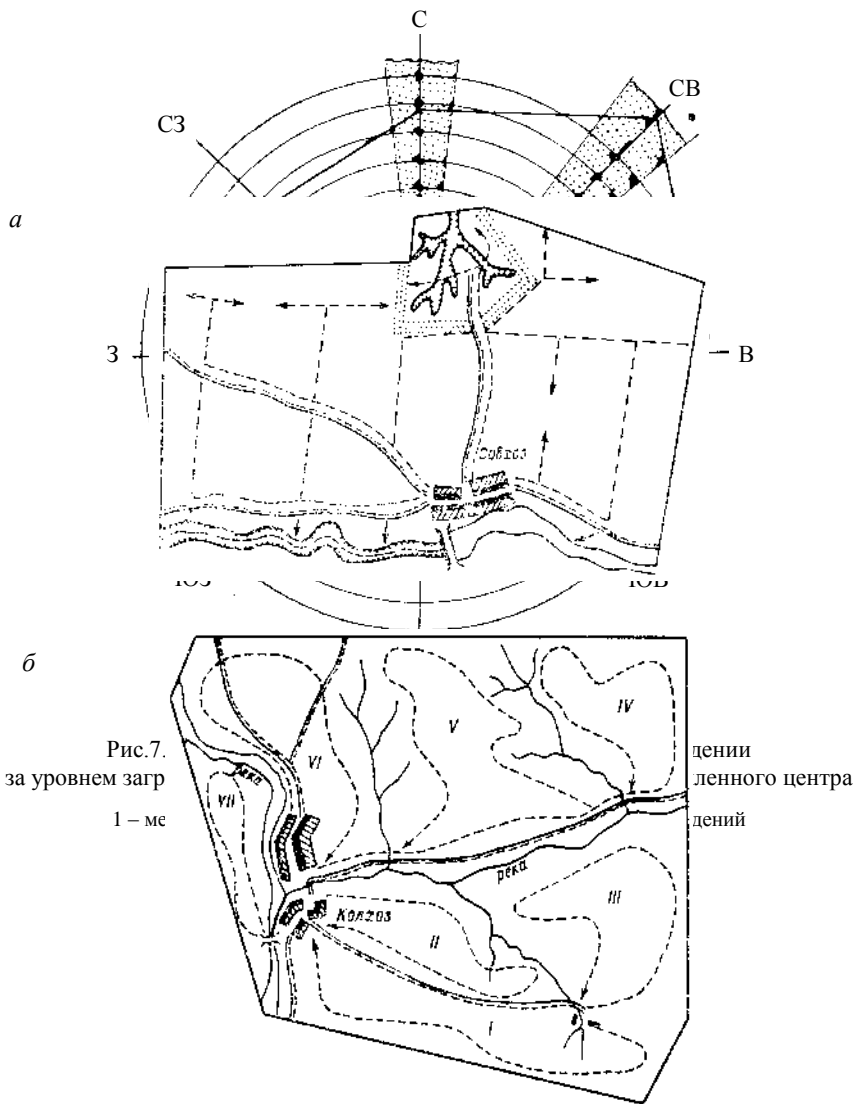


Рис.7.
за уровнем загр
I – ме

Рис.8. Маршруты (штриховые линии) рекогносцировочных обследований территории при наблюдении за уровнем загрязнения почв: а – при детальном обследовании; б – при обследовании на значительных площадях

I-VII – элементарные ландшафты

Рекогносцировочные обследования проводятся маршрутным путем, более или менее подробно в зависимости от природной сложности территории, степени ее изученности, площади и масштаба обследований. При детальном обследовании загрязнения почв вокруг единичного источника загрязнения достаточно один-два раза пересечь участок (рис.8, а). При больших площадях (обследование сельскохозяйственных полей, местности вокруг городов и т.д.) рекогносцировочное обследование требует значительных усилий и времени, чтобы охватить маршрутами местность, пересекая ее по главным орографическим элементам (рис.8, б).

В результате рекогносцировки выявляются основные ландшафтные особенности территории, общие закономерности пространственных изменений почвенного покрова, главные формы почвообразования и др. Параллельно идет ознакомление с местным фоновым материалом, собираются сведения о климате и микроклимате, о погодных условиях последних лет, о заболеваниях, связанных с повышенным содержанием тяжелых металлов в экосистеме. Затраты рабочего времени на рекогносцировочное обследование территории

до начала основных работ, как правило, окупаются экономией сил и времени в последующие периоды полевых работ.

При оценке степени загрязнения территории тяжелыми металлами ввиду чрезвычайно большой трудоемкости и стоимости сплошная съемка загрязненных почв не всегда оправданна. Целесообразнее и экономичнее проследить пути воздушного и водного загрязнения почв, анализируя объединенные образцы, взятые из верхних слоев почв. Более детальное исследование нужно проводить на ключевых участках, расположенных в секторах-радиусах вдоль преобладающих воздушных потоков.

Под ключевым участком (обычно их 15-20) понимается участок (1-10 га и более) с типичными, постоянно повторяющимися в данном районе сочетаниями почвенных условий и условий рельефа, растительности и других компонентов физико-географической среды. Основную долю ключевых участков следует располагать в направлении двух экстремальных лучей (румбов) розы ветров. При нечетко выраженной розе ветров участки должны характеризовать территорию равномерно в направлении всех румбов розы ветров. Если есть основание полагать, что миграция тяжелых металлов связана с водными потоками, то направление лучей нужно согласовывать с вектором водной миграции.

Ключевые участки размещают на обследуемой территории так, чтобы ими были охвачены все возможные ландшафтно-геохимические условия, разнообразные формы генезиса, состава и сочетания почв, типичные биоценозы и, конечно, фоновые и техногенные участки.

При наблюдениях за уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами большое значение имеет сравнение изменений, происходящих по мере увеличения или уменьшения влияния того или иного фактора, и вызванных этими изменениями закономерных смен степени загрязнения почв различными ингредиентами в пространстве. Наиболее четко эти закономерности можно выявить на почвенно-геоморфологических профилях, секущих всю территорию вдоль преобладающих направлений ветра, что является исключительно ценным методом познания сопряженных связей между распределением загрязняющих веществ в почвах и средой.

Под почвенно-геоморфологическим профилем следует понимать заранее выбранную узкую, стремящуюся к линии полосу земной поверхности, на которой установлена корреляция степени загрязнения почв с одним или несколькими экологическими факторами. Почвенно-геоморфологические профили закладываются по векторам розы ветров. Профили не могут полностью заменить ключевые участки, особенно в тех случаях, когда изменение степени загрязнения почв обусловлено характером микрорельефа, связь которого с загрязнением почв наиболее наглядно проявляется на большой территории. Следовательно, почвенно-геоморфологические профили и ключевые участки должны дополнять друг друга.

Достоверно установлено, что техногенные выбросы, загрязняющие почвенный покров через атмосферу, сосредоточиваются в поверхностных слоях почвы. Тяжелые металлы сорбируются, как правило, в первых 2-5 см от поверхности. Загрязнение нижних горизонтов происходит в результате обработки почвы (вспашки, культивации, боронования), а также вследствие диффузионного и конвективного переноса через трещины, ходы почвенных животных и растений. Поэтому наиболее четкая картина загрязненности

почвенного покрова тяжелыми металлами может быть получена при отборе проб почв с глубины 0-10 и 0-20 см на пашне и с глубины 0-2,5; 2,5-5,0; 5-10; 10-20 и 20-40 см на целине или старой залежи.

Объединенная проба составляется, как правило, методом конверта. Все дальнейшие операции с первичной обработкой почв аналогичны операциям, осуществляемым при контроле за загрязнением почв пестицидами. После отбора проба почвы направляется на анализ в лабораторию. К каждой пробе прилагается талон, содержащий основные сведения о самой почве и условиях ее отбора: порядковый номер образца, число, месяц и год отбора, название, номер или условное обозначение пункта отбора, расшифрованное в рабочем журнале.

Отбор проб почв в городских условиях следует производить по сетке квадратов такого масштаба, который обеспечивает взятие пяти-шести образцов на 100 га. Такая частота проб почв позволяет получить данные для составления карт загрязненности почв на территории городов. Отбор проб осуществляется методом конверта со стороной 5-10 м с глубины 20 см.

При исследовании загрязнения почв тяжелыми металлами составляются специальные карты загрязненности почв тяжелыми металлами – почвенно-технохимические карты. В таких картах показываются не только типы, подтипы, виды и разновидности почв по принятой систематике, но и степень загрязнения почв различными ингредиентами.

Под картами загрязненности почв следует понимать уменьшенное изображение на плоскости типичного, обобщенного математически определенного распределения загрязненных в различной степени почв и их сочетаний. Карты загрязненности являются разновидностью почвенных карт, которые относятся к группе тематических. На тематических картах наиболее полно изображается основной картографируемый объект, в данном случае почвы, загрязненные различными ингредиентами. Другие компоненты ландшафта выделяются (картографируются) менее подробно, более обобщенно либо вообще не отражаются на карте.

Составление карт загрязненности почв проводится после просмотра и аналитической обработки собранных в полевых условиях образцов почв и сопоставления всех собранных материалов с имеющимися литературными, отчетными и другими данными об объекте исследований. Процесс составления карт загрязненности почв складывается из следующих стадий:

- подготовка топографической основы;
- разработка шкалы степени загрязнения почв;
- корректировка почвенных контуров на основании полевых работ и других материалов, нанесение контуров загрязненных почв и дополнительных обозначений на подготовленную топографическую основу;
- оформление карты и дополнительных обозначений, характеризующих условия загрязнения почв.

