

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кубанский государственный аграрный университет»
Кафедра общей биологии и экологии**

И.С. Белюченко

**ВВЕДЕНИЕ В
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
МОНИТОРИНГ**

Допущено Министерством сельского хозяйства
Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
020801.65 «Экология» и направлению
020800.62 «Экология и природопользование»

Краснодар, 2011

УДК 504.75(075)

ББК 28.081

Б43

Рецензенты:

А.Х. Шеуджен – Заслуженный деятель науки РФ,
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор
Д.С. Дзыбов – доктор биологических наук, профессор
(ГНУ «Ставропольский НИИСХ» Россельхозакадемии)

Белюченко И. С.

Б43 Введение в экологический мониторинг: учебное пособие /
И.С. Белюченко. – Краснодар, 2011. – 297 с.

ISBN 978-5-94672-465-4

Анализируются теоретические и практические проблемы экологического мониторинга (организация наблюдений и контроля, моделирование и прогноз; особенности мониторинга воды, почвы, атмосферы), как основной базы разработки экологических проектов по поддержанию активного функционирования экосистем разного уровня. Рассматривается также специфика мониторинга в условиях Краснодарского края.

УДК 504.75(075)

ББК 28.081

ISBN 978-5-94672-465-4

Introduction to Ecology monitoring system

By I.S. Beliuchenko

D.Sc. (Biology, Moscow), professor (University, Moscow), Head of the department of general Biology and Ecology of Kuban state agricultural University.

Kuban state University Press. Krasnodar,

© ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2011

*Посвящаю своим ученикам во всех
странах с надеждой на их успехи*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Любые воздействия человека на окружающую среду и любые изменения природных систем в процессе естественной эволюции не могут не влиять на развитие человеческого общества, вызывая нередко весьма отрицательные последствия: превышение уровня предельно допустимых норм загрязнения воды, почвы и воздуха, возникновение неблагоприятных для жизни экологических зон, увеличение детской смертности, сокращение продолжительности жизни и т.д. Целенаправленным воздействием на природу человек создает основу своего существования, обуславливая тем самым глубокие противоречия между процессами развития природы и развитием человеческого общества. Отдельные аспекты такого противоречия вызывают не всегда регулируемые обществом антагонистические проявления в их развитии. Так, в ряде районов нашей планеты человек ведет сегодня техногенные процессы с более высоким потреблением некоторых ресурсов (например, добыча нефти, газа, эксплуатация леса и особенно кислорода и воды), чем природа способна их воспроизводить. Поэтому вопрос о необходимости установления степени и скорости антропогенного давления на природу с точки зрения интересов самого человека на перспективу является далеко не праздным и требует конкретных практических решений немедленно. Именно такой подход при анализе развития человека, цивилизации и природы и определяет основные выводы, принятые Организацией Объединенных Наций на конференции по окружающей среде и развитию, состоявшейся в Рио-де-Жанейро (Бразилия) в 1992 году. Суть этих выводов заключается в следующем: на пороге XXI в. человечество переживает решающий момент в своей истории из-за нарушения согласованности процессов своего развития и преобразования им же природы, что определяет необходимость разработки основных принципов перехода к разумному развитию всего че-

ловеческого общества с учетом его динамизма, способному обеспечить равенство интересов настоящего и будущих поколений при удовлетворении их важнейших экологических, социальных и экономических потребностей.

Хотя человек и является частью природы, но он принадлежит своему социальному миру и, к сожалению, его отношение к природе выделяется, прежде всего, социальными свойствами, которые нередко приводят к серьезным противоречиям во взаимоотношениях общества и природы и которые можно решать в основном социально-экономическими средствами: воспитанием, строгими экономическими, юридическими и морально-этическими нормами поведения отдельного человека, групп, сословий, наций, общества в целом.

Просматривается несколько подходов к разработке концепции устойчивого развития. Наиболее распространенным в разработке концепций такого рода является подход к формированию ноосферы («Сфера разума» по В.И. Вернадскому), сохранению биосферы и отдельных экосистем при определенном режиме сдерживания благосостояния той или иной страны или региона при возможных ограничениях в связи с необходимостью поддерживать на нормальном уровне потребности будущих поколений. Иными словами, концепция устойчивого развития базируется в основном на решении социально-природных проблем, т.е. рационализации использования окружающей среды через усиление ряда социальных аспектов (повышение культурно-образовательного уровня населения и профессиональной квалификации всех работников страны – от простого исполнителя до премьера или президента) и максимальную гармонизацию в соотношении интересов природы, общества и его экономики на основе реализации идеи В.И. Вернадского с формированием ноосферы как сферы разума, в которой основной ценностью и богатством будут духовные и профессиональные знания человека, способного гармонично сосуществовать с окружающей средой. Безусловно, в любой отдельно взятой стране мира выйти на уровень полного согласования интересов общества и природы сегодня практически нереально.

Именно глубокое понимание серьезности проблемы состояния окружающей среды человеком и определило формирование специфичной (отличной от техногенной) экологической концепции анализа сложившейся ситуации в биосфере, основой которой является тезис о необходимости предвидеть экологические последствия антропогенных

воздействий на окружающую среду и в соответствии с этим вырабатывать решения о путях гармонизации развития природы и общества. При совершенствовании технологического производства такой подход одновременно предопределяет необходимость изменения всей структуры мировой экономики и её направленности, а также темпов ее развития с учетом основных законов эволюции природы. Важными элементами такого подхода являются вопросы прогнозирования экологической ситуации, оценки прогнозируемых последствий и их длительности. При решении многих проблем на первые позиции выступают методы моделирования (качественного и количественного) экологических ситуаций и особенностей взаимодействия природы и человека.

Разработка концепции разумного развития страны или региона может базироваться только на широкой информации населения об экологическом состоянии. Такой подход важен не только при построении модели развития отдельных территорий, но и определении основных этапов перехода к ней. Базовой основой получения широкой и глубокой информации может быть только профессионально организованный экологический мониторинг территории, что собственно и было главной причиной создания настоящей работы, которая, смею надеяться, послужит молодым ищущим специалистам пособием для получения объективной информации об экологическом состоянии региона.

При подготовке настоящего обобщения большая помощь автору была оказана сотрудниками кафедры общей биологии и экологии Кубанского ГАУ Мельник О.А., Попок Л.Б., Скрипка Л.Ф., Корунчикова В.В., Петух Ю.Ю., Ткаченко Л.Н. Всем им выражаю глубокую признательность. Особенно слова благодарности Людмиле Степановне Новопольцевой, взявшей на себя весь труд по компьютерной обработке материала.

*Современная экология базируется
на сочетании законов биологии и
математики*

ВВЕДЕНИЕ

1. Роль мониторинга в экологическом образовании. На человека, экологически неграмотного, в основном разграбляющего сегодня природу, в недалеком будущем будут смотреть как на ископаемого мастодонта (либо смотреть будет некому и не на кого). Положение с экологией в нашей стране сегодня примерно такое же, как еще в начале XX века с грамотой, которой владели в основном состоятельные граждане. Когда всеобщая грамотность стала в советский период государственной политикой, простой народ овладел грамотой, но экологические знания так и остались в чистых понятиях и декларациях.

Овладеть экологической грамотой куда сложнее. Но если мы хотим выжить, то нам необходимо идти дальше по жизни рука об руку с природой. Для этого должна быть разработана и строго осуществляться многоуровневая государственная экологическая политика по воспитанию населения и подготовке специалистов в разработке экологических проектов и их внедрении, в системе управления качеством природных процессов с использованием экологического мониторинга на серьезной научной основе. Сегодня нам пока в этом плане похвастаться нечем. Мы стараемся урвать от природы побольше, а не помочь природе остановить деградационные процессы.

Природа весьма ранима, и разрушить её легко, и тут одними законами и запретами не обойтись. Эти законы должны быть в каждом из нас и их воспринять необходимо с детства. Жить сегодня – это значит поддерживать равновесие между развитием природы и развитием человеческого общества, что возможно только при коренном изменении нашего отношения к природе на основе преобразований, с одной стороны, в производстве, а с другой – в потребностях человека.

Осваивать экологическую грамотность необходимо годами, а экологическую порядочность следует впитывать с молоком матери, и она должна быть базисом всей государственной идеологии. Наше поко-

ление боролось с ошибками, вернее, с личностями Т.Д. Лысенко, В.Р. Вильямса и других, но умудрилось восхвалять распахку пойм и балок, освоение целины и осушение болот и т.д., и т.п. Прозрение наступило потом, и оказалось, что мы боролись не за человека, а против Природы и человека. Но поняли это немногие, основной же массе народа и государственных деятелей все эти проблемы глубоко безразличны. В обществе появились «избранные», большинство из которых хочет для себя иметь все получше и побольше. Потребительство в посткоммунистической России сегодня является чуть ли не идеалом для человека. Старые идеологи умерли, а новые провозгласили построение общества потребления, обогащения и разграбления природных ресурсов, причем без выгоды для основной массы населения, не говоря уже о будущем государства. Сегодня и экологах, и другим специалистам стало понятным, что материальные интересы человека несоизмеримо велики в сравнении с весьма ограниченными возможностями Природы. Полагаю, что уже настало время сказать «новым русским» с их инстинктом непомерного обогащения об этом прямо.

Если мы хотим, чтобы нас меньше упрекали потомки, необходимо в обществе утверждать человеческие идеалы на принципах экологии, на сопряжении взаимоотношений человека и Природы: не будет природы – не будет и человека; человечество может выжить и сохранить биосферу не на раздувании своих непомерных потребностей, а на развитии их разумных вариантов. Человечество в своем развитии должно перейти к новому этапу гармоничного развития с Природой, что должно сопровождаться не только его физическим, но и нравственным выживанием. Иными словами, человек-потребитель, возвращенный товарным производством, должен уступить место человеку нравственности, человеку творящему в соответствии с природными законами.

Сейчас в стране наблюдается неустойчивое взаимоотношение между Обществом и Природой во всех направлениях. Наиболее яркими примерами могут служить наводнения в бассейнах горных рек, лесные пожары, охватившие большие территории, засухи и сильное загрязнение природных поверхностных вод речных систем, почв, изменение растительности и животного мира не в лучшую сторону. Молодому поколению предстоит пройти трудный путь – перевести страну на сопряженное развитие общества и природы, что по силам только тем, кто осмыслил суть жизни, знает и понимает законы развития Природы.

Среди многих научно-практических дисциплин, которые эколог должен хорошо освоить, понимать и уметь разумно применять в своей работе, особенно выделяется экологический мониторинг, занимающий важное место в подготовке врачей-экологов природы путем создания благоприятных условий функционирования биосферы и поддержания жизнеобеспечения человека на этой планете.

2. Сущность мониторинга, его цель и задачи. Под экологическим мониторингом сегодня понимается оценка и постоянный контроль изменений в биосфере, вызванных промышленной и сельскохозяйственной деятельностью человека, включая, в первую очередь, накопление загрязнителей в различных составляющих ландшафтов. Основными задачами мониторинга являются: 1) наблюдение и оценка изменений состава, структуры, функционирования и динамики природных и природно-хозяйственных систем; 2) разработка средств и методов контроля качественных и количественных изменений окружающей среды во времени и пространстве, 3) развитие системы моделирования и на этой основе прогнозирования как инструмента изучения окружающей среды с целью рационального её использования; 4) разработка системы управления природными процессами в зависимости от тяжести антропогенного пресса на отдельные экосистемы.

Важной задачей мониторинга является раннее предупреждение возможных резких изменений состояния окружающей среды с целью защиты здоровья и жизни человека. На ранних этапах организации экологического мониторинга (70-е и 80-е годы XX столетия) подчеркивалось, что такая система является необходимым звеном управления природной средой, не включающим каких-либо конкретных элементов управления (Израэль и др., 1978). Иными словами, мониторинг рассматривался как многоцелевая информационная система с задачами: 1) наблюдения за состоянием биосферы, 2) оценки и прогноза её состояния, 3) определения степени антропогенного воздействия на окружающую среду, 4) определения факторов воздействия (установление их источников и оценка этих факторов и источников).

Слово "мониторинг" является производным от латинского слова "монитор" (предупреждающий, напоминающий). Чаще всего в обиходе под мониторингом понимают изучение некоторых характеристик состояния какой-либо системы или её фрагмента (например, луга, леса, бассейна реки, посева пшеницы, свеклы и т.д.) под влиянием антропогенных нагрузок. Первоначальный смысл понятия мониторинг рассмат-

ривался как система регулярных наблюдений в течение длительного периода, позволяющая собрать сведения о качестве окружающей среды с целью оценки её состояния в прошлом, настоящем и возможного прогноза в будущем тех свойств условий обитания, которые непосредственно касаются жизни человека и сохранения биоразнообразия на нашей планете. В широком смысле такое понятие экологического мониторинга сохранилось и в настоящее время, но с добавлением моделирования и прогнозирования развития экосистем и разработки методов управления процессами такого развития на основе использования собранных материалов. Иными словами, под экологическим мониторингом мы понимаем систему наблюдений, контроля, прогноза и разработки базы для управления процессами развития экосистем, испытывающих различные антропогенные нагрузки.

В современном мире высоких технологий и глобалистики роль и значение экологического мониторинга непрерывно возрастает. Мониторинг позволяет разработать основу системы управления состоянием окружающей среды и дает возможность установить соответствие происходящих в природе изменений определенным целям и задачам управления.

3. Основные этапы развития мониторинга. Значение экологического мониторинга в процессе его становления и развития претерпело существенные изменения. На первом этапе (1960-1985 гг.), который может быть определен как начальный, решение многих природоохранных (и экологических) проблем оценивалось очисткой стоков или сжиганием мусора, что в 60-70-е годы еще давало некоторый положительный результат. В процессе ведения мониторинга на этом этапе решались задачи по контролю за соответствием качества почвы, воды, воздуха, растений и т.д. основным стандартам, особенно в местах сильного загрязнения вблизи основных источников производства. Этот этап длился примерно 20-25 лет.

Второй этап (в основном развитие лабораторного контроля) начался в 80-е годы, когда природоохранные проблемы существенно усугубились сильно возросшим поступлением в окружающую среду больших количеств токсических веществ, в том числе ксенобиотиков, а также формируемых ими уже в иных условиях (в воздухе, почве, воде) новых соединений, трудно идентифицируемых, зачастую сильно мигрирующих в пределах системы, а нередко выделяющихся мощными трансграничными перемещениями (прежде всего это характерно для

газообразных соединений). Резко увеличилось число трудно определяемых источников загрязнения, усилились региональные (засухи, кислотные дожди) и глобальные (потепление климата) изменения в природе как, её реакция на возрастающее давление различных загрязнителей.