Для полевых исследований используется самая полная топографическая основа, содержащая наибольшее число опорных точек, необходимых для привязки точек отбора проб почв и нанесения границ между почвами, загрязненными в различной степени. При составлении карты загрязненности почв, на ней

сохраняется только часть нагрузки, чтобы освободить место для обозначения степени загрязнения почв. При отборе условных обозначений необходимо учитывать, что топографическая основа должна, во-первых, обеспечить привязку к местности, во-вторых, отразить природные особенности территории (рельеф, растительный покров, гидрография и т.д.) в той степени, в какой позволяют это сделать принятые в картографии изобразительные средства; в-третьих, насколько возможно отразить влияние хозяйственной деятельности человека. Поэтому на детальных и крупномасштабных картах загрязненности почв необходимо сохранить обозначение сельскохозяйственных угодий, полей, полевых дорог и т.д.

Оценка и картографирование степени загрязнения почв различными ингредиентами могут быть осуществлены при наличии, например, следующей шкалы степени загрязнения почв: незагрязненные, слабозагрязненные, среднезагрязненные и сильнозагрязненные в относительных единицах соответственно менее 1, 1-3, 3-5, более 5.

После проведения соответствующих расчетов степени загрязнения почв приступают к нанесению контуров на подготовленную топографическую основу с учетом предлагаемой шкалы степени загрязнения почв. Сначала на выверенную карту-основу переносят численные значения степени загрязнения почв тем или иным тяжелым металлом.

Каждому значению шкалы степени загрязнения почв на карте должны соответствовать определенный цвет или штриховка. Шкала цветов, начиная от наименьшей (фоновой), следующая: голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Для каждого элемента составляется отдельная карта. При малом количестве контролируемых элементов (два-три) можно составлять совмещенные карты.

Карты загрязненности почв сопровождаются пояснительной запиской, в которой описываются все физико-географические условия региона, а также кратко излагаются метеорологические условия и дается характеристика источников загрязнения. Результаты анализа представляют в табличной форме и совместно с картами загрязненности почв отправляют в соответствующие организации.

3. БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

3.1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О БИОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

3.1.1. Оценка состояния окружающей среды по абиотическим и биотическим показателям

Оценка качества среды и антропогенных изменений экосистем может производиться по их абиотическим и биотическим (на основе определения, анализа и интерпретации различных характеристик биоты) параметрам. Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки (табл.3).

Абиотические параметры удобнее тем, что непосредственно характеризуют состав среды, ее конкретные негативные изменения, причем имеют строгое количественное выражение. Однако получить по ним полную характеристику среды невозможно. Это определяется рядом обстоятельств:

- остается неясным главное: насколько абиотические условия в целом соответствуют потребностям биоты;
- современные антропогенные воздействия на экосистемы, как правило, весьма сложны, и как бы велико ни было количество установленных абиотических параметров, нет гарантии, что удалось полностью учесть все существенные факторы;
- реакция экосистем существенно зависит не только от состава влияющих факторов, но и от сложного эффекта от их взаимодействия.

Таблица 3

Преимущества и недостатки подходов к оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) по абиотическим и биотическим показателям

Подход	Преимущества	Недостатки
Оценка по абиотическим показателям	Известны значения ряда конкретных факторов	Оценка неточна из-за общих недостатков системы ПДК, малой доли учтенных факторов, недостаточного учета эффекта взаимодействия факторов и фоновых особенностей среды
Оценка по биотическим показателям	Многие методы гарантируют весьма надежную оценку	Лимитирующие факторы и их значения неизвестны
Раздельная оценка по абиотическим и биотическим показателям со сравнением результатов	Надежность оценки выше за счет сравнения абиотических и биотических показателей. Известны значения ряда факторов	Часть лимитирующих факторов остается неучтенной. Закономерности детерминации состояния среды лимитирующими факторами остаются неизвестными
Оценка на основе связи биотических и абиотических показателей	Устанавливаются и лимитирующие факторы, и закономерность их действия. Надежность метода максимальна и он служит лучшей основой для экологического нормирования и регуляции среды	Наибольшая трудоемкость, наиболее высокие требования к квалификации экологов

Преимущество использования биотических параметров заключается в их большей надежности и объективности. Состояние биоты связано с общим состоянием абиотической среды и четко реагирует на негативные воздействия любого происхождения, независимо от полноты их учета и степени изученности.

Кроме того, биота является мощным регулятором состояния окружающей среды. Любые, даже внешне незначительные нарушения биоты создают реальную угрозу резкого, непредсказуемого, часто катастрофического изменения параметров окружающей среды, в том числе и жизненно важных для человека.

Все это определяет особую важность биотических характеристик как объекта мониторинга. Но, адекватно отражая степень негативного воздействия в целом, сама по себе оценка состояния и изменений биоты не позволяет установить, какие именно факторы на биоту воздействуют.

Наиболее эффективным оказывается сочетание обоих подходов. Этот прием все шире входит в практику оценки качества окружающей среды и ее антропогенных изменений. Определение ряда биотических показателей, наряду с традиционными абиотическими, уже предусмотрено некоторыми нормативными документами (например, ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков», ГОСТ 17.1.2.04-77. «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных объектов» и др.). Однако абиотические и биотические параметры все еще рассматриваются без учета их взаимосвязи. Но для адекватного экологического нормирования необходимо не только выбирать наиболее показательные абиотические и биотические характеристики экосистемы, но и обязательно учитывать сами закономерности реакции биоты на изменения среды. Только так можно выяснить, какие из абиотических факторов и в какой степени лимитируют биоту, и как именно следует изменить их значения, чтобы понизить общий уровень воздействия до приемлемого уровня. При этом состояние всей среды в целом достаточно надежно оценивается по результатам учета и анализа биотических показателей, а прямая оценка физико-химических характеристик помогает разобраться, какие из антропогенных факторов наиболее негативно воздействуют на среду и каковы механизмы этого воздействия.

3.1.2. Биологический мониторинг как составляющая экологического мониторинга

Биологический мониторинг (биомониторинг) предназначен для решения следующих основных задач:

- Информационное обеспечение деятельности по сохранению биоты, т.е. определение состояния биотической составляющей биосферы (на различных уровнях организации биосистем) и ее реакции на антропогенное воздействие. Биота играет важнейшую средообразующую роль, и ее сохранение имеет для человечества первоочередное практическое значение. Очевидны также этический и эстетический аспекты данной проблемы.

- Оценка состояния окружающей среды по биотическим параметрам. Особую роль играет выявление начальных стадий неблагоприятных изменений среды, к которым многие компоненты биоты намного чувствительнее, чем человек.

- Исследование содержания различных ингредиентов в биоте (отнесена к биологическому мониторингу довольно условно; скорее, это одна из составляющих общей задачи определения содержания поллютантов в различных средах).

Информационное обеспечение конкретных направлений деятельности по охране окружающей среды (частные формы биомониторинга).

Особой подсистемой биомониторинга может считаться мониторинг популяций конкретных биологических видов:

- средообразующих популяций, очевидно необходимых для существования всей экосистемы (например, популяции доминирующих видов деревьев в лесных экосистемах);
- популяций-индикаторов, состояние которых характеризует степень благополучия той или иной экосистемы и которые наиболее чувствительны к антропогенному воздействию (например, планктонные рачки *Ephippium baikalense* в озере Байкал в зоне воздействия целлюлозно-бумажного комбината);
- популяций, имеющих большую хозяйственную ценность (например, ценные виды рыб).

В последнее время увеличивается роль генетического мониторинга (наблюдение возможных изменений в генофонде различных популяций).

Мониторинг популяции человека (как компонента биосферы) тоже может, в известной степени, считаться одной из форм популяционного биомониторинга. Постановлением Правительства РФ № 426 от 01.06.2000 г. утверждено Положение о социально-гигиеническом мониторинге – государственной системе наблюдения, анализа, оценки и прогноза состояния здоровья населения и среды обитания человека (на уровнях федеральном, субъектов федерации, муниципальных образований). Заявленные цели социально-гигиенического мониторинга – формирование федерального информационного фонда, изучение причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и условиями среды, а также обеспечение межведомственной координации деятельности по контролю санитарно-эпидемиологической обстановки.

В настоящее время наиболее развита система биологического мониторинга поверхностных вод (гидробиологический мониторинг) и лесов. Однако даже в этих областях биомониторинг существенно отстает от мониторинга абиотических характеристик среды как по методологическому, методическому и нормативному обеспечению, так и по количеству наблюдений. Например, наблюдениями за загрязнением поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям охвачены 1166 водных объектов. Отбор проб ведется на 1699 пунктах (2342 створа) по физическим и химическим показателям с одновременным определением гидрологических показателей. В то же время, наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши по гидробиологическим показателям производятся лишь в пяти гидрографических районах, на 81 водном объекте (по 170 створам), причем программа наблюдений включает от двух до шести показателей. Сеть комплексного мониторинга загрязнения природной среды и состояния растительности (СМЗР) насчитывает всего 30 постов (контролирующие органы – Рослесхоз, Госкомэкология России).