В почве, воде и воздухе появилось много трудно определяемых аналитически соединений и их смесей с неизвестными при их накоплении последствиями для человека. Сюда относится, прежде всего, усилившийся поток зачастую просто непроверенных, опасных и накопленных вследствие запрещения пестицидов, хлынувших с запада на сельскохозяйственные угодья нашей страны. Удаление таких загрязнителей или хотя бы их нейтрализация выливаются в большие затраты. Этот этап развития системы мониторинга характеризуется усилением лабораторной базы контроля над загрязнителями, подготовкой кадров нового типа, способных правильно оценивать состояние отдельных объектов, ставить конкретные цели по контролю окружающей среды и разрабатывать программы по выполнению конкретных задач.

На втором этапе развивается аналитика основных структур практического мониторинга отдельных систем и компонентов биосферы. На этой основе ведется определение важнейших направлений в его развитии по регионам с учетом их размеров, разнообразия природно-климатических условий, научного потенциала, а также сложности природоохранных проблем в связи со спецификой инфраструктуры, коммуникаций, изрезанности территории автомобильными и железнодорожными трассами, нефтяными и газовыми трубопроводами и т.д.

Целесообразность охраны природных объектов понималась человеком достаточно хорошо уже в начале развития земледелия и животноводства. Например, различные приемы по борьбе с засолением применялись еще в древнем Египте и на Ближнем Востоке. Люди рано начали понимать, что низведение лесов, особенно в горных районах и по берегам водных систем, вызывает разрушение почвенного покрова, смыв почвы, развитие водной эрозии и т.д. Тем не менее, многие и многие тысячелетия человек сильно не ощущал для себя особых потерь от того, что в каком-то районе снижался урожай растений, потому что вводились новые земельные площади, еще не обрабатываемые ранее. С началом бурного развития промышленности (около 300 лет назад) негативные явления, связанные с разрушением человеком природных комплексов, резко усилились.

Наиболее остро эти проблемы стали проявляться в начале XX-го века и весьма резко обострились во второй его половине, что связано с усилением развития химической и металлургической промышленности, химизации сельского хозяйства и т.д. Промышленные территории и прилегающие к ним районы стали испытывать давление все усиливавшихся потоков техногенных сбросов, выбросов и твердых отходов, а сельхозугодия страдали и страдают чаще всего от непродуманного, а то и просто безграмотного насыщения технологий минеральными удобрениями, пестицидами и другими ядохимикатами. Все это привело к весьма серьезным нарушениям экологических систем во многих районах мира, включая и нашу страну.

4. Техногенное загрязнение ландшафтов. Деградация почвенного покрова, его биоты, растительного и животного населения в некоторых местах оказалась столь высокой, что местами стали формироваться своего рода техногенные пустыни, потерявшие свой первоначальный облик, особенно вблизи крупных промышленных предприятий, где их окраины завалены дополнительно твердыми отходами. На десятки и сотни километров распространяются выбросы металлургических и химических предприятий, ТЭЦ, а выбросы двигателей самолетов и космических кораблей попадают непосредственно в атмосферу. Все это ведет к глобальному загрязнению биосферы в целом и её составляющих в отдельности. Пока что региональные загрязнения не оказывают катастрофического влияния, но, охватывая огромные территории, постоянно аккумулирующие многие поллютанты, в недалеком будущем они могут стать причиной непредсказуемых последствий для отдельных регионов и планеты в целом.

Практический опыт многих стран по сохранению природных систем убеждает нас в том, что охрана биосферы и её составляющих возможна только на базе хорошо продуманной системы управления развитием ландшафтов. Наиболее резко и заметно в отдельные периоды проявляются загрязнения атмосферы и гидросферы. Менее заметны они пока для такого объекта, как почва, хотя загрязнения в ней более устойчивы и более долговременны. Загрязнение атмосферы наиболее опасно для человека и зачастую его можно оценить по запаху и другим признакам. Поскольку благоприятные погодные условия и ветер достаточно быстро (пока!) снижают прессинг загрязнителей на воздух через их рассеивание, и атмосфера вновь становится пригодной для жизни людей,

мониторинг загрязнения воздуха нередко просто не включается в его Программу.

Сложнее дело обстоит с пресными водами – наземными и подземными, где загрязнители сохраняются длительное время, ухудшая качество воды или обуславливая её полную непригодность для использования. В речных системах вода сменяется непрерывно, разнося загрязнители на большие расстояния, а в случае их использования, например на полив, загрязнители переходят уже в почву, в растения, и через них – в организм животных и человека. Тем не менее, самоочищение пресных вод – это пока реальный процесс, и он может осуществляться в условно короткие сроки.

Особую проблему представляет загрязнение и разрушение почв, которые очень медленно накапливают органические вещества. Почвы как бы защищают подземные воды от возможного химического загрязнения. Концентрируя в себе загрязняющие вещества, забирая их из фильтрующихся вод, они связывают многие соединения, в том числе и токсичные, в малоподвижные и недоступные растениям формы, защищая растительную продукцию от накопления в ней тяжелых металлов и других химических поллютантов. В связи с этим почвы постепенно накапливают в себе многие загрязнители, уровень которых на отдельных территориях уже выходит за пределы допустимого, и зачастую трудно предсказать, что станет с почвенным покровом в недалеком будущем. Не следует забывать также, что работы по рекультивации земель требуют больших средств, а естественное восстановление разрушенного почвенного покрова, как и его формирование, занимает столетия.

Организация мониторинга может быть только дифференцированной, но весьма широкой и не выпускающей из поля зрения естественные процессы, наблюдаемые при обычном сельскохозяйственном использовании ландшафта. Вызывают изменения и почв, и воды, и растительного покрова значительные антропогенные нагрузки, но не следует упускать из виду многообразие микроландшафтных включений, каждое из которых по-своему влияет на почвы, растительность, воду и воздух.

В настоящей работе обсуждаются, к сожалению, не все проблемы мониторинга (да это и невозможно), хотя основные вопросы рассматриваются достаточно обстоятельно, и мы надеемся, что это поможет создать студенту целостную картину об этом предмете. Литература по изменению почвенного покрова, растений и животных, воздуха и воды под влиянием антропогенных воздействий весьма обширна. Основные

материалы по упомянутым проблемам четко показывают опасную тенденцию резкого усиления деградации почв, потери ими гумуса, загрязнения воды и воздуха, особенно в районах промышленного производства.

В работе нашли отражение также вопросы устойчивости к антропогенному давлению растительности и животного мира, почв, воды и воздуха, а также многие проблемы использования человеком не всегда продуманных доз и норм применения удобрений, пестицидов, орошения, осушения и т.д., что явилось причиной таких явлений, как опустынивание, аридизация суши, резкое сокращение видового разнообразия биоты в природе и т.д. Весьма опасными токсикологическими проявлениями в настоящее время являются загрязнения воздуха, воды и почв тяжелыми металлами и кислотными осадками, а также различными углеводородами (включая и канцерогены), нефтью и нефтепродуктами.

Загрязнение углеводородами в основном носит локальный характер, но их воздействие весьма губительное: почвы лишаются плодородия, а в зонах добычи нефти и газа, вблизи нефтяных и буровых установок создаются весьма опасные для здоровья человека ситуации. Контролировать нефтезагрязнения сложно, поскольку не все углеводороды извлекаются из почвы принятыми растворителями. Большое значение в этом плане имеют методы дистанционного контроля по отражательной способности почв, которая заметно снижается с нефтезагрязнением. Дистанционный метод применим также для общей характеристики состояния почв и растительности (оценка разреженности растительности, оголения почв, засоления, развития эрозии и т.д.). Такие загрязнители, как кислотные осадки и тяжелые металлы, вышли в плане распространения на глобальный уровень, и их контроль необходимо осуществлять уже с учетом Международных Программ.

5. Программа мониторинга и управления системой. Важнейшей задачей экологического мониторинга сегодня является организация соответствующего управления процессами сбора, контроля, хранения и выдачи информации. В зависимости от конкретной цели в системе мониторинга определяется технико-экологическая оптимизация структуры, функционирования и использования тех технических средств, которые необходимы для реализации его Программы. В системе экологического мониторинга предусматривается выполнение двух частей Программы: изучение и познание конкретной системы, включающее наблюдение и контроль – (первая часть), и управление системой, преду-

сма­три­ва­ю­щей мо­де­ли­ро­ва­ние, про­гно­зи­ро­ва­ние и управ­ле­ние эко­ло­гическими процессами – (вторая часть). Сведения по первой части программы служат базой получения новых данных и новых материалов и составляют реальную основу для выполнения второй части Программы по моделированию и управлению её процессами. При условии объективной информированности о функционировании системы моделирование её процессов и управление ими будут более конкретными и реальными.

При переходе от диагностики (наблюдения) к прогнозу и управлению экологическими процессами, происходящими в системе, для изучения различных явлений в мониторинговых комплексах требуется автоматизация весьма высокого уровня (управление режимом работы датчиков, определение скорости, высоты и направления движения воздушных масс, реконструкция банка данных, прогностический процесс обработки информации и др.), что определяет наличие и создание новых пакетов Программ и подпрограмм и единой унитарной управляющей Программы.

Весь курс мониторинга, который надлежит пройти, далек от полного анализа рассматриваемой проблемы. Тем не менее, сделана попытка раскрыть основные направления организации и причины осуществления мониторинга природных процессов на местном и региональном уровнях, не затрагиваемые в других курсах на экологическом факультете. В ряде разделов в силу различных причин мы избрали поисковый вариант изложения материала.

Написанию настоящего пособия предшествовало издание работ "Система мониторинга и экологического проектирования" (Краснодар, 1994) и «Экологический мониторинг» (Краснодар, 1998), в которых были рассмотрены в основном вопросы местного мониторинга растительности и животного мира, а также способы учета и оценки их состояния при длительных периодах отслеживания в различных условиях. В основу настоящего издания положен лекционный курс "Экологический мониторинг", читаемый нами с 1994 г. на экологическом факультете Кубанского госагроуниверситета, а также глубокий анализ литературы и обобщение накопленного кафедрой общей биологии и экологии опыта работы по организации экологического мониторинга ландшафтов в различных районах Краснодарского края.

ЧАСТЬ 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА

Глава 1. Исторические аспекты развития экологического мониторинга

1. История развития мониторинга. Р. Манн (Munn, 1973) рассматривает мониторинг как систему повторных наблюдений элементов окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой. Н.А. Израэль (1979) уточнил это понятие и предложил называть мониторингом систему наблюдений, оценки и прогноза состояния природной среды, позволяющую обнаруживать изменения биосферы под влиянием антропогенного воздействия. Регулярные наблюдения (этот термин и сегодня многими читателями воспринимается как мониторинг) за состоянием чаще всего локальных природных объектов отмечены еще в конце XIX и начале XX столетия. Например, хорошо продуманные (по тому времени) наблюдения за химическим составом питьевой воды осуществляются в США уже с начала XX века. Геологической службой Министерства внутренних дел США путем ежедневного отбора проб на обустроенных наблюдательных гидрологических постах велось постоянное совершенствование методов отбора проб и их анализа. Проводились многочисленные наблюдения (в США, Англии, Германии, Франции и в других странах) за динамикой, миграцией и расселением отдельных видов животных и птиц, изучалось влияние человека на ареалы отдельных видов растений и т.д.

Первая Международная конференция по вопросам охраны природы состоялась в Швейцарии (Берн, 1913). Она наметила основные направления работы по сбору, обобщению и публикации сведений о состоянии природной среды. Общественная организация в России "Московское общество испытателей природы" было основано в 1805 г. при

Московском университете. Постоянная природоохранная комиссия при русском географическом обществе была организована в 1912 г. Основным органом по охране окружающей среды в СССР был созданный в 1925 г. Межведомственный Госкомитет при Народном Комиссариате просвещения. Всероссийское общество охраны природы была образовано в 1924 г.

В 50–60-е годы XX столетия состоялись многочисленные региональные, национальные и международные конференции по вопросам охраны природы. Генеральная Ассамблея ООН в 1968 г. приняла решение о созыве Конференции ООН по проблемам охраны природы. Такой симпозиум состоялся в Стокгольме 5 июня 1972 г., в связи с чем этот день считается Всемирным днем охраны окружающей среды. Стокгольмская конференция подчеркнула глобальность проблем окружающей среды и их тесную связь вообще с жизнеобеспечением человечества и в качестве первой задачи рекомендовала необходимость разработки мероприятий по сокращению экологического ущерба при использовании природных ресурсов, обратила внимание на использование науки и техники для целей определения и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Стокгольмская конференция выделила три важнейших задачи. Первая (и основная) задача в плане оценки окружающей среды и определения степени её нарушенности была сформулирована в Программе ООН по окружающей среде (ЮНЕП), в которой особая роль была отведена Глобальной системе мониторинга окружающей среды (ГСМОС), Международной справочной системе об источниках информации по окружающей среде (ИНФОТЕРФ), Системе данных по окружающей среде, Международному реестру потенциально токсичных химических веществ. Особое место было отведено, безусловно, ГСМОС, включающей мониторинг условий здравоохранения. Во вторую задачу "управление окружающей средой" включены требования учета экологических факторов при решении экономических, социальных, политических и других проблем. И наконец, третья задача, вытекающая из Программы ООН, – "вспомогательные меры" – включает проблемы подготовки кадров по проблемам охраны окружающей среды.

Наиболее широкое и глубокое по своей сути развитие системы наблюдений (местного мониторинга и в глобальном плане) началось с 70-х годов XX века благодаря Стокгольмской конференции по охране окружающей среды, явившейся наиболее крупным и подготовленным

собранием по этой проблеме. Во многих странах были созданы Агентства, Министерства или Комитеты по охране окружающей среды, которые были призваны играть координирующую роль в разработке общей стратегии и проведении научного и методического руководства системой мониторинга, определении критериев и стандартов качества воды, почвы, воздуха, растений и животных, установлении контроля за мониторингом источников загрязнения, обобщении мониторинговых исследований и оценке их эффективности.

В течение 1972–1976 гг. была создана весьма обширная (Глобальная) система мониторинга (ГСМ) окружающей среды, включающая 100 станций в различных районах мира, на которых ведутся стандартизированные определения количества SO_2 , взвешенных частиц и других загрязнителей в атмосферном воздухе и т.д. Были приняты рекомендации ВОЗ относительно величин концентраций примесей с учетом пороговых уровней отрицательного воздействия на наиболее чувствительные группы населения (дети, пожилые люди и т.д.). Области наибольшего загрязнения воздуха SO_2 до 1980 г. были Европа, Северная Америка, Азия, а наименьшими – Австралия, Канада, Новая Зеландия; наибольшее количество взвешенных частиц отмечено в Азии (природная пыль в Индии).

Природные среды заметно различаются по характеру оценки их загрязненности. Например, общее содержание загрязнителей является весьма важным показателем при оценке состояния воды или воздуха, но этот показатель менее важен при оценке состояния почвы. В нашей стране до развала СССР была создана общегосударственная служба наблюдений и контроля за загрязненностью природной среды (ОГСНК) в 1972 г. В настоящее время в России действует государственная служба наблюдений (ГСН), но, к сожалению, она уделяет мало внимания региональному и местному видам мониторинга ландшафтов, учитывая, что многие из них требуют особого подхода в организации контроля и при оценке их состояния.

Собственно, предмет мониторинга окружающей среды и настоящей работы был определен именно Стокгольмской конференцией. Во исполнение решений Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972 г.), а затем и Хельсинкской конференции по безопасности и сотрудничеству в Европе (1975 г.) в нашей стране разрабатывались и частично осуществлялись годовые и пятилетние планы по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресур-

сов. Сегодня, как никогда, ситуация в стране выдвигает необходимость создания единого координирующего экологического центра и разработки единой экологической Программы по совершенствованию всех отраслей промышленности и сельского хозяйства на экологической основе, направленной на укрепление здоровья людей, улучшения их экологического воспитания.

Вторая конференция ООН по окружающей среде и её развитию состоялась в 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия); она выдвинула концепцию разумного развития мира. Принимая в целом идеи и принципы решений, принятых на обеих конференциях, считаем, что их осуществление в нашей стране (переход на модель устойчивого развития), даже в долгосрочной перспективе, весьма проблематично по многим причинам, среди которых – практическое отсутствие экологически подготовленных кадров, слабое развитие лабораторной базы для контроля, отсутствие экологического сознания от простого работника до высших руководителей регионов и страны.

Смысловое значение термина "мониторинг" постоянно меняется, хотя сам процесс и получил международное признание и понимание. Тем не менее, основной смысл процесса заключается в выявлении критических и экстремальных ситуаций и источников создания таких ситуаций из-за антропогенного воздействия на окружающую среду, а также в оценке и прогнозе состояния объектов наблюдения, в управлении воздействием на природу для взаимного согласования в функционировании объектов техносферы, гидросферы, литосферы, атмосферы, биосферы. Основными функциями мониторинга являются: 1) контроль состояния экосферы, 2) контроль источников загрязнения объектов экосферы, 3) управление экологическими процессами в природных и производственных ландшафтах. Осуществление задач экологического мониторинга над состоянием природной среды, источниками загрязнения и управления экологическими процессами возможно на основе технического оснащения экологических центров современными автоматизированными приборами и оборудованием и разработки Программ по анализу таких материалов.

2. Современные задачи мониторинга. Влияние человека на окружающую среду по своим масштабам соизмеримо в настоящее время с естественными процессами (извержение вулканов, землетрясения, цунами и т.д.), обуславливающими изменения в природе, что, очевидно, ведет к нарушению равновесного состояния не только в биосфере, но и

в геосфере: разрушаются крупные экосистемы, снижается биоразнообразие организмов на генетическом, популяционном, видовом и экосистемном уровнях, снижаются запасы основных природных сырьевых и топливных ресурсов: угля, нефти, минеральных и рудных запасов, падает плодородие земель, запасы пищи, чистой питьевой воды; уже явно прослеживается региональное и глобальное изменение климата.

Выраженность парникового эффекта в атмосфере, разрушение озонового слоя, нарушение естественных геохимических циклов, газообмена между океаном и атмосферой обусловлены весьма интенсивным поступлением в атмосферу Планеты углекислого газа, хлорфторуглеродов, оксидов азота и серы, разнообразных поллютантов, среди которых немало ксенобиотиков. Все это указывает на нарастание биологического кризиса на нашей планете и вызывает к наиболее сознательному виду природы, каковым считает себя человек, принимать незамедлительные меры по решению проблем охраны природной среды.

Наибольшую опасность представляет собой глобальное загрязнение биосферы, поскольку оно может явиться причиной её общепланетарного загрязнения. Впервые на такую возможность обратил внимание еще В.И. Вернадский (1934), подчеркнувший, что человек ввел новую форму действия на обмен живого вещества с косной материей в составе нашей планеты, активно влияя практически на все химические элементы и их производные. Человек нарушает равновесие в миграции элементов в природе, в связи с чем меняется обратимость геохимических циклов элементов, вводятся новые неустойчивые соединения, усиливается концентрирование химических веществ, что может послужить основой развития безвозвратного их распыления. Необходимо отметить, что геохимическая миграция элементов, обусловленная деятельностью человека, по скорости значительно превышает природные процессы. Загрязнение природы, вызванное человеком, через ускоренные процессы миграции различных элементов является причиной следующих негативных проблем: заболевание людей и животных, гибель растений и ухудшение качества растительной и животной продукции, гибель гидробионтов в водоемах, непригодность воды для питья, разведения рыбы и т.д.

Загрязняющие вещества представляют большую опасность для здоровья населения. Их низкие концентрации оказывают систематическое действие на организмы людей, способствующие развитию и тех болезней, которые связаны с другими факторами. При высоких концен-

трациях загрязнителей проявляется весьма специфическое их действие на человека: вызываются определенные заболевания, обусловленные избирательностью загрязнителей в живых системах, поражение нервной системы, желез внутренней секреции, внутренних органов, а нередко и канцерогенные процессы (особенно в загрязненных районах) и снижение рождаемости. По степени негативного воздействия на организм человека к высоко опасным загрязнителям в нашей стране отнесены мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, фтор, бенз(а)пирен; к умеренно опасным – бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром; к мало опасным – барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон.

В США в воде концентрируются в значительных количествах сурьма, мышьяк, барий, бериллий, кадмий, хром, медь, железо, цинк, свинец, ртуть, никель, серебро; в воздухе – мышьяк, бериллий, кадмий, фтор, свинец, ртуть. Выделенные элементы наиболее токсичны (особенно их органические соединения), они способны накапливаться в природных объектах, и их выброс в природные комплексы весьма значителен. Они устойчивы и активно включаются в трофические связи: почва - растение - человек, почва - растение - животное - человек; почва - вода - человек, почва - воздух - человек.

Природную среду можно характеризовать на основе материалов полевых экспериментов, лабораторных наблюдений, обобщения большого объема статистических данных. Эксперимент в области экологии весьма затруднен, а нередко и невозможен. Эффективным методом в экологии можно рассматривать анализ и синтез сложных систем. Система наблюдений за природными и антропогенными ландшафтами и оценка их современного состояния, моделирование и прогнозирование их развития и выработка рекомендаций для целей управления процессами составляет основу экологического мониторинга, который из ранее модного направления деятельности переходит в жизненно необходимую программу действий. Мониторинг призван оценить состояние окружающей среды, степень современной деградации отдельных экосистем и в целом жизненного пространства человека.

Безусловно, сохранить или, тем более, полностью восстановить в буквальном смысле природу в прежнем состоянии – это чистойшей воды маниловщина, поскольку природные экосистемы постоянно эволюционируют, особенно в настоящее время. Другое дело, с переводом эволюции природы в управляемый вариант развития (коэволюция) на основе концепции глобального комплексного мониторинга биосферы её

дальнейшая форма движения может в определенной степени направляться человеком. Такой подход требует сегодня отслеживать состояние окружающей среды в целом (природные и хозяйственные промышленные объекты), обобщать и анализировать такую информацию и на этой основе программировать наиболее оптимальные пути развития экосистем, скорости отдельных процессов их динамики с учетом качества жизни населения.

Реально взаимоотношение человека и природы можно контролировать не столько природоохранной, сколько разумной природопользовательской организационно-хозяйственной деятельностью, что увязывается весьма тесно с экологическим (да и с политическим) блоком, определяющим социальные аспекты биосферы (уровень жизни, здоровье людей и т.д.). В результате такой работы должна быть сделана оценка состояния природно-хозяйственной системы с учетом воздействия на природу, жизненный уровень человека, его социально-интеллектуальную деятельность. К сожалению, при нынешнем положении дел в нашей стране мало кто интересуется составляющими экологического мониторинга, особенно с учетом социально-интеллектуального менталитета населения, а ведь без его развития не стоит браться за решение ни теоретических, ни практических задач развития государства.

Действующие в настоящее время на территории бывшего СССР системы мониторинга весьма разрозненны, зачастую слабо организованы и потому весьма примитивно оценивают состояние окружающей среды и природных ресурсов, а также источники загрязнения. Нередко анализ воздействия на окружающую среду ведется на уровне эмоций. Практически не берется во внимание оценка состояния здоровья населения, моделирование и прогноз этого показателя. Разработка системы экологического мониторинга сталкивается всегда с большими трудностями как при организации наблюдений, так и при измерении разнообразных показателей (включая полевые и лабораторные измерения), их сборе и обобщении, при создании специализированных блоков данных, их обработке и анализе. Весьма непросто становится решение при подключении к вышеуказанному блоку экологических проблем еще и блока социальных проблем в различных регионах.

3. Уровни мониторинга. Экологический мониторинг на уровне государства строится по трехуровневому варианту: локальный, региональный и государственный. В некоторой степени, особняком могут

стоять отдельные специальные формы мониторинга, направленные на решение каких-либо частных проблем: климатических, почвенных, лесных и т.д.

Локальный (санитарно-гигиенический) мониторинг предусматривает контроль над содержанием в различных природных объектах (вода, почва, воздух, растения, животные) вредных для человека загрязнителей различного происхождения на местном уровне, отслеживание влияния на среду конкретных действий человека – влияние стройки, животноводческой фермы, промышленного предприятия, орошения и удобрения земель и т.д. В его разработке участвуют экологи, почвоведы, биологи, химики.

Региональный (геосистемный) мониторинг отслеживает взаимодействия человека и природы, проявляющиеся в основном на ландшафтном уровне в процессе использования объектов природы с определением прихода и выхода веществ и энергии в отдельных (или групповых) системах. В этом мониторинге участвуют гидрометеослужба, сейсмологи, лесостроители, почвоведы, ботаники, гидрохимии, геологи и др.

Биосферный (глобальный) мониторинг представляет систему наблюдений объектов биосферы, осуществляемых в основном в атмосфере и гидросфере, где отслеживается распространение различных загрязнителей на планетарном уровне. В его проведении участвует широкий круг специалистов, выполняющих исследования в биосферных zapovedниках.

Иногда с учетом основного объекта отслеживания выделяют мониторинг биотический, или биологический, и абиотический, или геофизический, с конкретизацией среды наблюдения – почва, вода, воздух. К специальным видам мониторинга относятся – радиационный, озоновый, пестицидный, мониторинг тяжелых металлов и другие, – виды которые контролируют узкий круг показателей в различных средах.

Следует выделить отдельно *национальную* систему мониторинга, которая может включать все или часть выше перечисленных видов мониторинга, и по их реализации осуществляются мероприятия в области защиты окружающей среды в тех или иных районах страны.

Изучение отдельных блоков биосферы в отрыве друг от друга нецелесообразно по многим причинам, и потому экологический мониторинг необходимо рассматривать как комплексную систему наблюдения,

контроля, прогноза и управления природными и природно-хозяйственными ландшафтами.

Система мониторинга в регионе будет удачной тогда, когда она в максимальной степени опирается на уже имеющиеся функционирующие структуры (например, сеть гидромета), накопившие опыт с учетом природных и хозяйственных различий, а также уклада и специфики жизни населения. В систему экологического мониторинга включены: природная среда (растения, животные, микроорганизмы, почва, вода, атмосфера), отслеживаемая на целостных блоках; природные или антропогенные ландшафты; источники антропогенного влияния (инфраструктура, фермы, заправки, заводы, поселки, города, лесополосы и т.д.); состояние здоровья и уровень жизни населения (продолжительность жизни людей, уровень доходов, образование и т.д.). Бесспорно, ни технические характеристики промышленности, ни медицинские параметры здоровья населения, ни какие другие узкопрофессиональные характеристики не являются предметом экологического мониторинга – это удел узких специалистов и отдельных дисциплин.

Система мониторинга включает ограниченное количество интегральных показателей, выбранных узкими специалистами на основе единой концепции (методологии) мониторинга. Важнейшей задачей мониторинга будет четкое проведение измерений сопоставимых параметров в разных средах, создание банков данных с территориально распределенными характеристиками этой информации, разработка моделей для её анализа и составление прогноза с вероятной оценкой возникновения чрезвычайных ситуаций. Основным принципом (парадигмой) проведения экологического мониторинга является единство организационного, методического и метрологического подходов, что возможно на базе единого организационного центра.

Решение всех возникших проблем в окружающей среде возможно на основе организации фундаментальных исследований на базе научно обоснованной системы мониторинга и экологического проектирования по оптимизации природопользования, включая развитие градостроительства, промышленности, сельского хозяйства, инфраструктуры отдельных территорий. Большое значение имеет разработка концепции мониторинга окружающей среды и информационно-управляющих систем, способствующая решению задач локального, регионального, глобального мониторинга и устранению последствий отрицательного влияния на окружающую среду природных явлений или антропогенных

нагрузок, а также экологическому воспитанию всех групп населения. Именно важность и комплексность проблем окружающей среды обуславливают необходимость получения весьма разнообразной информации на разных уровнях исследований, что в свою очередь объясняет сложность системы мониторинга как отдельных районов, так и планеты в целом.

Система мониторинга природной среды способна решать многие задачи в изучении динамики экосистем (от локальных до глобальных), экосистемных факторов эндогенного типа (биотические, водные, почвенные и т.д.), районирования территорий по степени экологической опасности, антропогенных ландшафтов (города, сельхозугодья, промышленные комплексы и т.д.), а также лежит в основе разработки экологических карт разного масштаба, прогностических моделей на базе полученных и проверенных исходных данных для экосистем различного уровня и прогноза экологической обстановки в определенном регионе. Кроме того, экологический мониторинг обуславливает изучение экзогенных факторов (природных и антропогенных), влияющих на экосистемы, – метеорологических, геофизических, геологических, гидрологических, биотических, биотопических (воздействия соседних систем); загрязнений, источником которых являются различные производства; расхода биотических ресурсов и т.д.

Экологический мониторинг обеспечивает также контроль техногенных аварий на различных объектах (разрушение плотин, предприятий и других производств) и природных катастроф (падение небесных тел, повышение солнечной активности, наводнения, штормы, тайфуны, цунами, ураганы, снегопады, пыльные бури, землетрясения, извержение вулканов, оползни, сели, лавины, эпидемии, массовое размножение вредных животных и др.) до их проявления и после.

4. Основные требования к системе мониторинга. Наблюдения за состоянием окружающей среды проводятся в районах с повышенной антропогенной нагрузкой: с развитыми промышленностью и сельским хозяйством, в потенциально опасных зонах, где возможны или уже случались чрезвычайные ситуации, а также в заповедниках, ресурсно-перспективных территориях и т.д. Контроль осуществляется над экосистемами разного уровня и масштаба (от метров до тысяч км²), хотя наиболее активными могут быть природно-техногенные ландшафты с размерами около 100 км², опасные с точки зрения возможности техногенных аварий на конкретных крупных предприятиях (размерами до 7 км²),

и антропогенно загрязненные территории размером от десятков до тысяч км². Проведение наблюдений организуется с различным интервалом времени, определяемым динамичностью объектов контроля. Выделяются следующие временные масштабы контроля – *очень быстрый, быстрый, медленный и долговременный*.