В работах по созданию Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) принимает участие Госкомрыболовство России (создание Единой государственной системы мониторинга

водных биоресурсов, наблюдение и контроль за деятельностью российских и иностранных рыболовных судов с использованием космических средств связи и специализированных информационных технологий). Мониторинг водных биоресурсов включает следующие мероприятия:

- мониторинг объектов животного мира, принадлежащих к объектам рыболовства;
- ведение отраслевого кадастра промысловых рыб Российской Федерации;
- мониторинг состояния загрязнения биоресурсов рыбохозяйственных водоемов Российской Федерации и среды их обитания (с целью изучения океанологических основ биопродуктивности, прогноза добычи и охраны наиболее ценных гидробионтов);
- сбор данных для информационного бюллетеня «Радиационная обстановка в рыбопромысловых районах Мирового океана».

Уже сейчас работы в области биологического мониторинга (в том числе мониторинга экосистем и мониторинга редких и охраняемых видов растительного и животного мира) активно проводятся в ряде регионов. Например, в Тюменской области в 1998-2000 гг. успешно реализован первый этап программы «Создание Единой территориальной системы экологического мониторинга Тюменской области»: разработаны методики ведения экологического мониторинга основных биогеоценозов, организована сеть постоянных, опытных площадей для его осуществления в южной зоне области. В Амурской области функционирует подсистема мониторинга растительного и животного мира в части редких и охраняемых видов (МРЖМ) в рамках АМУРСЭМ. Разработана, апробирована и утверждена программа по МРЖМ на период до 2005 г. Развитие системы биомониторинга России отнесено к одной из наиболее актуальных природоохранных задач. Согласно принципу ориентации ЕГСЭМ на экосистемный подход, экологический мониторинг обобщает результаты биологического и геофизического мониторинга на уровне экологических систем.

3.1.3. Биоиндикация и биотестирование

Биотестирование – это оценка качества среды при активном вмешательстве в природные процессы, путем постановки эксперимента в природных или лабораторных условиях. Суть биотестирования сводится к определению последствий взаимодействия подопытных организмов (тест-объектов) с испытываемой средой. О степени вредного воздействия среды судят, сопоставляя изменения характеристик тест-объектов при различной продолжительности опыта в изучаемых средах. Например, для водной среды в качестве стандартных тест-объектов принято использовать бактерии *Escherichia coli*, инфузории родов *Paramecium* и *Tetrachimena*, веслоногих рачков *Daphnia magna*, икру и личинки лососевых рыб и др. Негативное влияние испытываемой среды оценивается по выживаемости, плодовитости, заболеваемости, скорости роста и индивидуального развития, особенностям поведения, морфологическим изменениям тест-объектов.

Биоиндикация – это оценка качества среды по состоянию тех или иных представителей биоты, осуществляемая путем наблюдения за ними, без активного (экспериментального) вмешательства в природные процессы. Объектами таких наблюдений (биоиндикаторами) могут служить биосистемы любого уровня организации. Оценка качества среды производится по биоиндикаторным признакам, тем характеристикам наблюдаемых биосистем, которые наиболее полно и точно отражают степень их благополучности.

Поскольку основной мониторинговых исследований является наблюдение, а не эксперимент, основной методологией биологического мониторинга является биоиндикация. Однако некоторые методы биотестирования в полевых и лабораторных условиях также используются для оценки качества среды и выявления ее антропогенных изменений.

При биоиндикации и биотестировании с целью количественного изучения и нормирования реакции биосистем на факторы окружающей среды используются следующие основные понятия:

- Пространство лимитирующих экологических факторов. Это евклидово пространство, координаты которого сопоставлены лимитирующим биосистему экологическим факторам, общее количество которых равно n : $\varepsilon_n = \{X_1, X_2, \dots, X_n, \dots\}$.

- Функция отклика биосистемы на экологические факторы. Реакция биосистемы на экологические факторы оценивается по соответствующим изменениям ее различных характеристик. Зависимость значений характеристики биосистемы от значений n экологических факторов выражается соответствующей функцией отклика этой характеристики на данные факторы: $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Функция отклика характеристики биосистемы на один из n императивных экологических факторов X_i (при некоторых фиксированных значениях остальных факторов) называется частной функцией отклика биосистемы на данный фактор (при данном сочетании остальных факторов) $f(X_i)$.

- Функция благополучия биосистемы от экологических факторов. Очевидно, что далеко не каждая характеристика биосистемы отражает ее общее состояние, степень благополучности. Значит, не все функции отклика могут быть содержательно использованы для оценки реакции биосистемы на экологические факторы. Функция отклика биосистемы на экологические факторы, которая достаточно обобщенно и полно характеризует степень ее благополучности при различных сочетаниях значений n императивных факторов, называется функцией благополучия изучаемой биосистемы от этих факторов: $f_b(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Функция благополучия биосистемы от одного из n императивных экологических факторов X_i называется частной функцией благополучия биосистемы от данного фактора $f_b(X_i)$.

- Изобола (от греч. ισος – равное и βολος – изменение). Изобола характеризует совокупность всех сочетаний значений лимитирующих факторов, оказывающих на биосистему равносильное воздействие, т.е. обуславливающих определенное постоянное значение функции благополучия.

3.2. БИОИНДИКАТОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОСИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО РАНГА

Для биоиндикации могут использоваться показатели биосистем всех рангов. Обычно, чем ниже ранг биосистемы, используемой в качестве биоиндикатора, тем более частными могут быть выводы о воздействиях факторов среды, и наоборот.

Организм и суборганизменные структуры. К биосистемам суборганизменных рангов относятся молекулы и молекулярные комплексы (белки, нуклеиновые кислоты и др.), клеточные органоиды, клетки, ткани, органы и системы органов. Для биоиндикации наиболее показательны следующие характеристики:

- химический состав клеток;
- состав, структура и степень функциональной активности ферментов;
- структурно-функциональные характеристики клеточных органоидов;
- размеры клеток, их морфологические характеристики, уровень активности;
- гистологические показатели;
- концентрации поллютантов в тканях и органах;
- частота и характер мутаций, канцерогенеза, уродств.

Тератогенный эффект факторов среды – способность вызывать у тест-организмов различные уродства, пороки развития. Последствия тератогенных воздействий различны: в одних случаях тератогенез может проявляться только на уровне клеточных органоидов, отдельных клеток; в других затрагивает ткани, органы и весь организм.

Большое значение для биоиндикации состояния окружающей среды и ее антропогенных изменений имеют многочисленные структурные (анатомические) и функциональные (физиологические) характеристики организма. Эти показатели рассматриваются в лекционных курсах по дисциплинам «Общая экология», «Основы физиологии» и «Токсикология».

Популяции. При биоиндикации и биотестировании в качестве функций благополучия успешно используются следующие статические и динамические популяционные характеристики:

Статические характеристики (в момент времени t):	Единица величины
Численность n_t – общее число особей в популяции	Экземпляр
Плотность N_t – число особей в единице объема или на единице площади	Экземпляр на единицу объема (площади)
Биомасса B_t – суммарная масса особей в единице объема или на единице площади	Единица массы на единицу объема (площади)
Средняя масса особи W_t – соотношение биомассы и плотности (простейшая характеристика размерно-весовой структуры; более точную оценку дает анализ ее гистограммы)	Единица массы

Соотношение плотности особей разного пола (простейшая характеристика половой структуры популяции)	Безразмерная
Показатели неравномерности пространственного распределения особей (простейшая характеристика σ^2/\bar{N}_t – соотношение дисперсии и средней арифметической популяционной плотности; и др.)	«
Динамические характеристики (за период времени $\Delta t = t_2 - t_1$):	
Скорость абсолютного изменения популяционной плотности $\frac{dN_t}{dt} = (N_2 - N_1)\Delta t^{-1}$, где N_1 и N_2 – значения N_t в моменты t_2 и t_1	Экземпляр на единицу объема (площади) в единицу времени
Скорость абсолютного изменения биомассы популяции $\frac{dB}{dt} = (B_2 - B_1)\Delta t^{-1}$, где B_1 и B_2 – значения B_t в моменты t_2 и t_1	Единица массы на единицу объема (площади) в единицу времени
Скорость относительного изменения популяционной плотности $r_N = \frac{dN}{dt} \bar{N}^{-1}$, где \bar{N} – средняя плотность за период Δt	Единица времени в минус первой степени
Скорость относительного изменения популяционной биомассы $r_B = \frac{dB}{dt} \bar{B}^{-1}$, где \bar{B} – средняя биомасса за период Δt	То же
Удельная рождаемость $b = N_b \bar{N}^{-1} \Delta t^{-1}$, где N_b – приращение популяционной плотности за период Δt из-за рождения новых особей	«
Удельная смертность $d = N_d \bar{N}^{-1} \Delta t^{-1}$, где N_d – убыль популяционной плотности за период Δt из-за гибели особей	«
Реализуемая доля «биотического потенциала» вида $r_{N_{\max}}^p / r_{N_{\max}}^i$ – соотношение максимального значения r_N , реализуемого изучаемой популяцией, и «биотического потенциала» вида, т.е. максимального значения r_N , реализуемого данным видом в идеальных условиях	Безразмерная
Соотношение фундаментальной (\mathcal{R}_f) и реализованной	«

(\mathfrak{R}_r) ниш Хатчинсона: $\mathfrak{R}_r/\mathfrak{R}_r$.

Продукция популяции $P_{\Delta t} = B_1 - B_2 + B_{el}$, где B_{el} – биомасса, элиминированная из популяции, т.е. удаленная вследствие гибели или эмиграции особей, за период Δt

Единица массы (энергии) на единицу площади (объема)

Скорость продуцирования популяции \bar{p}_t – средняя скорость образования популяцией продукции за период Δt

Единица массы (энергии) на единицу площади (объема) в единицу времени

Многовидовые биосистемы (сообщества; экосистемы). Изучение всей биоты природных экосистем обычно является непосильной задачей даже для большого коллектива биологов. Даже если биоразнообразие экосистемы сравнительно невелико, биоту все же составляют представители очень многих систематических групп. Для многих из них видовая диагностика требует исключительно высокой квалификации и часто доступна лишь немногим специалистам-систематикам. Поэтому уже установление полного видового состава биоты потребовало бы одновременного привлечения ведущих специалистов по всем систематическим группам. Более реалистичной задачей является изучение не всей биоты, а конкретных сообществ. Сообщество, или ценоз (от греч. *χοινος* – совместно, сообща) – совокупность живых организмов определенной категории, одновременно населяющих определенную область пространства. Категории учитываемых организмов и размер изучаемой области пространства могут выбираться исследователем произвольно, в соответствии с целью проводимого им исследования. Если какое-либо сообщество достаточно чувствительно к изучаемому воздействию и позволяет судить о реакции на него всей биоты, оно может успешно использоваться в качестве биоиндикатора.

При биоиндикации используются статические и структурные характеристики сообществ. К первым относят видовой состав, т.е. перечень биологических видов сообщества, как основную, качественную характеристику, видовое богатство (количество видов в сообществе) и показатели обилия: численность, плотность, биомасса сообщества (аналогично соответствующим популяционным параметрам).

Показатели структуры сообщества представляют собой соотношение суммарных показателей обилия разных его элементов:

- видов (видовое разнообразие) или более крупных таксонов;
- представителей разных стратегий питания (трофическая структура);
- особей с разными размерами, массой (размерно-весовая структура);
- видов с различными ценотическими стратегиями (например, *r*- и *K*-стратегов; виолентов, патентов и эксплерентов);
- видов с разной чувствительностью к воздействиям (эври- и стенобионтов);
- видов с разным поведением.

Если группы выделяются по количественным грациям одного показателя (например, размер, масса), структура сообщества выражается гистограммой, например, размерной или весовой структуры или средним значением данного показателя для сообщества в целом (например, средняя масса особи в сообществе как соотношение биомассы и плотности сообщества).

Если группы выделяются на основе качественных признаков (например, представители разных стратегий питания, разных видов, или более крупных таксонов, и т.д.), т.е. структуру сообщества отражают показателем разнообразия по данному признаку – характеристикой, определяемой общим количеством выделенных групп (n) и соотношением значений какого-либо показателя обилия представителей этих групп.

Индексы разнообразия Симпсона, Брюэлена, Маргалефа и Шеннона имеют вид соответственно

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n X_i(X_i - 1)}{X(X - 1)}; \quad D = \frac{1}{X} \log_2 \left(\frac{X!}{\prod_{i=1}^n X_i!} \right); \quad E = 1,443 \ln \left(\frac{X!}{\prod_{i=1}^n X_i!} \right);$$

$$H = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{X} \log_2 \frac{X_i}{X} \right),$$

где X_i – показатель обилия i -й группы; X – суммарное значение того же показателя для всего сообщества в целом, $X = \sum_{i=1}^n X_i$.

Индексы Симпсона и Маргалефа – безразмерные величины, индексы Брюэлена и Шеннона имеют размерность бит, деленный на единицу показателя X .

Индекс разнообразия Шеннона наиболее логичен и широко применяется в экологии и других науках. Чаще всего он используется для оценки видового разнообразия сообщества по плотности H_N или, реже, по биомассе H_B . В этих модификациях он известен экологам как индекс Шеннона – Уивера:

$$H_N = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \right); \quad H_B = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{B_i}{B} \log_2 \frac{B_i}{B} \right).$$

Обычно негативное антропогенное воздействие приводит к уменьшению количества видов в сообществах (за счет исчезновения стенобионтов) и нарушает выравненность значений их популяционной плотности. Поэтому значения индекса Шеннона – Уивера и прочих индексов разнообразия сообществ макрозообентоса в условиях загрязнения, как правило, закономерно уменьшаются (рис.9).

Структуру сообщества можно также описать соотношением суммарных показателей обилия представителей различных групп, выделенных по данному признаку (например, соотношением биомассы организмов с разными стратегиями питания $B_1 : B_2 : B_3 : \dots : B_n$).

Возможно также выделение этологических группировок (видов со сходным поведением).

К динамическим характеристикам сообщества относят показатели динамики его статических характеристик и функциональные характеристики.

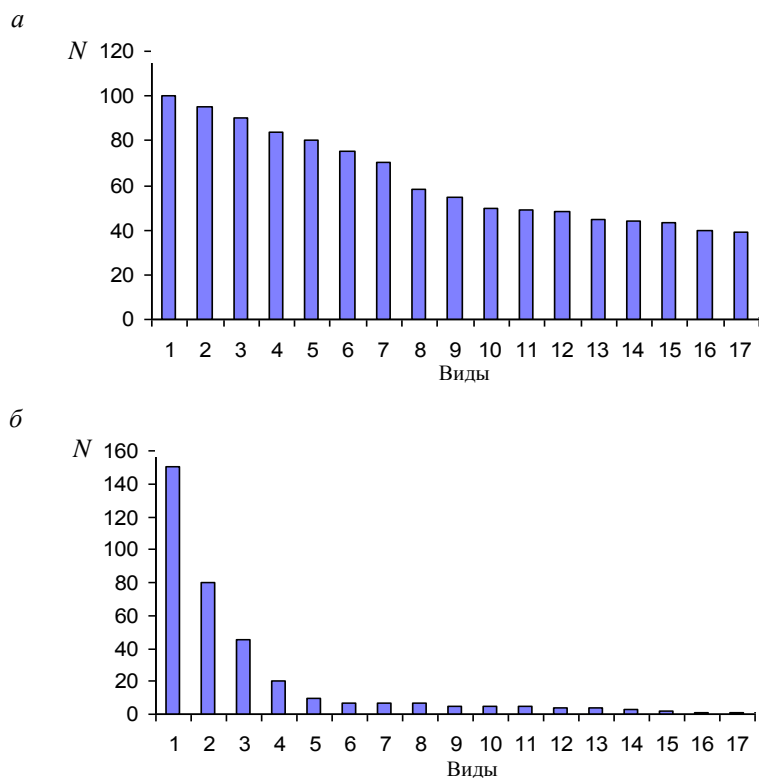


Рис.9. Характерный пример структуры сообщества с одинаковым видовым богатством в фоновых условиях (а) и при антропогенном воздействии (б) при $H_N = 4,0$ бит/экз. и $H_N = 2,5$ бит/экз. соответственно

Показатели динамики статических характеристик сообществ аналогичны динамическим характеристикам популяций:

- изменение какой-либо статической характеристики X (плотности, биомассы сообщества, индексов разнообразия и др.) $\Delta X_{\Delta t} = X_2 - X_1$ за изучаемый период времени $\Delta t = t_2 - t_1$;

- скорость абсолютного изменения значений статической характеристики $dX/dt \approx (X_2 - X_1)\Delta t^{-1}$ в момент времени t ;

- скорость относительного изменения значений статической характеристики $r_X = (dX/dt) \bar{X}^{-1}$ в момент времени t (здесь \bar{X} – средняя биомасса за период Δt).

К функциональным характеристикам сообществ относятся эколого-физиологические показатели (например, составляющие физиологического «балансового равенства» организма), рассчитанные для всего сообщества в целом, а

также различные их соотношения: траты на обмен, первичная и вторичная продукция.

Траты на обмен сообщества (или экосистемы) $R = \sum_{j=1}^N R_j$ определяются аддитивно, как сумма трат

на обмен всех организмов данного сообщества. Траты на обмен определяются интенсивностью деструкции – разложения потребленных организмами органических веществ до более простых соединений и, частично, до минеральных веществ. Подавляющее большинство живых организмов, включая человека, являются аэробами (от греч. αερος – воздух), т.е. используют в качестве окислителя кислород, получаемый при дыхании. Количество энергии, выделяющейся из окисляемых органических веществ при затрате 1 г кислорода, называется оксикалорийным коэффициентом K . На полное окисление (до H_2O , CO_2 и N_2) 1 г белка тратится 1,748 г кислорода. Энергия, освобождающаяся из 1 г белка при его окислении, составляет, в среднем, 5,65 ккал. Поэтому для белков $K = 5,65/1,748 = 3,23$ ккал/г O_2 . Для углеводов и жиров K равен, соответственно, 3,28 и 3,54 ккал/г O_2 . Поскольку органические вещества в телах различных организмов содержат, в среднем, около 80 % белков, 10 % жиров и 10 % углеводов, оксикалорийный коэффициент K обычно принимается равным 3,27 ккал/г O_2 , или 13,68 кДж/г O_2 . Использование K позволяет определять интенсивность трат организма-аэроба на обмен по скорости потребления им кислорода при дыхании.

Первичная продукция – суммарная продукция всех продуцентов сообщества или экосистемы. Большинство продуцентов (растения, водоросли, цианеи) используют для производства первичной продукции солнечную энергию, поэтому образование ими первичной продукции называется фотосинтезом. Некоторые продуценты-бактерии производят первичную продукцию с использованием энергии, высвобождающейся при инициируемых ими окислительно-восстановительных реакциях (хемосинтез). Как выяснилось, к хемосинтезу способны также некоторые цианеи, вообще резко отличающиеся от представителей других царств исключительным разнообразием трофических стратегий. Однако основная часть первичной продукции экосферы Земли создается все же путем фотосинтеза.