К очень быстрым процессам (от нескольких минут до суток) относятся чрезвычайные ситуации. Изменения внешних факторов, влияющих на экосистемы (от суток до 20 суток), а также решение некоторых задач природопользования можно отнести к быстрым временным масштабам. Исследование природных процессов (от месяца до нескольких лет) относится к медленным временным масштабам, а к долговременным (десятки и сотни лет) относятся процессы эволюции экосистем, природных и природно-техногенных ландшафтов. Единой системы мониторинга, способной обеспечить решение в полном объеме всех обозначенных проблем состояния природной среды, не существует. Её разработка требует больших временных и материальных затрат.

Объединение в общую систему ряда разработанных и разрабатывающихся в настоящее время систем, способных решать отдельные задачи, дает возможность создать (или позволяет наметить) с целью решения экологических проблем комплексную систему регионального или глобального мониторинга, имеющую многоуровневую иерархическую связь с различными подсистемами, центрами сбора и обработки информации, а также разработать предложения по устранению отрицательных последствий влияния на окружающую среду. Комплексность системы мониторинга определяется состоянием космической, воздушной, морской и наземной подсистем и координируется на уровне развитого государства национальным информационно-управляющим и аналитическим центром дистанционного зондирования.

Космическая подсистема составлена орбитальными и наземными блоками, подразделенными на несколько составляющих. Орбитальный блок в качестве объекта исследования имеет районы, сильно варьирующие по физическим, химическим и биологическим свойствам, и включает космические аппараты глобального наблюдения, специализированные аппараты дистанционного зондирования Земли, аппараты для детального наблюдения и проведения научных экспериментов, спутники-ретрансляторы и аппараты для изучения солнечно-земных связей. Наземный блок включает центральный пункт планирования и управления стартовых позиций для запуска орбитальных аппаратов, техниче-

ских комплексов обеспечения работы стартовых позиций, региональных пунктов приема и передачи информации.

Воздушная подсистема объединяет авиационные комплексы контроля химической и радиационной обстановки и чрезвычайных ситуаций, исследования природных ресурсов, контроля экологической обстановки, аэростатные комплексы различного назначения. Сюда входят также аэродромные службы, региональные пункты обработки информации и управления воздушным движением ВВС и гражданской авиации. Калибровка аппаратуры, устанавливаемой на борту авиационных комплексов, проводится на геофизических полигонах.

Морская подсистема включает суда гражданского флота, научно-исследовательские суда, корабли ВМФ и буйковые станции, записывающие долгосрочную информацию и передающие её на корабли или непрерывно передающие сообщения через спутники-ретрансляторы. Сюда входят также порты и их службы, региональные пункты обработки информации, пункты управления движением судов ВМФ и гражданского флота.

Наземная подсистема включает стационарные и подвижные посты радиационного и химического контроля, датчики контроля чрезвычайной ситуации, стационарные и подвижные посты контроля состояния природной среды (загрязнение пестицидами, тяжелыми металлами, эрозия почвы и т.д.).

Главными звеньями комплексного мониторинга являются информационно-управляющие центры, выполняющие роль управления всеми её составляющими, распределение заданий между подсистемами и ведущие комплексную обработку получаемой информации. Для правильной оценки локальных и глобальных изменений, происходящих в окружающей среде и обусловленных антропогенным прессом на отдельные системы, необходимо обязательное изучение этих процессов и отслеживание их динамики в целях контроля и управления.

Важнейшей формой слежения за состоянием окружающей среды является создание глобальной системы мониторинга на основе международной сети биосферных заповедников как фоновых природных анклавов для определения точки отсчета наиболее опасных для равновесного состояния биосферы изменений. Научной основой организации мониторинга является концепция о взаимосвязях и взаимодействии компонентов биосферы (или отдельной экосистемы) в целом и представления о слагающих её экосистемах (или подсистемах) как термоди-

намически открытых, целостных, многокомпонентных, саморегулирующихся, аккумулирующих солнечную энергию и распределяющих её по трофическим цепям под влиянием абиотических факторов, а также концентрирующих возмущения на все типы давления экзогенного типа (антропогенные и природные) и варьирующих под влиянием этого давления в пределах определенного гомеостатического плато. В этой связи Программа экологического мониторинга должна базироваться на достижениях функциональных наук (биологии, экологии, термодинамики экосистем, их эволюционного развития и т.д.), раскрывающих внутренние и внешние взаимосвязи в экосистемах.

В настоящей работе рассматриваются в этом плане основные принципы и методы количественного изучения и моделирования (математического и натурального) обменных процессов, обуславливающих функционирование экосистем, их динамичность в пространстве, продукционные и деструктивные процессы в почвах, в сообществах живых организмов, в речных бассейнах и т.д. Большое внимание уделяется формированию принципов экологического мониторинга на основе всестороннего изучения обменных процессов в экосистемах и ландшафтах; обсуждаются вопросы отбора минимума наиболее информативных объектов наблюдений (индикаторов) и оптимизации количества наблюдаемых факторов, а также этапность реализации программы мониторинга – инвентаризация, выбор полигонов для наблюдений, организация проведения наблюдений, обработка информации, создание прогностических моделей и т.д. Иными словами, рассматривается практическая сторона организации мониторинга – слежение за изменениями окружающей среды под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Важной задачей экологического мониторинга является непрерывное долговременное слежение за состоянием природных и антропогенных экосистем и внешних факторов, установление направлений и темпов изменений (сукцессионных, флуктуационных, эволюционных) и оценка ответных реакций на различные формы внешних воздействий, вызванных человеческой деятельностью. Научной основой организации экологического мониторинга является общая и популяционная экология, изучающая внутреннюю структуру, функционирование и эволюцию экосистем и их внешние взаимосвязи. Несмотря на большие различия в составе и структуре функционирования различных экосистем планеты, включая и глубоко различающиеся наземные и водные, их объединяет общность протекающих в них вещественно-энергетических

и информационных процессов, в частности аналогичность больших круговоротов основных катионов и анионов, воды, углерода, азота, кислорода, создания и распада органического вещества, определяющих биосферный круговорот в целом.

Наиболее адекватным в оценке происходящих изменений в природе является системный подход, выделяющий экосистему как самостоятельную единицу изучаемого ландшафта, с одной стороны, расчленяющий экосистему на компоненты разного уровня агрегирования – растения, животные, геоморфологию, почву, воду, природные условия, микроорганизмы, а с другой стороны, определяющий наличие и характер как внутренних связей в системе между компонентами, так и внешних связей между экосистемами, а также внешними объектами – атмосферой, геологией, гидрологией и экологией ландшафтных образований.

Организация мониторинга осуществляется поэтапно: первый этап предполагает инвентаризацию сведений о состоянии определенного района, его истории, климате, природных условиях; на втором этапе проводится выбор полигонов (ключевых постов) наблюдений и разработка конкретных программ; третий (основной) этап осуществляет регулярные режимные наблюдения по программе мониторинга и выполняется постоянной группой специалистов; четвертый этап включает хранение, систематизацию и анализ получаемой информации, создание математических моделей и разработку предложений по управлению природными процессами и осуществляется специальной группой экологов и математиков. Из изложенного выше очевидно, что экологические проблемы могут быть решены только на основе комплексного (в том числе и количественного) подхода их изучения. В связи с этим метод математического моделирования с его огромными возможностями количественного анализа различных связей в экосистемах приобретает все большее значение в решении экологических проблем, и потому выделяется в достаточно самостоятельный раздел экологического мониторинга.

Поскольку негативные последствия антропогенного загрязнения природы в настоящее время четко проявляются не только на регионально-локальном уровне, но и на глобальном, то разработка Программы контроля и снижения загрязнения природной среды, а также Программы регулирования её качества весьма актуальна сегодня на всех уровнях. Создание и реализация Программы управления природными про-

цессами требуют адекватной оценки наблюдаемого состояния окружающей среды и прогноза этого состояния. Получение такой информации, её анализ и математическое моделирование процессов на основе получаемой информации (системы наблюдений, оценки моделирования и прогноза состояния природной среды, испытывающей влияние антропогенных факторов) и составляет основу современного мониторинга природных и природно-техногенных систем.

Оценка состояния окружающей среды включает наблюдения над источниками воздействия (например, загрязнения), непосредственно над факторами загрязнения (физико-географические и геохимические данные об их составе и характере), над состоянием биотических элементов биосферы (реакция организмов), над изменением их структурных характеристик. Наибольший интерес представляют наблюдения за химическим составом атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, почвы, растений, животных. С целью оценки уровня загрязнения и вызываемых ими воздействий необходимо по возможности установить их первоначальное состояние, для чего можно использовать данные фоновых (незагрязненных) полигонов.

Систему оценки состояния ландшафтов можно формировать на основе точечных измерений, наблюдений в отдельных пунктах, включая дистанционные наблюдения и получение обобщенных показателей (например, количество выбрасываемых загрязнителей определенным источником за конкретный отрезок времени). Степень воздействия на живые организмы системы зависит от интенсивности воздействующего на биоту фактора (концентрация загрязнителя, продолжительность его воздействия, токсичность и т.д.), от разнообразия и числа особей в популяциях, испытывающих это воздействие, чувствительности популяций живых организмов к такому воздействию, а также от реакции их биокосных составляющих.

Для оценки опасности воздействующих антропогенных факторов на природные объекты обычно разрабатываются некоторые критерии допустимости для источников загрязнения при определенных условиях с использованием величин предельно допустимых концентраций (ПДК), для установления количественных пределов вредного вещества в среде, предельно допустимых доз (ПДД) для оценки допустимого эффекта воздействия, предельно допустимых выбросов (ПДВ), для оценки степени интенсивности выбросов источником загрязнения, предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) на экосистему как элемент

биосферы с учетом всевозможного комплексного и комбинированного воздействия. Оценка состояния биосферы и её прогноз входят составной частью в систему мониторинга.

Прогнозирование состояния ландшафтов возможно на основе глубокого изучения закономерностей развития процессов, динамики загрязнителей и их трансформации, установления реакции растений и животных на любые изменения стационарного состояния. Иными словами, система мониторинга природной среды, включающая систему наблюдений, контроля, моделирования и прогноза её состояния, варьирующего под воздействием человека, не является простой коллекцией данных для хранения, а представляет собой глубокое комплексное научное исследование информации, результаты которого послужат основой разработки Программы научно-обоснованной системы управления процессами в природных и антропогенных ландшафтах. Система прогноза состояния ландшафта будет способствовать выделению некоторых приоритетных направлений в последовательных этапах мониторинга.

5. Перспективы развития мониторинга. На ближайшие годы в числе приоритетных направлений изучения природных процессов следует выделить загрязнение всех сред тяжелыми металлами, пестицидами, нефтепродуктами, канцерогенными веществами, например, бенз(а)пиреном – индикатором канцерогенных ПАУ. Немаловажное значение играют также вопросы изменения климата вследствие поступления в атмосферу концентрирующих тепло загрязнителей (углекислый газ, угарный газ, метан и др.), нарушения почвенного покрова, поверхностных вод, озонового слоя и т.д. Иными словами, организация мониторинга состояния окружающей среды является стратегией человечества по регулированию качества природной среды и поддержанию её сбалансированного равновесия во имя сохранения самого человека.

Характерной особенностью мониторинговых наблюдений над состоянием природных объектов на каждом полигоне или локальном мониторинговом кластере является их системность и систематичность, обуславливающие параллельные записи состояния объектов с параметрами загрязнения почвы, воды, растений, животных и воздуха, ведение учета сопутствующих метеорологических, гидрологических и антропогенных факторов. С целью получения сопоставимых данных по всем полигонам региона разрабатываются единые подходы к сбору информации. Основным организатором и координатором функционирования

различных полигонов выступает экологический центр, который ведет на полигонах наблюдения и контроль над уровнем загрязнения почвы (физические и химические показатели в динамике), воды, растений и животных (химический состав в динамике), а также изучает динамику микрофлоры и микрофауны в почве и воде в качестве биотеста для оценки состояния окружающей среды и установления основных источников загрязнения. Кроме того, экоцентр работает над моделями отдельных (наиболее острых) процессов загрязнения, их прогноза и предупреждения о возможности их негативного развития.

Координатором (высший уровень системы мониторинга) в стране выступает общегосударственная служба в лице Министерства природы, а ответственным исполнителем по обобщению и анализу данных по загрязнению среды выступает, например, Институт прикладной геофизики. Вся собираемая информация по загрязнению среды делится на: 1) срочную (резкие изменения уровня загрязнения независимо от факторов их вызывающих), связанную с четким обоснованием ситуации в окружающей среде (например, резкое повышение в воде, воздухе или почве содержания токсических или радиоактивных веществ) и передающуюся в соответствующие органы власти; 2) оперативную (анализ состояния среды за месяц ведется региональными центрами), используемую для определения направлений в развитии ситуации; 3) региональную (обобщение годового хода уровня загрязнения различных объектов природной среды, анализ причин и последствий её загрязнения), используемую для перспективного планирования развития страны, состояния природы, здоровья населения. Отдельным разделом идут наблюдения и обобщения результатов исследований.

Так называемые фоновые (или базовые) станции (полигоны или посты) удалены от источников загрязнения минимум на 100 км, поэтому загрязнители попадают сюда только в результате их глобального переноса. Кроме того, выделяются промежуточные или региональные станции, отслеживающие загрязнение объектов, обусловленное локальными миграционными процессами. Наиболее очевидным выбором места для фоновых наблюдений могут быть биосферные заповедники, которые входят в глобальную систему мониторинга природы, поскольку вместе взятые заповедники дают информацию о глобальном состоянии биосферы.

В заключение конкретизируем виды наблюдений и контроля над уровнем загрязнения окружающей среды: 1) мониторинг источников

загрязнения, 2) мониторинг загрязнения атмосферы, 3) мониторинг загрязнения пресных водоемов, 4) мониторинг загрязнения морей, 5) мониторинг загрязнения почв, 6) мониторинг загрязнения растений и животных, 7) фоновый мониторинг.

В настоящее время активно разрабатываются оптимальные планы группового подхода к отбору проб при крупномасштабном мониторинге состояния больших территорий (лесов, степей и других природных образований). В качестве примера можно взять обработку материалов изучения смешанных лесов в горных районах Словакии (Smelko, 1995) с рекомбинацией постоянных и временных маршрутов. Число простых участков на маршрутах оптимизируется на основе теории кластеров. Другое направление в совершенствовании мониторинга – это использование данных по определенному классу загрязнителей (например, в почве или воде) для мониторинга окружающей среды. Так, в условиях США проведена работа по оценке окружающей среды через использование данных по содержанию тяжелых металлов в почве (Kimmo, 1995). Проводится мониторинг биохимической активности при компостировании осадка сточных вод в Испании и Италии (Diaz-Burgos et al., 1993).