Различают валовую первичную продукцию, т.е. все органическое вещество, произведенное продуцентами (включая и ту часть, которую они затем расходуют на собственный обмен, подвергая деструкции), и чистую первичную продукцию, т.е. органическое вещество, произведенное продуцентами, за вычетом их затрат на собственное жизнеобеспечение (траты на обмен). Чистая первичная продукция тратится продуцентами на рост и выделение продуктов обмена в окружающую среду. Таким образом, чистой называется та часть валовой первичной продукции, которую продуценты не тратят сами, а передают в экосистему.

Вторичная продукция образуется консументами, потребляющими первичную продукцию. Вторичная продукция сообщества консументов называется реальной продукцией данного сообщества. Она образуется всеми членами сообщества и может быть экспортирована, т.е. так или иначе потреблена вне его пределов. При наличии в сообществе консументов нескольких порядков (при сосуществовании хищников и жертв) реальная продукция неаддитивна, т.е. не может быть найдена просто как сумма соответствующих показателей для каждого из видов, так как часть продукции, образуемой жертвами, потребляется хищниками в са-

мом сообществе. В простейшем случае (если в сообществе имеются консументы только первого и второго порядков, причем любая жертва доступна любому хищнику, и все хищники питаются только жертвами из своего сообщества) реальная продукция может быть рассчитана по уравнению $P_6 = P_n - C_x + P_x$, где P_n и P_x – суммарные значения продукции всех нехищных организмов (жертв) и всех хищников в сообществе соответственно; C_x – суммарный рацион всех хищников.

Как правило, пищевые взаимоотношения в сообществах являются гораздо более сложными, и перечисленные условия не выполняются. Поэтому правильная оценка реальной продукции сообществ требует детального анализа трофических связей в сообществе (обычно с применением блок-схемы основных и второстепенных трофических связей или с учетом индексов трофической избирательности). При достаточно сложной трофической структуре сообщества величина реальной продукции, рассчитанная по приведенному выше простому уравнению, может отличаться от подлинной величины на порядок и более.

Из соотношений эколого-физиологических характеристик для сообществ и экосистем наиболее часто используют следующие:

- отношение реальной продукции сообщества к его суммарным тратам на обмен за какой-либо период времени (P/R -коэффициент);
- отношение реальной продукции сообщества за какой-либо период времени к среднему значению биомассы за этот период, т.е. удельная продуктивность сообщества (P/B -коэффициент).

В стабильной экосистеме процессы производства и потребления биологической продукции идут с постоянными скоростями и хорошо сбалансированы ($P \approx R$), поэтому воздействие биоценоза на свой биотоп сведено к минимуму. Автогенная сукцессия экосистем обычно характеризуется преобладанием процессов деструкции органического вещества над продукционными процессами ($P/R < 1$), увеличением замкнутости внутреннего круговорота веществ и энергии и способности экосистемы к саморегуляции, самоочищению и сохранению высокого качества внутренней среды. Аллогенная сукцессия, как правило, сопровождается обратными процессами ($P/R > 1$): биотоп постепенно загрязняется накапливающимися, не минерализуемыми полностью органическими веществами; способность экосистемы к саморегуляции и качество ее внутренней среды постепенно снижаются.

Устойчивость экосистемы (сообщества) к воздействию. Биоиндикационная роль видового состава сообществ. Важнейшей характеристикой экосистемы или конкретного сообщества является устойчивость к воздействию: резистентная (способность объекта сохранять свое состояние неизменным, сопротивляясь воздействию) и упругая (способность возвращаться в исходное состояние после прекращения воздействия). Количественной мерой устойчивости является максимальный уровень воздействия, при котором она сохраняется. Следовательно, в гиперпространстве факторов, лимитирующих биоту экосистемы (или сообщество, используемое в качестве биоиндикатора), устойчивость описывается изоболой:

- резистентная – изоболой, ограничивающей область всех тех сочетаний факторных значений, при которых значения характеристик биоты (сообщества) не отличаются от фоновых значений (наблюдаемых вне воздействия);

- упругая – изоболой, ограничивающей область всех тех сочетаний факторных значений, при которых вызываемые изменения значений всех функций благополучия обратимы (после снятия воздействия возвращаются к фоновым значениям).

Критерием сохранения резистентной устойчивости экосистемы к воздействию является сохранение исходных (фоновых) значений всех ее количественных биотических характеристик, как статических, так и динамических.

Критерием сохранения упругой устойчивости к воздействию сообщества (как и всей экосистемы) является сохранение исходного видового состава. Если видовой состав остался неизменным, значит, после прекращения воздействия постепенно восстановятся как исходные количественные показатели биоты, так и регулируемые ими параметры абиотической среды. Если видовой состав нарушен, то даже после прекращения воздействия весьма вероятны непредсказуемые (иногда катастрофические) изменения параметров биоты и абиотической среды. Таким образом, видовой состав является наиболее существенной характеристикой сообществ и экосистем. Остальные, количественные характеристики сообществ также важны для биоиндикации, но по отношению к видовому составу они являются вторичными и имеют вспомогательное значение.

Кроме того, методы ценотической биоиндикации, основанные на учете видового состава сообществ, обладают и наибольшей разрешающей способностью. Это обусловлено тем, что требования организмов к параметрам окружающей среды весьма видоспецифичны и могут существенно варьировать даже в пределах одного рода, не говоря о более крупных таксонах. В то же время, видовая диагностика является весьма трудоемкой и часто требует от исследователя исключительно высокой квалификации. Поэтому выбор применяемых методов биоиндикации обычно определяется требованиями к точности оценки качества среды, а также реальными возможностями конкретного исследовательского коллектива.

Биоиндикация по аккумуляции (использование накапливающих биоиндикаторов). Различают регистрирующие и накапливающие, или аккумулирующие, биоиндикаторы. Показатели регистрирующей биоиндикации, рассмотренные выше, позволяют судить об общем уровне воздействия факторов среды на биоту. Биоиндикация по аккумуляции позволяет количественно оценивать сами факторы (химические), используя свойство организмов накапливать загрязняющие вещества в своих тканях, определенных органах и частях тела. Концентрация некоторых поллютантов, медленно выводимых из организма (например, металлов, некоторых хлорорганических соединений и др.), может превышать таковую в окружающей среде на несколько порядков.

Важно, что результаты биоиндикации по аккумуляции не зависят от конкретного времени пробоотбора, т.е. от случайных, краткосрочных вариаций содержания вредных веществ в окружающей среде. Кроме того, с помощью химического анализа иногда удается не только оценить современный уровень загрязненности окружающей среды, но и предыдущую динамику концентрации различных поллютантов (путем сравнения их концентрации в организмах разного возраста).

Примером эффективных накапливающих биоиндикаторов могут служить хитиновые панцири водных ракообразных и личинок насекомых, моллюски и их раковины (последние долго сохраняются и могут использоваться для индикации даже после гибели моллюска), мхи, некоторые органы птиц и млекопитающих (мозг, почки, селезенка, печень и др.).

3.3. КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ И ОРДИНАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СООБЩЕСТВ И ЭКОСИСТЕМ

При изучении экосистем или отдельных сообществ с целью биоиндикации решаются следующие задачи:

- определение пространственных границ экосистемы (или сообщества);
- выявление и описание зависимости ценотических характеристик, значимых для биоиндикации, от факторов среды, лимитирующих биоту или конкретное сообщество.

Первая задача решается методами классификации, вторая – методами ординации.

Классификационный подход предполагает, что изучаемые сообщества (экосистемы) имеют более или менее четкие пространственные границы, в пределах которых они однородны и достоверно отличны от соседних сообществ (экосистем). Классификационные методы математического анализа позволяют выделить относительно дискретные сообщества (экосистемы) и их пространственные границы. Ординационный подход (от лат. *ordino* – упорядочивать), наоборот, игнорирует границы сообществ (экосистем) или даже предполагает их отсутствие. Ординационные методы выявляют количественные закономерности изменений характеристик популяций и сообществ в градиентах среды.

На самом деле, естественные границы различных природных экосистем могут быть выражены в разной степени: и очень контрастно, и довольно слабо, и практически отсутствовать (если наблюдается непрерывное пространственное изменение параметров сообщества).

Некоторые экосистемы и сообщества относительно дискретны. Это, в первую очередь, биогеоценозы – экосистемы, локализованные в биотопах (участках территории или акватории со специфическими условиями среды, относительно однородными внутри самого биотопа и значительно отличающимися от внешних условий). Многие консорции также имеют довольно четкие границы. Как правило, дискретные многовидовые биосистемы характеризуются сравнительно высокой целостностью, сложной сетью многообразных межвидовых связей и значительной эмерджентностью свойств, и поэтому должны изучаться с позиций холизма [14, с.35-37]. Примерами таких биосистем могут служить малое непроточное озеро или лесная опушка (биогеоценозы), небольшой обособленный коралловый риф или друза двустворчатых моллюсков, формирующие своей жизнедеятельностью специфическую местную среду и, следовательно, особые сообщества – консорции. Подобные биосистемы хорошо поддаются классификации и плохо ординации, так как их внутренняя среда довольно однородна.