Ведутся исследования по выбору разнообразных групп животных для оценки загрязненности определенных территорий стойкими пестицидами и другими токсическими веществами с целью получения репрезентативного материала, характеризующего загрязненность экосистем в районах импактного и фонового загрязнения. На основе критериев биоиндикации большой интерес в этом плане представляют из млекопитающих грызуны и зайцеобразные, способные характеризовать загрязненность экосистемы в целом и состояние загрязненности кормов различных животных. Из беспозвоночных с этой целью можно использовать дождевых червей (смешанный лес, тайга, тундра) и почвенных жуков (степи), а для определения загрязненности высших трофических уровней – хищных млекопитающих: волка, лисицы, соболя, песца, куницы. Возможно использовать для оценки загрязнения различных уровней трофических цепей ракообразных, червей, моллюсков, рыб, водорослей, микроорганизмов; для индикации загрязнения пресноводных систем хлорорганическими пестицидами биоиндикаторами могут служить двусторчатые моллюски (сем. *Unionidae*) и хищные рыбы – щука, окунь, судак (Воронова и др., 1993).

Редко в мире практикуется ведение экологического мониторинга для решения конкретных практических или научных задач. При-

ведем некоторые примеры направлений мониторинговых исследований в различных странах мира. Например, разрабатывается компьютеризированная система сбора и анализа данных для электронной идентификации, мониторинга и контроля поведения свиней разного возраста при групповом содержании (Yoedseels, 1992). Ведется разработка методики и приборов для неразрушающего мониторинга роста растений в условиях гидропоники (Smolbers, 1991). Проводится мониторинг динамики популяций сорняков при развитии комплексной системы земледелия (Lotz, Yroeneveld, 1991). Осуществляется использование данных дистанционного зондирования с искусственных спутников для мониторинга состояния и условий развития растительности в США (Burgan, Hartford, 1993). Разрабатываются новые принципы мониторинга для принятия решений при интегрированной борьбе с вредителями и болезнями в насаждениях яблонь на территории Германии (Freier Gottwald, Burth, 1992). Осуществляется дистанционный мониторинг физиологического и экологического состояния посевов сельскохозяйственных культур с помощью комплексного зондирования, дистанционная оценка интенсивности транспирации и устьичной устойчивости на основе анализа динамики температуры посевов (Япония, 1990).

Ведется разработка и испытание химических электронных индикаторов для мониторинга состава грунтовых вод в Израиле (Cammann et al., 1992). Осуществляется использование спутниковой системы дистанционного зондирования для наблюдения и прогноза быстрого размножения пустынной саранчи (Италия, Charlet et al., 1991). Практикуется использование мониторинга сообществ почвенных микроорганизмов при инвентаризации почв в Австралии (Kandeler et al., 1993). Разрабатываются методы мониторинга влияния загрязнения воздуха на лесную и травянистую растительность на востоке Норвегии (Aalid, Venn, 1992). Ведется изучение возможности зонального мониторинга для оценки распределения калия в почвах на пастбищах в США (Mathows et al., 1994). Изучается влияние уровня кислотности и содержания алюминия в почвенном растворе на поглощение Mg, Ca, K корнями ели обыкновенной (исследования в связи с усыханием лесов в ФРГ (Kuhn et al., 1995). Изучаются временные изменения в почвенной среде и отбор почвенных образцов с модельных полей в Швейцарии (Papritz, Webster, 1995). Изучается динамика численности беспозвоночных в лесу как элемент экологического мониторинга почв на северо-востоке Польши (Yutowski, Krzysztofiak, 1995). Осуществляется мониторинг качества

дренажных вод в условиях влияния минеральных удобрений и навоза в Канаде (Madoni et al., 1995). Ведется мониторинг загрязнения пестицидами и нитратами грунтовых вод в условиях США (Bruggeman et al., 1995). Проводится долгосрочный мониторинг состояния бореальных лесов с помощью анализа ископаемой пыли в Канаде (Mac Donald, 1992).

Разрабатывается методика мониторинга нитратного загрязнения гетерогенного карбонатного водоносного слоя в США (Smith, Ritzi, 1993). Осуществляется космический мониторинг мировых лесных ресурсов (Malingeau, 1993). Испытывается компьютерный метод оценки надежности линейного метода для мониторинга основного растительного покрова на пастбищах США (Mitchell et al., 1994). Проводится учет прироста деревьев на пробных площадях в насаждениях, подверженных действию атмосферных загрязнителей в Венгрии (Innes, 1994).

С помощью метода фотоакустического спектрального анализа в ФРГ осуществляется контроль 5 вредных газов (аммиака, закиси азота, углекислого газа, метана и диметиламина) в атмосфере свинарника. Разрабатываются критерии выбора из местной флоры видов-биоиндикаторов для мониторинга загрязнения окружающей среды в Словакии (Murin, 1995).

Краткий перечень проводимых исследований с целью мониторинга и разработки его направлений и методов в различных частях планеты свидетельствует о широте охвата природоохранных мероприятий, о возрастающей роли мониторинга, в том числе биомониторинга, как научного и практического подхода к оценке состояния окружающей среды и поиска методов её регулирования.

6. Биосферный мониторинг. Биосферные изменения климата, происходящие на планете, могут быть причиной возможных сдвигов современных границ растительных зон, что, безусловно, следует включить в Программу наблюдений общего экологического мониторинга. Сдвиги границ, скорее всего, будут отставать от климатических сдвигов, но фитоценотические изменения определятся по зонам значительно раньше, что можно будет отслеживать дистанционными методами. Поэтому в качестве объекта биоклиматического мониторинга ориентированного на реакцию биологических объектов на изменения среды обитания, могут быть границы растительных зон (дистанционный мониторинг), виды-индикаторы и их изменения в экосистемах (наземные наблюдения). Для комплексного экологического мониторинга требуется

сегодня: 1) расширение Программы исследований, 2) усовершенствование методов и оборудования для проведения исследований согласно последним достижениям науки и техники; 3) постоянное повышение квалификации исследователей в области мониторинга.

За последние годы создана концепция комплексного биосферного (многосредового) мониторинга, разработана его методология для физических, химических и биологических наблюдений и некоторых других направлений. Тем не менее, пока остается неопределенность в оценке экологических последствий возможного изменения климата (хотя это уже четко проявляется в действительности), что обусловлено неразработанностью соответствующих концепций и недостатком полевых, экспедиционных и лабораторных исследований. Необходима программа биосферного обследования изменений климата и экологических последствий этого процесса.

Принятая концепция мониторинга требует расширения и дополнения климатическими и биологическими блоками. Необходимость организации комплексных наблюдений вызвана многоплановостью и взаимообусловленностью процессов, происходящих в биосфере. В качестве основных параметров биологического мониторинга можно назвать видовой состав, встречаемость (обилие), а для биоиндикаторов – наибольшая чувствительность к условиям климата, фенология, вредители и болезни, показатели роста, репродукция; для эдификаторов (основные виды высших растений) – первичная продукция, скорость разложения отмершего органического материала, эвапотранспирация; для экосистем – экзогенные сукцессии.

Таковы в общих чертах основные проблемы экологического мониторинга, развития его научных и практических особенностей становления за сравнительно короткий срок (в пределах 35–40 лет) в качестве важнейшей системы разработки экологического проектирования для прогнозирования уровней устойчивости природных и природно-хозяйственных систем (ландшафтов).

Глава 2. Состояние окружающей среды

1. Практические аспекты контроля. В системе контроля состояния окружающей среды на первых этапах развития мониторинга экосистем вплоть до 90-х годов XX века преобладал абиотический блок. Только в отдельных работах затрагиваются проблемы жизнедеятельности человека (Трофимов и др., 1990). Нередко в числе основных задач мониторинга выделяются определение источников загрязнения окружающей среды, оценка фактического состояния ландшафтов по содержанию в его абиотических блоках различных токсикантов, выявление тенденций и прогноза будущего биосферы. Объектом наблюдения чаще является атмосфера, поверхностные и подземные воды, почва и биота и в ряде случаев экосистемы (Емельянов, 1994). Наибольшее развитие получили "отраслевые" звенья мониторинга: гидрометеорологические, гидрогеологические, геохимические и биологические, - практически функционирующие как независимые системы наблюдения и контроля. Отраслевой подход к мониторингу не учитывал комплексность компонентов биосферы, связанных в сложные природные образования из абиотических и биотических блоков экосистем.

Оценка состояния природной среды объективно проводится на основе анализа качественных и количественных показателей загрязнителей в важнейших блоках экосистем и их динамики за определенные отрезки времени, обусловленные естественными и антропогенными факторами. На первом этапе развития экологического мониторинга наиболее распространенными критериями оценки качества атмосферного воздуха, пресных и морских вод, почвы, растений и животных выступали предельно допустимые концентрации (ПДК) токсических веществ, разработанные по отношению к человеку. При установлении ПДК любого вещества исходили из положения о необходимости создания благоприятных условий для жизни организма (в первую очередь человека).

Под ПДК понимается такая концентрация вещества (или элемента), которая не нарушает санитарно-гигиенических норм качества воздуха, воды и т.д. и при которой ежедневное воздействие на организм человека за длительный временной период не является причиной заболеваний или патологических изменений, определяемых современными методами. Тенденция к более широкому подходу при экологической оценке природы наметилась еще в 70-е годы (Израэль, 1974). Были предложения по обоснованию критерия предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) на экосистему с учетом комплексного воздействия, базирующийся на устойчивости системы с учетом её экологического резерва. Однако вплоть до 90-х годов ПДК вредных веществ в различных природных средах практически не использовались в государственной системе мониторинга в СССР.

Были разработаны ПДК для токсических веществ и их соединений в воздухе атмосферы, в поверхностных и морских водах и в меньшей степени в почвах и донных отложениях, хотя именно последние являются основным аккумулятором загрязняющих веществ и их хранилищем. Например, тяжелые металлы накапливаются в почве и донных отложениях в значительных количествах, попадая в них с сухими и влажными атмосферными осадками, с поверхностным, внутрипочвенным и подземным стоками с водосборной территории, со сточными водами. Сейчас разработаны показатели ПДК более чем для 1000 элементов и веществ.

Бесспорно, что столь широкий ассортимент химических веществ, подлежащих контролю, делает систему ПДК громоздкой и трудно контролируемой. Поэтому из столь большого перечня для каждой среды следует выделить самые вредные вещества, которые подлежат контролю в первую очередь. К этой группе, очевидно, следует отнести вещества массового промышленного выброса, наиболее интенсивно загрязняющие среду во времени и пространстве. Сюда можно отнести пыль, двуокись серы, окись углерода, двуокись азота, загрязняющие атмосферу; пестициды и тяжелые металлы, загрязняющие почву; СПАВы, нефтепродукты, биогены, фенолы, загрязняющие природные воды; при этом учитывается их количество, засоренное пространство и видовой набор организмов, испытывающих негативное влияние таких веществ. Кроме того, в систему мониторинга следует включить также особо токсичные вещества, хотя их ПДК весьма низкое.

Нормы допустимых концентраций загрязнителей широко варьируют по видам веществ и по природным средам. Например, для атмосферного воздуха концентрация основных загрязнителей колеблется от 5 до 100 мкг/м³, хотя норма для особо токсических соединений имеет менее широкий диапазон и варьирует в пределах 1–5 мкг/м³ (неорганические соединения мышьяка, сернистый свинец, шестивалентный хром, пятиокись ванадия и такие органические вещества, как мета- и парахлорфенилизоцианат, гексаметилендиамин, ацетофенон, мезидин, стирол).

Ряд веществ (метилмеркаптан, ртуть металлическая, свинец и его соединения) отличаются особой токсичностью, и потому для них установлен уровень ПДК ниже 1 мкг/м³ (0,009; 0,3; 0,7 мкг/м³ соответственно). В пресных водоемах уровни ПДК для многих загрязнителей установлены в пределах 0,1–1,0 мг/л и только для особо токсичных (неорганические соединения ртути, селена, органические вещества альдрин, метилбензоат, фенол, тиофос, фозален, орто- и парадихлорбензол и др.) пределы концентраций снижены до 1–2 мкг/л. И только самые токсичные (диэтилртуть, тетраэтилолово, соли бериллия, этилмеркурхлорид, трибутилоловометилкрилат) оцениваются на уровне ПДК от 0,1 до 0,2 мкг/л.

Абсолютно исключаются из присутствия в пресных водоемах соли сероводородной кислоты, активного хлора, альтакса, меркаптобензотиазола, тетраэтилсвинца, симазина и его производных. В рыбопромысловых водоемах не должно быть весьма широкого круга токсических веществ, включая ДДТ и многие другие пестициды. Контролировать отмеченные выше вещества в системе мониторинга практически нереально: во-первых, это будет очень дорого, во-вторых, огромный объем химических анализов просто перечеркнет оперативность информации. Для контроля необходимо выбрать минимальный перечень веществ, обеспечивающий и объективность оценки состояния среды, и её оперативность.

Прямое касательство к программе мониторинга имеет временной порог установления ПДК, хотя для воды они не отмечаются. Принятый в нашей стране временной период для среднего показателя ПДК в атмосфере 0,3 и 24 ч безусловно слишком мал, чтобы убедительно говорить о влиянии того или иного вида и уровня загрязнения на здоровье людей. Предлагается принятые среднесуточные нормы ПДК

считать за годовые, что имело бы большое значение для объективной оценки данных мониторинга состояния воздушного бассейна.

Наиболее типичной ситуацией является такое положение, когда среда загрязнена не одним, а несколькими веществами. Рекомендуемая для воздуха и для воды простая сумма веществ с одинаковым показателем вредности

$$\sum_1^n \frac{G_i}{ПДК_i}$$
 токсикологическими опытами не оправ-

дывается; подтверждена нелинейность системы "доза - действие" для равноуровневых в токсикологическом плане веществ.

Наибольшую объективность и пригодность для практического использования имеет комбинированный показатель загрязнения атмосферы, который учитывает нелинейный эффект для веществ основных четырех классов токсичности, установленный на основе токсикологических исследований, но без эпидемиологического анализа материалов (Сидоренко и др., 1973; Пинигин, 1976). Комбинированный показатель, безусловно, является более объективным и обеспечивает сравнительную оценку и возможность классификации территорий по загрязнению воздуха, позволяет установить очередность в проведении выбросов в городе, определить вклад разных источников в загрязнение города и оценить заболеваемость в городе как биологическую реакцию на загрязнение.

Немало сложностей связано с разработкой ПДК для водоемов. Критерием качества воды может выступать видовой состав гидробионтов, и потому в этой среде следует внедрять биологический контроль загрязнения с определением физических и химических свойств воды при установлении причин загрязнения. Немаловажное значение при разработке показателей загрязнения имеет реальность перехода загрязнителей из одной среды в другую, естественно, со сменой ПДК. Например, соединения ртути в воздухе в небольших количествах не представляют опасности, но в воде они переходят в метилртуть – весьма токсичное и опасное для здоровья человека органическое соединение.

Оценку состояния окружающей среды можно проводить и по косвенным показателям. Например, по наличию в регионе определенных видов загрязнителей можно предварительно судить о степени загрязнения ими различных блоков биосферы. Изучение количества и качества выбросов, производимых различными предприятиями регио-

на, также дает возможность косвенно оценить будущее отдельных экосистем.

Значительная часть техногенных продуктов попадает в водоемы, где накапливается до весьма высоких уровней, что вызывает нарушение состава и взаимосвязей основных составляющих водных систем, их загрязнение химическими веществами и формирование аква-систем с новыми механизмами развития. Выявление однородных аквальных комплексов, установление особенностей их формирования, закономерностей миграции и концентрации в них химических элементов, оценка их состояния и охрана относятся сегодня к самым актуальным проблемам.

Таким образом, комплексный региональный экологический мониторинг – это слежение за состоянием природных экосистем при различной степени участия человека в процессах формирования их состава и функционирования с целью оценки, контроля, прогноза и управления состоянием и развитием этих систем (Теблеева, Грин, 1997). Современный мониторинг учитывает взаимодействие человека и природы во всех направлениях, связанных не только с загрязнениями природы, но и с изменениями состава и структуры природных систем и типов их функционирования, с изменениями в технологии природопользования. При ведении экологического мониторинга используются также и определенные индикаторы продуктивности экосистем, являющиеся одним из важнейших их свойств. По показателям продуктивности экосистем оценивается эффективность использования ими природных ресурсов, что дает возможность перейти от эмпирических и статистических нормативов определения характера поведения экосистем к научно обоснованным.

2. Комплексные основы контроля среды. Впервые вопрос о разработке комплексного мониторинга биосферы был поставлен в конце 80-х и начале 90-х годов. В программу комплексного мониторинга включались все компоненты природной среды и характер взаимосвязей между ними со значительным расширением основных его функций: 1) систематические наблюдения над современным состоянием природных компонентов и комплексов, 2) выявление факторов и закономерностей антропогенного и природного изменения экосистем во времени и пространстве, 3) оценка изменений окружающей среды на основе установления качественных и количественных характеристик, 4) прогнозирование изменений природной среды вследствие ан-

тропогенного воздействия. Все вместе это позволяет отнести экологический мониторинг к числу прикладных дисциплин, базирующихся на большой совокупности теоретических положений многих наук, начиная от биологии и заканчивая математикой.

К наиболее распространенным загрязнителям водных систем относятся нефть и нефтепродукты. Для обитающего в толще воды фитопланктона большое значение имеют растворимые фракции нефти. В альгокультурах *Chlorella purenoidosa*, *Nostos linckia*, *Sceanedesmus obliquus* при загрязнении в концентрациях 0,9–7,2 мг/л (примерное содержание нефтепродуктов в промышленных стоках) стимулировалась репродуктивная функция водорослей за 21 сутки культивирования на 27%; изменялись клетки у протококковых и отмечался учащенный распад нитей по гетероцистам у синезеленых водорослей; повышался окислительно-восстановительный потенциал по сравнению с контролем на 25%, что коррелировало с нарастанием биомассы за счет ускорения синтеза органических веществ. Стимуляция развития водорослей под влиянием растворимых фракций нефти способствует эвтрофикации водоема.

Хорошо известно негативное влияние выбросов металлургических, химических и других промышленных предприятий на состояние окружающей среды. В качестве примера приведем основной перечень загрязнителей, выбрасываемых Белореченским химическим заводом, производящим фосфорные удобрения. Завод выпускает серную и экстракционную фосфорную кислоты, сложные минеральные удобрения: аммофос, жидкие комплексные удобрения, кормовые обесфторенные фосфаты, при производстве которых в воздух выбрасываются пары соляной и серной кислот, сернистый ангидрид, пыль серы элементной, сероводород, диоксид азота, аммиак, оксиды углерода, тяжелые металлы, фосфорные и фтористые соединения. Эти вещества оказывают влияние на состав атмосферного воздуха, речных вод и их донных отложений, на растительность, почвы и животный мир; на поверхности почвенного покрова складываются огромные массы твердого отхода фосфогипса, количество которого составляет до 4,5 т на каждую тонну фосфорных удобрений.

Весьма видное место по степени негативного воздействия на природу занимает нефтегазовый комплекс. Формирование растительности на площадях обработанных буровых скважин на первом этапе носит куртинный характер – в первую очередь здесь поселяются злаки

(*Poa alpina*, *P. annua*, *Calamagrosis sp.*) и лишь отдельные представители разнотравья, распределяющиеся рассеянно. Восстановление интенсивнее идет в переувлажненной части, где освоение территории ведут хвощи и осоки. Своего рода вторая стадия восстановления растительности наступает на 4–5-й год и длится 4–5 лет, приводя к усложнению структуры травостоя с преобладанием злаков, а также представителей семейств астровые, осоковые, хвощевые с заметным проявлением группового распределения растений. Третья стадия совпадает по времени с началом внедрения кустарников семейства ивовые и наступает спустя 9–12 лет, отличаясь быстрым обогащением видового состава фитоценозов.

По аналогии идет формирование растительности на участках аварийных нефтяных разливов, где уровень загрязнения колеблется от 1–2 до 60–80 кг/м². Участки, где нефтяная пленка сохранилась, полностью лишены растительности многие годы, а растения появляются по трещинам пленки. В целом флора загрязненных нефтью территорий сильно обедняется, и по сравнению с естественным состоянием число видов сокращается в 3–4 раза. Наиболее устойчивыми видами являются плотнодерновинные и корневищные злаки, произрастающие при весьма широком диапазоне загрязнения среды нефтью (от 0,5 до 16 л/м²).

3. Загрязнители сельскохозяйственного производства. Загрязнителей, образовавшихся в результате производства различных отраслей сельского хозяйства и резко ухудшающих состояние природы, относительно мало. В качестве примера приведем данные по влиянию птицефабрики и свиноводческих ферм на окружающую среду и отметим специфичность подхода к их оценке. Например, на Адлеровской птицефабрике в процессе инвентаризации всех источников выбросов в атмосферу вредных для здоровья людей было выявлено 686 веществ: от резервуаров хранения нефтепродуктов, разгрузочно-загрузочных устройств, кормоцехов, пометосушилок, кладовых, пометных ям, дезбарьеров, очистных сооружений, убойного цеха до пункта мойки машин и т.д. В 1992 г. птицефабрика выбросила без очистки 878 т загрязняющих веществ (243 т твердых и 635 т жидких и газообразных). Газообразные выбросы содержали сернистого ангидрида – 415,5, окиси углерода - 144, окислов азота – 2, аммиака – 63, сероводорода 9,5 т (Хохлов, 1994). Из выбрасываемых жидких веществ основное место занимают растворы щелочей и ряд летучих ор-

ганических соединений; из твердых веществ – сажа (11,2 т) и органическая пыль (232,1 т).

Более значительным источником загрязнения окружающей среды являются крупные свиноводческие комплексы. Изучение поступлений загрязняющих веществ в атмосферу от свиноводческих ферм в настоящее время имеет большое практическое значение, заключающееся в определении концентрации загрязнителей воздуха, мощности выбросов и их состава на различных этапах технологической цепи выращивания свиней, очистки сооружений от навоза, подготовки кормов и т.д. Изучение основных вопросов загрязнения окружающей среды проводилось на свиноводческом комплексе мощностью 108 тыс. голов в год в системе единых очистных сооружений. Навоз удаляется из помещений гидросмывом; навозные стоки поступают на очистные сооружения (насосная станция с резервуаром), где барабанные сепараторы делят их на фракции.

Воздух загрязняют многочисленные газообразные соединения, в том числе зловонные, выделяемые животными и образующиеся при разложении навоза, мочи и остатков корма, а также пылемикробные аэрозоли. Загрязняющие вещества в атмосферу попадают из помещений для животных и мест хранения и транспортировки навоза. При гидравлическом удалении навоза на свиноводческих комплексах скапливается большой объем бесподстилочного навоза (стоки). На комплексе с 10 тыс. голов свиней таких стоков образуется в сутки до 600–700 м³. Канализационный сток проходит механическую и частично биологическую очистку с последующим хранением отдельных фракций, которые выделяют загрязняющие вещества в атмосферу.

Твердая фракция вывозится транспортом на места компостирования, смешивается с минеральными удобрениями (суперфосфат), буртуется и спустя определенное время, вывозится на сельскохозяйственные поля. Жидкие фракции перекачиваются в первичные отстойники, а затем в аэротенки с рототурбинами (первая ступень биологической очистки) с последующей перегонкой во вторичные отстойники. Канализационная насосная станция перегоняет стоки в аэротенки с фильтроносными трубами (вторая биологическая очистка), а затем во вторичные отстойники. Обработанные стоки сбрасываются в пруд-накопитель (площадь 27 га) и затем используются для полива трав. Активный ил и осадок, накопившиеся в чеках, вывозятся на поля (па-

стища). Общая площадь всех источников загрязнения атмосферы в системе очистных сооружений составляет 29 га.

Единоновременное поголовье свиней на комплексе составляет 106–108 тыс. голов с живой массой 7,0–7,1 тыс. т., что приводит к выходу навозных стоков 5500–6100 м³ за сутки. Загрязненность воздуха определяется на технологических этапах подготовки навозных стоков по следующим показателям: содержание аммиака и сероводорода, общее количество бактерий и бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Концентрацию аммиака и сероводорода определяют с помощью колориметрического метода с окрашиванием столбика индикаторного порошка в стеклянной трубке. Газы в воздухе определяют универсальным газовым анализатором УГ-2, а бактериальную загрязненность воздуха изучают с помощью прибора Кротова. Общее количество бактерий и БГКП в 1 м³ воздуха оценивают культивированием соответственно на МПА и среде Эндо.

При изучении состояния воздуха учитывается среднее содержание загрязняющих веществ в различных звеньях всего комплекса (навозные стоки, сбросы ила и т.д.). При отборе проб измеряется температура воздуха, скорость ветра (подвижность воздуха), относительная влажность, атмосферное давление. Пробы отбираются последовательно по основным звеньям источников загрязнения и изучаются в теплый и холодный периоды года. В прохладный период положительная температура наружного воздуха препятствует формированию ледяного покрова в приемниках осадка и ила, что способствует выбросу загрязняющих веществ в атмосферу.

Максимальные величины выбросов загрязнителей в атмосферу определяются в расчете на 1 м² площади сооружений (источник загрязнения среды свойственен пруду-накопителю). Максимальные показатели загрязняющих веществ получаются в расчете на 1 м³ исходного навоза (навозные фракции не выделены). На 1 м³ навоза (пруднакопитель) выделяется до 18 мг/с аммиака и до 45 мг/с сероводорода; по всей технологической цепи аммиака выделяется свыше 190 мг/с. Общее количество бактерий (КМС) по технологической схеме доходит до $3,1 \times 10^4$ на 1 м³, а БГКП – около 18 мг/с в теплый период. В холодный период выделение по всей цепи на 1 м³ навоза составляет 51 мг/с аммиака и 67 мг/с сероводорода; бактерий – $8,3 \times 10^3$ и БГКП – 43 мг/с (Баранников, 1992).

В заключение можно отметить, что оценку состояния окружающей среды можно проводить как прямым определением содержания отдельных загрязнителей в её различных составляющих, так и косвенно через определение общих выбросов с различных предприятий, зная особенности их миграции с учетом региональной розы ветров.

4. Управления оценкой состояния среды. Информационные системы мониторинга состояния окружающей среды являются составной частью системы её управления, целью которой будет определение оптимальных взаимоотношений человека и природы, что при создании комплексной динамической математической модели конкретных ландшафтов, может составить основу решения проблемы в целом. Сложная динамическая модель ландшафтной системы представляет собой комплекс простых моделей (минимальных), описывающих отдельные взаимосвязи в ландшафтной системе или происходящие в ней процессы и явления.

Структуру модели, начальные значения основных её параметров, коэффициенты отдельных функций, описывающих моделируемые процессы, можно установить с достаточно высокой точностью на основе знаний из предметной области. В то же время оценку фоновое состояния окружающей среды можно провести через разветвленную международную сеть сбора, анализа и обработки сведений о реальном состоянии биосферы. Наиболее организованной сегодня является система сбора метеорологической информации об осадках, температуре, радиации, влажности и т.д. Сложные природные процессы характеризуются достаточно высоким уровнем их изученности и накопления знаний об их составе и связях с окружающими их формами, определяющими направления дальнейшей эволюции организмов и систем в целом.

В связи со сложностью устройства ландшафтной системы нет смысла стремиться к созданию "абсолютно точной" модели. Уровень модели находится в соответствии со степенью точности начальных данных и уровнем разработки компьютерных программ и вычислительной техники (скорость вычислений, объем оперативной памяти, эффективность обработки и анализа полученных результатов и т.д.). Все это определяет стремление исследователя использовать на практике как можно более простую, отвечающую требованиям модель. Выбор её определяется возможностью её интерпретации. Реализация

имитационной модели осуществляется с помощью компьютерных экспериментов, на основе которых ведется изучение реакции модели на вариации исходных данных и изучается влияние неопределенностей на результаты моделирования. На языке математики это означает, что разрабатываемая модель должна обладать устойчивостью к различным возмущениям начальных сведений (малые вариации начальных данных ведут к малым изменениям результатов вычислений).

К сожалению, многие природные процессы не удовлетворяют принципу корректности, так как малые изменения пограничных условий весьма заметно влияют на происходящие в системе процессы, что свойственно, прежде всего, большим системам, к которым, безусловно, следует отнести и систему человек-биосфера. Большие системы, как правило, всегда некорректны, их поведение характеризуется турбулентными движениями, развитие которых предсказать заранее весьма проблематично. Подтверждением этому могут служить неустойчивые атмосферные процессы, что, собственно, и объясняет сложность моделирования прогноза погоды. При внимательном изучении биосферы нетрудно прийти к мысли, что эта система в своем поведении весьма хаотична. Хотя реально нет возможности рассчитать поведение моделируемых в биосфере процессов, но достаточно четко просматривается возможность предсказания усредненных характеристик с достаточно высокой точностью для тех или иных природных явлений.

Глава 3. Информационное обеспечение экологического мониторинга

1. Основы обеспечения организации мониторинга. Разработка и выполнение Программы экологического мониторинга имеет большое практическое значение, поскольку является основой для решения природоохранных проблем, особенно на локальном и региональном уровнях. Решение об организации мониторинга должно основываться на анализе реальных материалов экологической информации и их объективной оценке, что будет способствовать переходу к управлению природоохранными процессами конкретных территорий. Без такого подхода практически не реален переход страны или региона к модели устойчивого динамического развития.

Сохранению биосферы в общем, и конкретных ландшафтных систем в частности, в значительной степени будет благоприятствовать переход в оценке экологической ситуации на электронную, а в будущем и на фотонную систему информирования общества. Потери в отдельных областях экологии (особенно в реальной оценке антропогенного загрязнения окружающей среды) в силу отсутствия современных средств информации значительно превышают затраты на организацию всего комплекса информатизации, что было установлено еще в процессе разработки концепции последней.