Если же биота (или конкретное сообщество) существует в пространственно неоднородных, разнообразных абиотических условиях (например, морская сублитораль, прерия, и др.), то, как правило, связи между отдельными видами оказываются сравнительно слабыми. Эти формации складываются пассивно, вследствие простого наложения картин пространственного распределения популяций отдельных видов, образующих единый экологический континуум (состояние биоты, при котором виды распределяются независимо и непрерывно). Для изучения подобных биосистем более эффективны редукционистские методы [14, с.36-37]. Ясно, что такие внутренне неоднородные экосистемы (или сообщества) без четких пространственных границ плохо поддаются классификации и хорошо ординации.

Большинство природных экосистем занимают промежуточное положение. В очень широких диапазонах изменяются степень выраженности их границ, внутренняя неоднородность, уровень межвидовых взаимодействий, эмерджентность свойств. Поэтому при биоиндикационных экологических исследованиях обычно наиболее плодотворным оказывается сочетание классификационного и ординационного подходов.

Классификационные методы. Прежде всего, они позволяют преодолеть субъективность выделения исследователем границ экосистем (сообществ), количественно оценить степень их выраженности благодаря математическому подходу. Наиболее объективную классификацию могут дать методы кластерного анализа (от англ. cluster – группа, гроздь), группирующие объекты в классы (кластеры) таким образом, чтобы объекты, входящие в один класс, были более однородными, сходными по сравнению с объектами, входящими в другие классы. При этом сопоставляться может как видовой состав сообществ (нумерический кластерный анализ), так и их различные количественные характеристики. В последнее время многие экологи предпочитают использовать нумерический кластерный анализ. Во-первых, само присутствие или отсутствие того или иного вида очень информативно; во-вторых, обнаружить факт присутствия особей вида гораздо проще, чем правильно определить количественные характеристики популяции или сообщества (для чего требуются гораздо более трудоемкие методы пробоотбора). И наконец, результат классификационного анализа по количественным характеристикам во многом определяется тем, какие именно показатели исследователь считает важными и учитывает в расчетах, в то время как нумерическая классификация всегда использует один и тот же признак.

Нумерический кластерный анализ может осуществляться как для сравнения отдельных станций наблюдения (*Q*-анализ, оценивающий сходство видового состава сообществ на разных станциях), так и для отдельных видов (*R*-анализ, оценивающий сходство пространственного распределения различных видов). Из многих индексов, характеризующих степень сходства видового состава сообществ на разных станциях (или, наоборот, сходства пространственного распределения видов) наиболее прост и популярен коэффициент Сьеренсена

$$K_S = 2c / (a + b),$$

где a и b – при Q -анализе количество видов в двух сравниваемых сообществах (или на двух сравниваемых станциях); c – количество видов, общих для обоих сообществ (обеих станций).

Для количественных данных (при R -анализе) аналогичный показатель носит название коэффициента Чекановского

$$C_{CZ} = 2 \sum \min \frac{(x_{1i}, x_{2i})}{(\sum x_{1i} + \sum x_{2i})},$$

где x_{1i} и x_{2i} – значения показателя обилия (плотность или биомасса популяции) i -го вида в выборках 1 и 2; $\min(x_{1i}, x_{2i})$ – наименьшее из двух сравниваемых значений данного показателя обилия.

При кластерном анализе по количественным признакам степень сходства сообществ оценивается по «расстояниям» между ними в евклидовом пространстве учитываемых признаков (чаще всего евклидовым расстоянием). Такими признаками являются различные количественные характеристики сообществ, имеющие биоиндикаторное значение. Результаты анализа наглядно выражаются графически в виде гистограмм – схем, показывающих, на каких уровнях проявляется сходство между разными объектами.

Кластерный анализ очень широко используется в различных областях науки как средство типологического анализа. Однако результативность кластерного анализа по количественным характеристикам ограничивается более или менее субъективным выбором признаков (за исключением нумерического анализа), алгоритмов кластеризации и методов интерпретации результатов (в частности, исследователь сам решает, какой именно уровень сходства следует принять для выделения сообществ).

Для отнесения результатов одиночных измерений к одному из выделенных классов данных полезен также многомерный дискриминантный анализ (не являющийся строго классификационным методом). Он позволяет не только более обоснованно принимать решения по классификации, но и более объективно выбирать ее критерии. Применение дискриминантного анализа может быть весьма эффективным, но оно ограничено высокими требованиями к репрезентативности материала.

Ординационные методы. Они позволяют упорядочить объекты (например, станции наблюдения, характеризующие соответствующими значениями биоиндикаторных признаков сообществ) вдоль каких-либо осей (пространственных градиентов, факторов среды, оси времени и т.д.) и установить зависимость характеристик биоты от факторов среды.

Наиболее простым и высокоэффективным методом ординации является прямой градиентный анализ. Суть его сводится к выявлению изменения величин обилия видов по градиентам лимитирующих факторов среды. По факторам, обнаружившим достоверное воздействие на биоту, далее проводится регрессионный анализ. Приемы прямого градиентного анализа эффективны в ситуациях, когда лимитирующие факторы известны и сравнительно немногочисленны.

Экологами широко используются также методы непрямой ординации, в частности, двумерное шкалирование (метрическое и неметрическое) и многомерное шкалирование.

Методы метрического шкалирования включают анализ главных компонент (МГК); анализ главных координат (principal coordinates analysis), анализ соответствия (correspondence analysis; расстояние оценивается по критерию хи-квадрат); бестрендовый анализ соответствия (detrended correspondence analysis) и др.

В группу методов неметрического шкалирования входят собственно неметрическое шкалирование (численное значение переменной заменяется ее рангом); нелинейное, или немонотонное, шкалирование; ассиметричный матричный анализ (asymmetric matrix analysis); метод развертки (unfolding); анализ траекторий (path analysis), выявляющий причинные связи между переменными, и др.

Методы многомерного шкалирования также разнообразны: канонические корреляции (canonical correlations); Прокрустов анализ (Procrustes analysis); множественный анализ соответствия; шкалирование индивидуальных расстояний (individual distance scaling); шкалирование с граничными условиями (constrained scaling); трехмерная развертка (3-way unfolding); непараметрический тест (random skewer analysis) и др.

Применение методов не прямой ординации иногда оказывается очень эффективным, однако требует от эколога большого опыта и чувства меры. Абстрактное представление причинно-следственных связей (в отличие от прямой ординации) ограничивает четкость интерпретации результатов анализа, создает опасность их ошибочной трактовки.

3.4. МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ НАЗЕМНЫХ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Биоиндикация наземных экосистем. Антропогенные изменения биоты наземных экосистем определяются не только прямым воздействием человека, но и преимущественно антропогенным изменением параметров среды: атмосферного воздуха, почв, поверхностных и грунтовых вод. Для биоиндикации наземных экосистем наиболее часто используются показатели состояния высших растений, лишайников, мхов, почвенных водорослей, бактерий и др.

В целом, ПДК для высших растений оказываются существенно меньшими, чем для человека. Устойчивость различных растений к поллютантам атмосферного воздуха различна. По общепринятой классификации, из высших растений к категории очень чувствительных относятся хвойные (кедр, ель, сосна) и береза бородавчатая, к чувствительным липа и малина. Средней чувствительностью обладают сирень и можжевельник, а очень устойчивыми являются бересклет, бирючина, клен ясенелистный, большинство крестоцветных, зонтичных, сложноцветных, вересковых растений.

Биоиндикационное значение имеют характеристики основных ярусов фитоценоза (I – древостой; II – кустарниковый ярус; III – травяно-кустарничковый ярус; IV – ярус мхов и напочвенных лишайников): видовой состав, число особей каждого вида, средние значения высоты и диаметра ствола деревьев, сомкнутость, обилие, проективное покрытие, жизненность, изменения тканей, характерные уродства.

В России наиболее чувствительны к загрязнению воздуха хвойные леса. Сосна обыкновенная считается важнейшим биоиндикатором антропогенного влияния. Наиболее информативны следующие показатели техногенного загрязнения:

- статические морфологические и анатомические показатели сосен;
- динамические показатели (величины годового прироста);
- характеристики хвои (продолжительность жизни, масса, характерные повреждения – пигментации, хлорозы, некрозы, усыхания);
- состояние генеративных органов – женских шишек (их размеры, количество, обилие семян);
- обилие и разнообразие фауны беспозвоночных – вредителей деревьев.

Лишайники являются очень надежными индикаторами загрязнения воздуха. Лихенофлора (от лат. *lichen* – лишайник) традиционно используются для биоиндикации (лихеноиндикация). Традиционно используемый термин лихенофлора не вполне верен, поскольку лишайники являются не растениями, а симбиозом гриба и водоросли и, вероятно, имеют полифилитическое происхождение. Особенно активно, гораздо более эффективно, чем сосудистые растения, лишайники накапливают металлы. Высокая чувствительность лишайников к атмосферному загрязнению обусловлена следующими факторами:

- активной кумуляцией поглощенных поллютантов (вследствие отсутствия защитных покровов и медленного вывода метаболитов);
- особой уязвимостью водорослевого компонента лишайников, пигменты которого под воздействием поллютантов быстро разрушаются.

Реакция лишайников на антропогенные воздействия видоспецифична, однако существуют и некоторые общие закономерности реакции различных крупных групп лихенофлоры на загрязнение воздуха. Так, наиболее чувствительны к внешним воздействиям эпифитные лишайники (растущие на стволах деревьев).

По-разному реагируют на загрязнение воздуха лишайники с различным строением вегетативного тела (слоевища, или таллома): накипные (или корковые), листоватые и кустистые. Слоевище накипного лишайника представляет собой корочку, прочно сросшуюся с субстратом – корой дерева, древесиной, поверхностью камней. Листоватые лишайники имеют вид чешуек или пластинок, прикрепленных к субстрату с помощью пучков грибных нитей (гиф), – ризин или отдельных тонких гиф – ризоидов. Лишь у немногих лишайников таллом срастается с субстратом только в одном месте с помощью мощного пучка грибных гиф – гомфа. У кустистых лишайников таллом состоит из ветвей или более толстых, чаще ветвящихся стволиков. Кустистый лишайник соединяется с субстратом гомфом и растет вертикально или свисает вниз. В целом, кустистые лишайники наиболее чувствительны к воздействиям (первыми исчезают из лихенофлоры при загрязнении воздуха), листоватые обладают средней чувствительностью, а накипные наиболее устойчивы и при загрязнении исчезают последними.

Для биоиндикации используются следующие характеристики лихенофлоры:

- видовой состав;

- показатели видового богатства и разнообразия лишенофлоры;
- показатели обилия (биомасса, проективное покрытие) конкретных видов и лишенофлоры в целом;
- индексы соотношения показателей обилия кустистых, листоватых и накипных лишайников;
- доля эпифитных лишайников в общих показателях обилия лишенофлоры;
- морфологические и структурные показатели (толщина и плотность слоевища, степень покрытия слоевища соредиями, которая растет при интоксикациях, пигментация, общее изменение окраски, так как появление беловатого, коричневого или фиолетового оттенков свидетельствует о патологических изменениях).

Почвенная биота (беспозвоночные, водоросли, сине-зеленые, или цианеи, грибы, бактерии и др.) специфична для различных почвенных комплексов. Поэтому изменения биотических структурных и функциональных характеристик обуславливаются не только загрязнением, но структурными изменениями почв. Реакция почвенной биоты на воздействие в зависимости от его характера и интенсивности может существенно варьировать. Так, при загрязнении малотоксичными органическими веществами в почвах интенсивно развиваются и функционально активизируются микроорганизмы-редуценты. В почвах, загрязненных токсичными поллютантами (особенно металлами и хлорорганическими соединениями), биологическая активность редуцентов ингибируется.

Биоиндикация водных экосистем. В биоте водоемов и водотоков принято выделять следующие основные сообщества гидробионтов (водных организмов):

- нейстон – сообщество нейстали водоема, т.е. поверхностного слоя воды, граничащего с атмосферой (от греч. νηϋν – плавать);
- пелагос – сообщество пелагиали водоема, т.е. толщи воды (греч. πελαγος – море, пучина), которое делится на планктон (парящие – организмы, более или менее пассивно переносимые течением) и нектон (плавающие организмы);
- дрейфт (от англ. drift – дрейф) – сообщество организмов, переносимых течением водотока;
- бентос – сообщество бентали, т.е. дна и придонного слоя воды (от греч. βεηθος – глубина);
- перифитон – сообщество организмов, прикрепленных к поверхности различных предметов и других, более крупных организмов в толще воды (греч. περι – вокруг, φικυν – растение).

Сообщество рыб, называемое ихтиоценозом (от греч. ιχθυς – рыба), составляет основу нектона.

В планктоне и бентосе традиционно выделяются фито-, зоо- и бактериоценозы. Фитопланктон и фитобентос составляют водоросли и сине-зеленые. Кроме того, в фитобентос входят также макрофиты (крупные растения – водные высшие растения, мхи и крупные водоросли). Зоопланктон и зообентос представлены беспозвоночными животными.

Использование некоторых структурных и функциональных характеристик указанных сообществ (особенно фито-, зоо- и бактериопланктона и бентоса) для оценки качества водной среды (наряду с абиотическими показателями) является уже традиционным и даже обязательным (ГОСТ 17.1.3.07-82; ГОСТ 17.1.2.04-77;

РД 52.24.565-96; РД 52.24.564-96; РД 52.24.420-95 и др.). Наиболее широко применяется оценка скорости аэробной деструкции органических веществ – биохимическое (или биологическое) потребление кислорода (БПК) планктоном. БПК легко определяется экспериментально, оно выражается обычно в миллиграммах кислорода, расходуемого при деструкции в единице объема воды в условиях изоляции от солнечного света за период экспозиции (обычно 5 суток). Соответствующая величина БПК обозначается БПК₅. БПК₅ является одним из шести обязательных показателей при расчете индекса загрязненности воды.

Первичная продуктивность водных экосистем и их способность к самоочищению обычно оцениваются по величине первичной продукции планктона и по соотношению скоростей образования валовой первичной продукции и деструкции (*P/R*).

Принятая классификация качества воды водоемов и водотоков по биотическим показателям (ГОСТ 17.1.3.07-82) учитывает следующие характеристики:

- отношение общей плотности олигохет к общей плотности сообщества зообентоса (класс *Oligochaeta* – малощетинковые черви; многие их виды характеризуются повышенной устойчивостью к загрязнению и гипоксии, что определяет высокое абсолютное и относительное обилие олигохет в бентосе загрязненных водоемов);

- концентрацию в воде всех бактерий и отдельно сапрофитных, т.е. активно разлагающих органические вещества;

- индекс сапробности (в модификации Сладечека) по фитопланктону, зоопланктону, перифитону;

- биотический индекс Вудивисса.

Шкала и индексы сапробности. Сапробностью называется степень загрязненности водоема органическими веществами, доступными редуцентам. Еще в начале XX в. была предложена первая шкала оценки степени загрязненности водоемов, основанная на учете присутствия в сообществах гидробионтов индикаторных видов, чьи требования к качеству среды более или менее известны. В основу шкалы сапробности положен принцип, отражающий степень оксифильности гидробионтов-индикаторов. Водоемы и отдельные участки их акватории классифицируются по степени загрязненности органическими веществами следующим образом (ГОСТ 17.1.3.07-82):

- ксеносапробная зона (I класс чистоты) – вода «очень чистая»;

- олигосапробная зона (II класс чистоты) – вода «чистая»;

- бета-мезосапробная зона (III класс чистоты) – вода «слабо (умеренно) загрязненная»;

- альфа-мезосапробная зона (IV класс чистоты) – вода «загрязненная»;

- полисапробная зона (V класс чистоты) – вода «грязная»;

- гиперсапробная зона (VI класс чистоты) – вода «очень грязная».

Система оценки сапробности постоянно модифицируется. Постоянно пополняется и уточняется перечень индикаторных видов. Введен учет обилия особей индикаторного вида, их различную индикаторную значимость. Это позволило перейти от балльной оценки сапробности к количественной, по индексу \bar{S} : гиперса-

пробная зона – $\bar{S} > 4$, полисапробная – $\bar{S} = 3,51 \div 4,00$, α -мезосапробная – $\bar{S} = 2,51 \div 3,50$, β -мезосапробная – $\bar{S} = 1,51 \div 2,50$, олигосапробная – $\bar{S} = 1,00 \div 1,50$, ксеносапробная – $\bar{S} < 1$.

Индекс сапробности по Пантле – Буку (1955)

$$\bar{S}_{PB} = \frac{0 \cdot N_{\kappa} + 1 \cdot N_{\circ} + 2 \cdot N_{\beta} + 3 \cdot N_{\alpha} + 4 \cdot N_{\Pi}}{N_{\kappa} + N_{\circ} + N_{\beta} + N_{\alpha} + N_{\Pi}},$$

где 0, 1, 2, 3 и 4 – значения индекса сапробности, соответствующие условиям ксено-, олиго-, β -мезо-, α -мезо- и полисапробности соответственно; N_{κ} , N_{\circ} , N_{β} , N_{α} и N_{Π} – суммы популяционных плотностей всех видов-индикаторов ксено-, олиго-, β -мезо-, α -мезо- и полисапробности соответственно.

Индекс сапробности по Сладечку (1955)

$$\bar{S}_S = \frac{\sum_{i=1}^m (\tilde{S}_i N_i)}{\sum_{i=1}^m N_i},$$

где \tilde{S}_i – фактическая величина индекса сапробности i -го индикаторного вида; N_i – его популяционная плотность, абсолютная или относительная (доля от общей плотности всех m индикаторных видов в сообществе).

Значение \tilde{S}_i рассчитывается с учетом так называемых сапробных валентностей данного индикаторного вида χ -показателей распределения его встречаемости в пяти зонах различной сапробности. В зависимости от частоты встречаемости особей данного вида в данной зоне сапробности, значения сапробной валентности могут варьировать от 0 до 10. Таким образом,

$$\tilde{S}_i = 0,1(0 \cdot \chi_{\kappa} + 1 \cdot \chi_{\circ} + 2 \cdot \chi_{\beta} + 3 \cdot \chi_{\alpha} + 4 \cdot \chi_{\Pi}),$$

где 0, 1, 2, 3 и 4 – значения индекса сапробности, соответствующие условиям ксено-, олиго-, β -мезо-, α -мезо- и полисапробности соответственно; χ_{κ} , χ_{\circ} , χ_{β} , χ_{α} и χ_{Π} – сапробные валентности данного индикаторного вида для условий ксено-, олиго-, β -мезо-, α -мезо- и полисапробности соответственно.