При организации информационного обеспечения мониторинга следует особо выделить 3 основных блока сведений: 1) блок статистических материалов, 2) блок картографирования и 3) блок сбора информации экспедициями на стационарных опорных площадках и в лабораториях. Все вместе они создают документальную основу мониторинга и материальную увязку Программы мониторинга с блоком сбора и обработки информации, а также с выработкой моделей, прогноза и управления биологическим блоком системы. Иными словами, основой разносторонней оценки технологических процессов и природопреоб-

разующих воздействий человека является широкая информация о состоянии окружающей среды, включая справочные и картографические данные, а также сведения полевых наблюдений и результаты анализов лабораторных исследований и последующей их статистической обработки.

1. Первый информационный блок. Изучение состояния окружающей среды включает хорошо известные статистические данные, характеризующие природно-климатический комплекс определенного региона. Большое значение в этом блоке имеют документальные показатели осадков, температуры, света, почв и т.д. Сведения по осадкам включают средние данные за многие годы и последние 10 лет, минимальные и максимальные величины, их распределение по месяцам и сезонам; по температуре – среднесезонные, минимальные и максимальные, продолжительность морозного и безморозного периодов, суточные и сезонные колебания; по свету – продолжительность светового дня, интенсивность освещения; по почвам – содержание гумуса, рН, минеральный, физический и валовый составы, аэрация, состав экологических групп микроорганизмов, а также макро- и мезофауны и растительность. Климатические данные можно найти в отчетах метеостанций, размещенных достаточно равномерно по всей территории бывшего Союза. Кроме того, их можно позаимствовать из справочников и различных научных публикаций.

Гидрологические материалы, включая запасы воды и другие показатели, характеризующие водный режим района, можно получить в соответствующем Комитете Министерства (департамента) сельского хозяйства, водных ресурсов, Министерства геологии, экологии, а также выбрать из соответствующих научных публикаций.

Характеристика почв (геоморфологический и валовый состав и особенно плодородие) анализируется достаточно широко в научных публикациях, а также в сводках научных учреждений, отчетах различных экспедиций и т.д.

Очень важны сведения, касающиеся продуктивности сельскохозяйственных культур, лугов, пастбищ, лесов и других угодий, а также поголовья скота, его продуктивности и вообще по состоянию развития отрасли животноводства. Такие данные можно найти в сводках Министерства сельского хозяйства, в отдельных хозяйствах, научных региональных центрах, а также в научных публикациях по различным регионам.

Весьма важным источником информации является обмен мнениями в беседах со специалистами, работающими длительный период в определенных хозяйствах, районах и научных центрах и накопившими богатый опыт рационального использования природных ресурсов.

2. *Второй информационный блок.* При организации и внедрении мониторинга большое значение (прежде всего практическое) имеют картографические материалы по отдельным полигонам, предопределяющие многоцелевые направления мониторинга по его составу, характеристике рельефа, растительности, почвенных разностей и т.д. Картографический блок сбора информации благоприятствует системному отслеживанию состояния биотических и климатических факторов и их представлению в форме базовых и оперативных карт; этот блок информационного обеспечения мониторинга разделяется на следующие формы картографирования: базовую, оперативную, прогностическую и оценочную. Остановимся на анализе блока картографирования как важнейшей составной части всей системы информационного обеспечения мониторинга.

Базовая форма информации включает картографические сведения о природных условиях и хозяйственном использовании территории, на которой предполагается обустройство полигонов мониторинга, а также данные о конкретных объектах, по которым предполагается организовать исследования.

Оперативная форма картографической информации, основная цель которой заключается в представлении на картах текущих данных, используемых для прогноза и контроля, включает оперативные сведения о наблюдаемом объекте и объединяет данные гидрометеослужбы и результатов многолетних наблюдений на полигонах мониторинга.

Прогностическая информация, задачей которой является представление рекомендательных вариантов, включает карты оценки состояния наблюдаемых объектов и прогноза на основе полученных материалов возможного направления их развития во времени и пространстве, что обеспечивает дополнительную информацию для принятия оптимальных решений. Прогностические карты включают также сведения о распределении температуры, влажности, направлении и скорости ветра по отдельным полигонам в различные сезоны года.

Оценочная форма картографических сведений позволяет определить изменения в природных или агроландшафтных системах под

влиянием хозяйственной деятельности человека, а также включает целесообразные мероприятия по использованию природных ресурсов и снижению отрицательных реакций на них окружающей среды в целом.

Различные формы картографической информации обеспечивают систему мониторинга конкретными сведениями и способствуют принятию более объективных решений в оздоровлении природы. В плане современных подходов к организации баз картографических материалов по отдельным полигонам и по всей системе мониторинга на уровне экологического региона внедряются автоматизированные методы картографирования с использованием таких технических средств, как компьютерные программы, сканеры, цифровые трехмерные карты и т.д. Сначала карта сканируется, затем обрабатывается специальной программой для перевода в цифровой векторный формат с последующим выводом при необходимости на плоттер.

При построении карт четко выдерживается выбранный масштаб. Например, при организации системы мониторинга Краснодара нами создавались оперативные карты по контролю состояния среды с масштабом 1:25000 (базовая модель). Такой масштаб позволяет разместить на карте информацию по административным районам города, гидрографии, топографии, размещению улиц, кварталов, дорог, расположению точек гидрометеослужбы, станций, которые отслеживают загрязнение атмосферного воздуха, и расположение основных предприятий, определяющих загрязняющий фон города.

В плане детализации информации создаются также серии гидрологических и метеорологических карт, а также карты по размещению и концентрации бытовых и промышленных отходов и стоков, по температуре, загрязнению воздуха и воды по различным показателям по всей площади изучаемого полигона и т.д. В целом можно констатировать, что в случае целесообразности создаются самые различные типы и формы карт, которые смогут способствовать объективности отражения анализа экологической ситуации того или иного объекта.

3. Третий информационный блок. Включает сбор данных полевых наблюдений на стационарах, а также результаты исследований в процессе проведения конкретного мониторинга, определяющего антропогенное воздействие на окружающую среду. Представляет собой систему всестороннего наблюдения, контроля и анализа реального состояния окружающей среды, а также прогнозирования возможных вариантов изменения её основных характеристик, к которым следует

отнести физические, химические и биологические показатели природных комплексов. Главные параметры изменения свойств основных составляющих систем в процессе экологического мониторинга размещаются по определенной схеме его пространственно-временной структуры. Последняя зависит от массы загрязнителей, характера их распространения, удаленности от жилых и промышленных районов, водных систем и т.д.

2. Сбор и обработка информации. Функционирование системы мониторинга и её отдельных составляющих, а также обобщение полученных результатов, их обработку, а также корректировку Программы исследований (экологический проект) на последующий период осуществляет экологическая экспедиция, выполняющая своевременно в соответствии с планом все виды годичных работ (рис. 1). В системе мониторинга важное место занимают блоки сбора и подачи информации, её обработка и хранение, моделирование и перспективный прогноз, а также предложения Программы управления экологическими процессами на изучаемой территории, что в комплексе регулируется экологической экспедицией через организацию контроля изменений основных составляющих ландшафтов при их взаимодействии и периодический сбор информации.

Все приведенные выше формы информации безусловно важны, но они не могут заменить или подменить ту систему сведений, которую призван дать многолетний Мониторинг состояния биотических и абиотических характеристик изучаемых объектов. Блок сбора и передачи информации (экспедиций или отдельных групп) выполняет сбор сведений на стационарных полигонах (кластерах) передвижными группами или экспедициями и осуществляет связь с вычислительной группой, а также ведет оперативную сортировку собранных сведений и их анализ.

Блок обработки и хранения информации включает различные базы данных и их первичный анализ. Блок прогностического моделирования включает базу моделей, характеризующих перемещение отдельных загрязнений при различных режимах метеорологических условий, разнообразии рельефа и т.д. и используемых при разработке прогнозов. Блок анализа материалов и разработки программ предназначен для аккумуляции сведений по контролю загрязнений и других нарушений ландшафтных систем, а также для выработки Про-

ектов и создания Программ по управлению природными процессами (особенно это касается биотического комплекса).

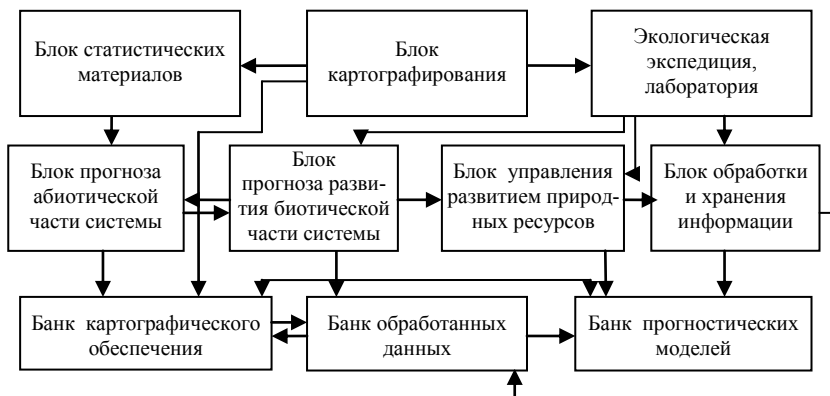


Рис. 1. Схема информационного обеспечения выполнения Программы экологического мониторинга.

По каждому крупному объекту в установленные сроки собираются сотни единиц информации об экологической ситуации и хранении многолетних наблюдений за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы, растительного и животного мира на магнитных лентах. Массивы сведений о выбросах в воздух и воду хранятся в соответствующих базах, где ведется их обработка, анализ и на их основе создается база региональных данных, представляющая собой совокупность хранимых оперативных материалов, используемых при разработке различных Программ, моделей и т.д. В соответствии со схемой сети наземных измерений создаются базы данных по картографии ландшафтов, отдельно по воздуху, водным системам, почвенному и растительному покрову, выбросам и сбросам и твердым отходам. Например, при сборе данных по составу воздуха получают качественную и количественную информацию о состоянии метеорологических и физических параметров. Такие сведения дают автоматические приборы, измеряющие выбросы и фоновые величины, а также метеорологические автоматические приборы и передвижные лаборатории. Все сведения вводятся в память, обрабатываются и используются для расче-

тов других параметров, необходимых для планирования и организации природоохранных мероприятий.

Сведения по водным, почвенным и растительным составляющим систем включают микро- и макроинформацию. Микроинформация содержит материалы по конкретной местности с различной степенью детализации, а макроинформация объединяет сведения в пределах административного региона (район, край и т.д.). Следует особо подчеркнуть, что информационное обеспечение мониторинга при всех видах его проведения осуществляют три блока сбора информации, её обработки и хранения: справочный, картографический, полевых наблюдений и результатов лабораторных анализов. Только их объективное сочетание позволяет получать качественный материал для управления мониторингом и разработкой разного уровня экологических Проектов, объективное выполнение которых способно обеспечить реальную стабилизацию ландшафтных систем и их динамическое развитие.

Глава 4. Организация экологического мониторинга

1. Цель организации мониторинга. Эффективность экологического мониторинга зависит от правильной его организации. Предварительное изучение ситуации и анализ возможных воздействий на ландшафты позволяет: 1) с помощью измерений установить основные источники загрязнений; 2) выделить основные формы давления (выбросы, сбросы, твердые отходы, трансграничные переносы) на ландшафтные природные, агро- и урбосистемы; 3) разработать четкую Программу мониторинга с выделением основной цели и определением важнейших задач для её выполнения (рис. 2).

На первом этапе организации мониторинга выделяются: 1) долгосрочная цель и 2) промежуточные задачи для её достижения. Поставленная цель должна быть конкретной, достижимой и подвергаемой проверке, что очень важно для контроля над выполнением Программы мониторинга и внесения в неё периодических (обычно ежегодных) корректив по мере накопления информации.

Основная цель мониторинга – это сбор объективной информации, которая бы не страдала какой-либо неопределенностью или явными недостатками. Мониторинг должен быть ориентирован на решение конкретных экологических проблем для улучшения жизнедеятельности населения конкретного района и прямо ориентирован на выработку определенных мер на основе полученной информации. Поэтому основная цель Программы мониторинга направлена на получение информации, связанной с конкретной проблемой и условиями конкретного региона. Такая информация обязательно доводится до сведения администраций предприятий и государственных органов с целью принятия ими мер, направленных на улучшение экологической ситуации. Под задачами экологического мониторинга понимаются конкретные действия или этапы на пути достижения поставленной цели, в рамках которой не выдвигаются задачи, не имеющие к ней прямого отношения.



Рис. 2. Общая схема системы мониторинга

Желание исследователя измерять всё, всегда и во всем является прямой дорогой в тупик, поэтому всегда в самом начале следует определить круг изучаемых вопросов. В большинстве случаев ограниченные ресурсы жестко диктуют необходимость сокращать Программу измерений, но всегда сохранять качество получаемого материала. На основе поставленной цели необходимо предварительно определить полигоны мониторинга и выделить изучаемые объекты, на которые оказывают влияние антропогенные и природные факторы. Например, если цель программы связана с изучением состояния реки Кубань, то выбор объекта может выглядеть как определение предприятия или конкретного стока, на котором будут сконцентрированы усилия по ведению мониторинга. Если проблему представляет состояние окружающей среды в загрязненном городском районе, то определение приоритетов следует начать с выбора компонента природной среды для последующего мониторинга – атмосферы, воды, почвы и т.д. В некоторых случаях выбор объекта ясно вытекает из поставленной проблемы.

На основе выдвинутой цели и поставленных задач выбираются объекты и полигоны мониторинга, а затем выделяются основные параметры оценки. Однако возможен и обратный порядок, особенно если заранее известно, что проблема связана с загрязнением системы определенным веществом (например, органическими соединениями, пестицидами, нитратами, ртутью и т.д.).

На первом этапе (до начала измерений) внимательно анализируется ситуация и выделяются приоритетные объекты и параметры, которые действительно необходимо исследовать. Например, нет необходимости постоянно определять содержание в воздухе, воде и почве веществ, которые не принадлежат к локальным или региональным приоритетным загрязняющим веществам антропогенного происхождения, а также продуктами их превращений в окружающей среде или природными процессами (например, связанным с аномалиями типа ртутных).

2. Предварительный анализ ситуации. Перед формированием долгосрочной программы мониторинга целесообразно провести рекогносцировочные (предварительные) исследования. На этом этапе важным является сбор всей уже имеющейся информации по интересующей проблеме и её анализ. Такие сведения следует использовать

эффективно, даже если в них и есть какие-то очевидные неточности. Одним из таких приемов выбора приоритетов является картирование источников воздействия и составление их предварительных характеристик по литературным сведениям и обобщение в дальнейшем собственных исследований. Например, по литературным данным такие загрязняющие производства, как животноводство, коммунальное хозяйство, транспорт, целлюлозно-бумажные предприятия и т.д., оказывают заметное влияние на показатели в воде коли-титра, БПК, растворимого кислорода, взвешенных веществ, цветности, жесткости, минерализации, рН, сульфатов, нитратов, тяжелых металлов, хлоридов и т.д. Отсутствие какой-либо связи между типом загрязнения и характером возможных его источников может служить признаком регионального переноса, специфических свойств подземного водного горизонта или наличия неустановленных источников загрязнений.