Индекс Сладечека, в отличие от индекса Пантле – Бука, дает более точную оценку, так как в расчетах учитывается фактическая величина индекса сапробности каждого из индикаторных видов \tilde{S}_i .

Индекс сапробности по Ротшайну в модификации И.К.Тодераша (1984)

$$\bar{S}_R = \frac{\sum_{i=1}^m (\tilde{S}_i N_i G_i)}{\sum_{i=1}^m (N_i G_i)},$$

где G_i – так называемый индикаторный вес соответствующего индикаторного вида, отражающий его характерность, приверженность именно к определенным условиям сапробности.

Чем надежнее свидетельствует присутствие данного вида об определенных условиях сапробности, тем выше индикаторный вес данного вида, оцениваемый по 10-балльной системе. Благодаря этому, модифицированный индекс Ротшайна дает еще более надежную количественную оценку сапробности, чем индекс Сладечека и, тем более, чем индекс Пантле – Бука.

Простой пример расчета индексов сапробности для ситуации, когда в зообентосе встречено пять индикаторных видов, приведен в табл.4. На основе расчета вычислены значения трех альтернативных индексов сапробности (в скобках указаны результаты их интерпретации): $\bar{S}_{PB} = 1,61$ (ближе к β -мезосапробности), $\bar{S}_S = 1,53$ (ближе к β -мезосапробности), $\bar{S}_R = 1,40$ (ближе к олигосапробности).

Результаты расчета показывают, что использование модифицированного индекса Ротшайна позволяет заметно уточнить диагностику степени сапробности и является предпочтительным.

Биотический индекс Вудивисса введен автором в краткой и в расширенной модификациях (1964, 1977, 1981). Он был разработан для конкретного водотока (краткая модификация известна в литературе также как индекс реки Трент), но широко применяется для

Таблица 4

Пример расчета индексов сапробности

№ п/п	Вид	Плотность популяции N , экз/м ²	χ_k	χ_o	χ_β	χ_α	χ_π	G_i	ξ_i
1	Agrion vigor	50	–	9	1	–	–	5	1,1
2	Tanytarsus gregarius	30	2	8	–	–	–	4	0,8
3	Tanytarsus gregarius	90	–	2	6	2	–	3	2,0
4	Hydropsycha sp.	160	1	2	4	3	–	1	1,9
5	Caenis macrura	80	4	4	2	–	–	2	0,8

оценки качества вод любых малых рек. Основное достоинство индекса Вудивисса заключается в широкой доступности и простоте определения, так как он основан на учете любых представителей крупных, общеизвестных таксономических групп зообентоса (табл.5):

- любой вид плоских червей, моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей;
- любой вид веснянок, сетчатокрылых, жуков, личинок других летающих насекомых;
- класс малощетинковые черви Oligochaeta;
- любой вид поденок (кроме Baetis rhodani);
- любое семейство ручейников;
- семейство комаров-звонцов (личинки), кроме видов рода Chironomus;
- род комаров-звонцов Chironomus.

Качество воды в водоемах оценивается следующим образом:

Оценка воды	Балл
«Грязная»	< 2
«Загрязненная»	3-5
«Слабо загрязненная»	6-7
«Чистая»	8-10
«Очень чистая»	> 10

Основные недостатки индекса следующие:

- 1) балльная оценка качества воды;

Биотический индекс Вудивисса

Индикаторная группа	Количество видов	Общее количество присутствующих групп организмов бентоса									
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45
Присутствуют нимфы Plesoptera (веснянки)	Более 1 вида	–	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Только 1 вид	–	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Присутствуют нимфы Ephemeroptera (поденки)	Более 1 вида	–	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Только 1 вид	–	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Присутствуют личинки Trichoptera (ручейники)	Более 1 вида	–	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Только 1 вид	4	4	5	6	7	9	9	10	11	12
Присутствует Gammarus (бокоплав)	Любое	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Присутствует Asellus («водяной ослик»)	Любое	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Присутствуют Oligochaeta, Chironomus (малощетинковые черви, «мотыль»)	Любое	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отсутствуют все перечисленные группы. Могут присутствовать организмы, не требующие растворенного кислорода	–	0	1	2	–	–	–	–	–	–	–

2) искусственность выделенных градаций;

3) территориальная ограниченность применения (в конкретных водотоках структуру индекса приходится корректировать соответственно составу местного бентоса по усмотрению исследователя);

4) учет, в основном, только органического загрязнения.

Последний недостаток характерен для всей действующей нормативно-методической базы биологического мониторинга пресноводных экосистем. Практически все используемые показатели точнее всего отражают степень загрязненности водных объектов органическими веществами, что позволяет судить о развитии процесса эвтрофирования водоемов и водотоков. В первой половине XX в., когда основная антропогенная нагрузка на водные объекты создавалась поступлением органических поллютантов и минеральных солей фосфора и азота, такая система биоиндикации была вполне адекватной. Однако в настоящее время многие водоемы испытывают преимущественно техногенное воздействие, искажающее привычный сценарий эвтрофирования или вызывающее вообще принципиально иную сукцессию гидрэкосистем.

Так, при интенсивных техногенных воздействиях эвтрофирование водоемов обычно сочетается с их ацидификацией и многокомпонентной токсификацией. Аэробные процессы биологической деструкции органических веществ часто ингибируются вследствие ацидоза и интоксикации гидробионтов (особенно при хронических отравлениях металлами и другими техногенными поллютантами метаболического действия). Следовательно, привычные симптомы антропогенной сукцессии (например, развитие гипоксии) подавляются, а могут и вообще не проявляться. Ясно, что в таких условиях обычные биоиндикационные показатели (БПК, индексы сапробности и Вудивисса и т.д.) становятся непригодными. Это требует разработки и применения новых методов биоиндикации: количественных, высокой достоверности, универсальных, гибко учитывающих специ-

фику современных многофакторных антропогенных воздействий на гидроэкосистемы.

Важную роль играет правильный выбор биоиндикаторов. Большинство гидроэкологов обоснованно считает наиболее перспективным биоиндикатором зообентос. Поскольку седименты накапливаются в бентали, именно там наиболее резко проявляются антропогенные изменения абиотических условий водоема. Кроме того, по сравнению с другими сообществами гидробионтов, зообентос наиболее стабилен в пространстве и времени, поэтому особенно четко отражает и долго хранит следы антропогенных воздействий на конкретные биотопы и водную экосистему в целом. Характеристики планктона эффективны только для оценки краткосрочных изменений условий среды.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Акимова Т.А.* Экология – Природа – Человек – Техника: Учебник для вузов / Т.А.Акимова, А.П.Кузьмич, В.В.Хаскин. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
2. *Беккер А.А.* Охрана и контроль загрязнения природной среды / А.А.Беккер, Т.Б.Агаев. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
3. *Бринчук М.М.* Экологическое право: Учебник для вузов. М.: Юристъ, 1998.
4. Влияние металлургических производств на лесные экосистемы Кольского полуострова / Т.В.Черненкова, О.В.Бутусов, В.М.Сычев и др. СПб: ЦЕПЛ, 1995.
5. *Дикарев В.И.* Методы и средства экологического контроля / В.И.Дикарев, В.А.Рогалев, Г.А.Денисов, Б.В.Койнаш, Е.С.Сенокосов. СПб: Крисмас+, 1999.
6. *Кимстач В.А.* Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского экономического сообщества. СПб.: Гидрометеиздат, 1993.
7. *Константинов А.С.* Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1999.
8. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Л.К.Исаева. СПб.: Крисмас+, 1998.
9. *Мазур И.И.* Курс инженерной экологии: Учебник для вузов / И.И.Мазур, О.И.Молдаванов. М.: Высшая школа, 1999.
10. *Муравьев А.Г.* Оценка экологического состояния природно-антропогенного комплекса: Учебно-методическое пособие. СПб.: Крисмас+, 1997.
11. *Степановских А.С.* Охрана окружающей среды: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
12. Природопользование: Учеб. пособие / Ю.В.Шувалов, А.Л.Губенко, Е.И.Домпальм, А.Н.Маковский, М.А.Пашкевич, Ю.П.Сорокин, В.Ф.Шуйский; Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб., 2000.
13. *Татарина Л.Ф.* Экологический практикум для студентов и школьников (биоиндикация загрязненной среды). М.: Аргус, 1997.
14. *Шуйский В.Ф.* Основы общей биологии и общей экологии: Учеб. пособие / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	4
1.1. Понятие экологического мониторинга	4
1.2. Приоритетные направления экологического мониторинга	12
1.3. Технические и технологические проблемы экологического мониторинга ...	16
1.4. Управление в структуре экологического мониторинга и правовые основы мониторинга	20
2. ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	24
2.1. Методы и средства геофизического мониторинга.....	24
2.2. Наблюдения и контроль состояния атмосферного воздуха	32
2.3. Наблюдения и контроль состояния природных вод	37
2.4. Наблюдения и контроль состояния почвенного покрова.....	45
3. БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	54
3.1. Общие представления о биологическом мониторинге.....	54
3.1.1. Оценка состояния окружающей среды по абиотическим и биоти- ческим показателям	54
3.1.2. Биологический мониторинг как составляющая экологического мониторинга	56
3.1.3. Биоиндикация и биотестирование	59
3.2. Биоиндикаторные характеристики биосистем различного ранга.....	61
3.3. Классификационные и ординационные методы изучения сообществ и экосистем	72
3.4. Методы биоиндикации наземных и водных экосистем	77
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	88