Для водных объектов удобно устанавливать маркерные характеристики, позволяющие составить представление об общем характере загрязнения, не осуществляя полной программы измерений. Непосредственно на месте могут быть определены характеристики воды, не требующие значительных затрат времени и сложной приборной базы. Объективность выделенных показателей для наблюдения и контроля оценивается с помощью картирования. Например, избыточное содержание общего фосфора и аммония служит одним из основных показателей во многих случаях бытового и сельскохозяйственного загрязнения природных систем. Важным показателем притока загрязняющего раствора является заметное повышение загрязнения поверхностных вод в связи со сбросом в них минерализованных, хотя и не требующих очистки вод, использованных в технологических процессах (например, в системе охлаждения, в рисовом хозяйстве и т.д.).

При изучении влияния загрязнения на состояние водных систем важным учетным показателем является температурный режим, варьирующий под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов (например, сброс в водные системы нагретых вод электростанций). Повышение температуры воды усиливает потребность зоопланктона в пище, понижает способность к воспроизводству рыб (и других организмов), снижает их активность, усиливает токсичность пестицидов, ускоряет накопление ртути, содержание растворенного в воде кислорода, ускоряет процесс эвтрофикации водоема и т.д.

Значительную роль в водных системах играют донные отложения, накапливающие тяжелые металлы и высокотоксичные органические вещества. Донные отложения способствуют, с одной стороны, самоочищению водной среды, но одновременно представляют собой заметный источник вторичного загрязнения водоема. Поэтому донные отложения являются перспективным объектом анализа, отражающим многолетнюю картину загрязнения.

Широкое развитие получил метод наблюдения уровня загрязнения природной среды на основе изучения атмосферных осадков (дождевых и снеговых), которые содержат присутствующие в воздухе растворенные примеси. Концентрацию примесей в осадках можно считать естественным показателем загрязнения атмосферы. В рекогносцировочных исследованиях большую роль выполняют качественные и количественные методы определения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Итогом предварительного анализа состояния ситуации является определение объектов мониторинга и оцениваемых показателей. Полученные в ходе подготовительного этапа сведения, включая рекогносцировочные исследования, анализ литературы и т.д., позволяют еще до проведения полномасштабных измерений составить обоснованную Программу мониторинга для первого года исследований, а также привлечь внимание к изучаемой проблеме предприятия-загрязнителя и государственные органы. Основательный предварительный анализ ситуации и грамотно составленная Программа мониторинга значительно повышают эффективность работы и позволяют современными методами и в короткие сроки выявлять наиболее острые проблемы загрязнения окружающей среды и снизить их негативное влияние на функционирование экосистем.

3. Выбор места для проведения наблюдений. При выборе пунктов описания кластеров и отбора проб для выполнения Мониторинга обычно придерживаются следующих критериев: а) площади наблюдений должны быть отмечены постоянными метками (квадратами, прямоугольниками и т.д.); б) выделенные участки должны соответствовать средним характеристикам земельных угодий хозяйства (по содержанию гумуса и рН, по минеральному составу, водно-физическим свойствам); в) участки должны быть легко локализованы при наблюдении в последующие годы; г) видовой состав сорняков в агроланд-

шафте должен быть представительным для основной территории. Пункты наблюдения следует размещать блоками (кластерами). По каждой почвенной группе необходимо закладывать 3–4 блока (кластера). Локализация мест Мониторинга наносится на карту-схему территории с указанием типа почвы, рельефа, удаленности от источника воды (река, пруд и др.), источника загрязнения (завод, ферма, стройка и др.) и т.д.

Выбранный участок до размещения блоков наблюдательных постов с разветвлениями трансект подвергается подробному разностороннему изучению и описанию. Исследование участка начинается с общего экологического картирования, включающего: 1) вычерчивание плана местности и 2) вычерчивание профиля местообитания с естественным или антропогенным сообществом в определенном географическом районе со свойственными ему растениями и животными при последующем изучении их видового и популяционного состава.

В результате экологического картирования устанавливаются различные связи (качественные и количественные), а также возможные взаимоотношения между популяциями растений и животных, изучаются климатические, почвенные и топографические факторы, влияющие на численность и динамику организмов в трофических цепях.

Основным задачам мониторинга и решения проблем защиты окружающей среды отвечает водосборный бассейн, который удобен для организации комплексного исследования и имеет при этом ряд преимуществ перед другими территориями: 1) сходное строение всех бассейнов, 2) однонаправленность потоков веществ и энергии, 3) определенность границ (это существенно облегчает расчеты баланса вещества и энергии), построение моделей для анализа и прогноза динамики среды, возможность реализации мер по сохранению равновесия между природным потенциалом территории и реальной хозяйственной деятельностью человека. Иными словами, водосборный бассейн как экологический регион, в пределах которого существуют природные и антропогенные ландшафты, является весьма удобной пространственной единицей мониторинга.

Важными элементами организации мониторинга являются: 1) размещение сети наблюдательных полигонов на территории края, 2) организация лаборатории оперативного контроля качества среды, 3) организация иерархической системы сбора, хранения, передачи, обра-

ботки и обобщения информации на региональном уровне. Основу мониторинга составляют фенологические, биологические, физические и химические наблюдения и измерения. Особый интерес представляют модельные системы: популяции, экосистемы (например, биосферный заповедник). При осуществлении их мониторинга такие исследования позволяют получать интегральные показатели: сбалансированность биологической продуктивности (отношение первичной продукции ко вторичной), скорость образования биологической продукции (отношение продуктивности к общей биомассе), интенсивность круговорота биогенов и т.д.

Многие требования системного мониторинга на практике не всегда выполняются, и о влиянии каких-либо воздействий на систему судят по величинам радиационного или химического загрязнения территории, численности и смертности организмов и т.д. Не всегда достигается цель мониторинга даже при выполнении всей программы. В экологии главным всегда являются не единичные взаимосвязи, а отношения между целостностями: между различными популяциями, между организмом и средой, между популяцией и средой и т.д.

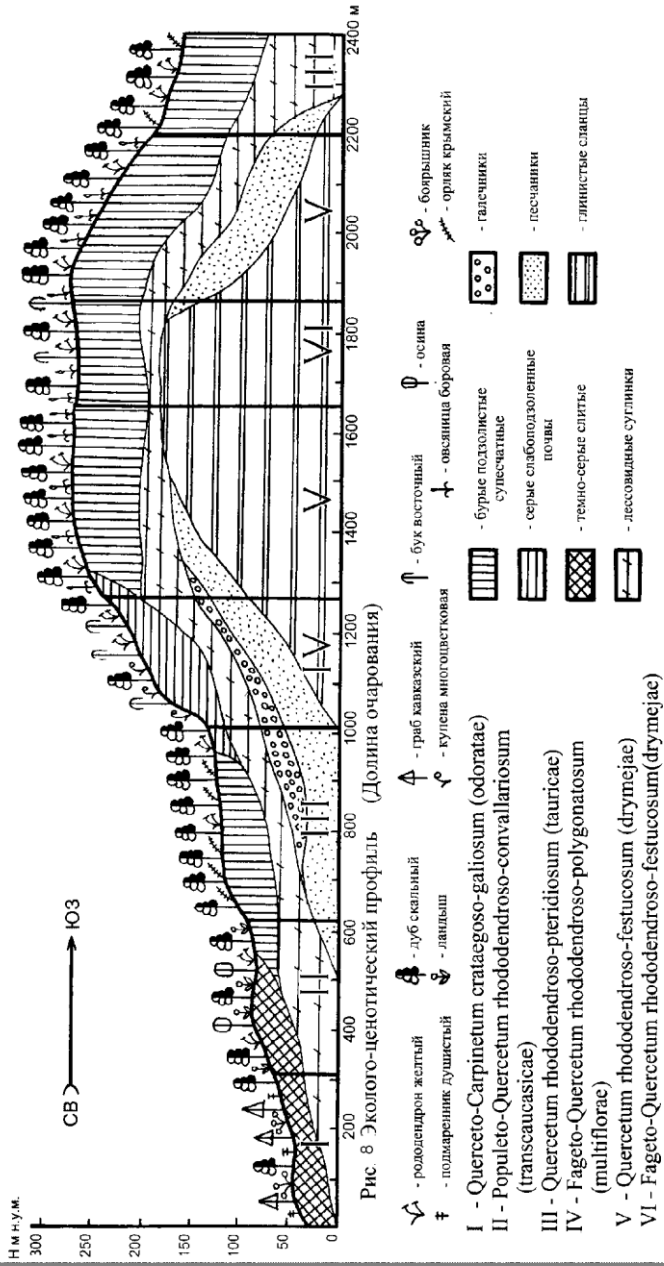
Фоновый экологический мониторинг немыслим без организации постоянно действующей и жестко фиксированной на местности сети опорных полигонов и постов наблюдений, на которых организуется стандартный блок комплексных исследований по определенной программе с целью установления влияния загрязнений и других антропогенных нарушений на экосистемы, состояние растений и животных, и выделения территорий, где антропогенное воздействие превышает способность систем сопротивляться. Одним из подходов сотрудников кафедры общей биологии и экологии КубГАУ при организации мониторинга в различных районах края является размещение сети комплексных полигонов, выделенных по эколого-географическому принципу. При выборе полигонов полевых наблюдений мы исходим из их репрезентативности, минимального их числа и экономии сил. В течение 1996-2010 гг. кафедрой организованы полигоны в Белореченском, Темрюкском, Приморско-Ахтарском, Прикубанском (г. Краснодар) и Ленинградском районах, представляющих различные природно-климатические и ландшафтные системы. Выбранные полигоны представляют тот минимум, который должен обеспечить достоверную информацию о происходящих изменениях в степной зоне края. Для каж-

дого полигона собраны сведения о силе ветра, его направлении, температуре и влажности воздуха, радиационном балансе, осадках (включая сухие и влажные выпадения); для химического анализа отбираются почвенные, водные пробы и образцы растений и животных. На каждом полигоне проложены эколого-ценотические профили (рис. 3) для изучения растительных ассоциаций в высотном направлении или ленточные трансекты через зону экологической концентрации (рис. 4) с установлением высоты всех точек, где осуществляется сбор образцов почв, растений и животных. Для изучения динамики систем обследование полигонов планируется проводить 3 раза в год по сезонам: весной, летом и осенью.

По каждому полигону планируется разработать экологический Проект, направленный на стабилизацию ситуации, разумное использование природных ресурсов с последующей (ежегодной) его корректировкой на основе постоянных мониторинговых наблюдений. Особенности организации мониторинга, его ведение, анализ получаемых данных и другие характеристики, учитывая их важность и высокий научный потенциал, обусловлены специфичностью каждого полигона. Обязательными элементами мониторинга являются:

- таксономический состав растений, животных, а также экологических групп микроорганизмов;
- накопление тяжелых металлов и других токсических веществ в почве, воде, растениях и животных;
- содержание органического вещества в почвах;
- продуктивность и энергоемкость экосистем.

В качестве интегральных параметров экологического мониторинга в Программу включаются: структура земельных угодий (площади под лесом, пашней, лугом, болотом и т.д.), площади неаномалий (современных нарушений) почвенно-растительного покрова (вырубки, гари, буреломы, ветровалы, усохшие древостои, эродированные, заболоченные, засоленные почвы, карьеры, свалки, оползни, осыпи, эвтрофированные водоемы и т.д.), видовой состав, плотность фауны крупных позвоночных, а на уровне сообщества определяется вертикальная и горизонтальная структуры, биопродуктивность и соотношение трófических групп организмов.



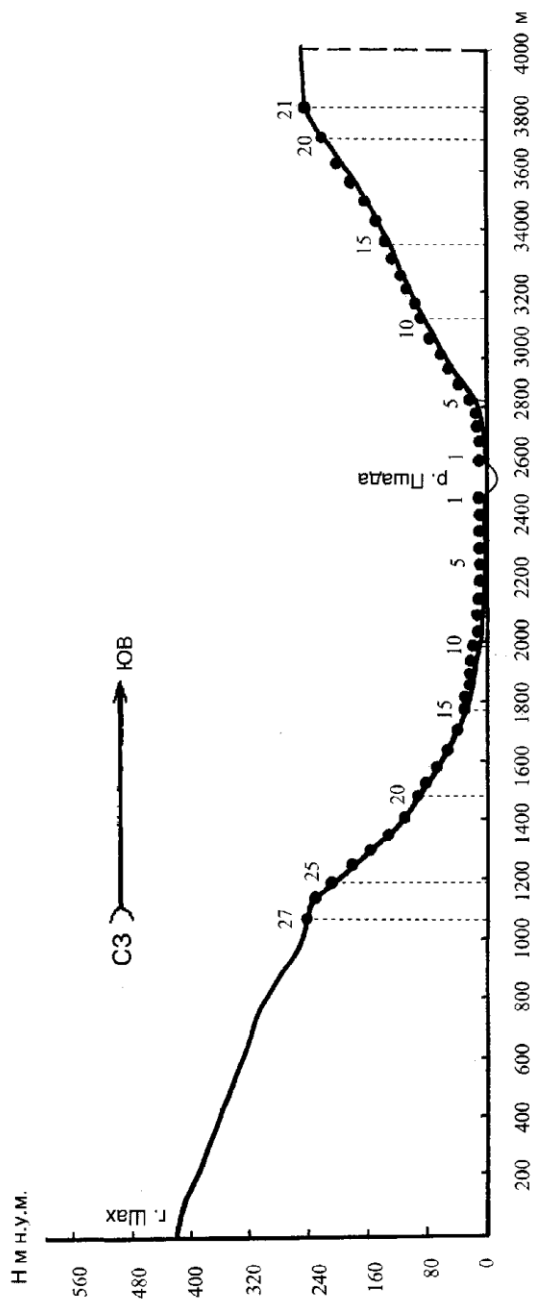


Рис. 9. .Ленточная трансекта через зону экологической концентрации.

● - место отбора проб и проведения наблюдений

4. Закладка постов наблюдения. После выделения мест для выполнения исследований и выбора основных показателей для наблюдений проводится оценка числа и размещения пунктов или участков мониторинга, отбора проб и временной режим их выполнения. Например, при необходимости проверить загрязнение реки сточными водами определяются точки отбора проб ниже и выше по течению от места их сброса, а отбор проб производится по установленным методикам.

Определение атмосферного загрязнения касается уровня загрязнения по городу в целом на основе обобщения данных стационарных и маршрутных постов наблюдений. Заметный вклад в загрязнение воздуха города может вносить конкретное предприятие, и потому необходимо концентрировать внимание на отслеживании ситуации именно на таких локальных производствах. Существенной частью работы по оценке атмосферного загрязнения является установление направления движения воздушных масс, определяемое визуально, а также выделение участков отбора проб. При организации сети наблюдений за уровнем загрязнения воздуха в городе необходимо учитывать, что некоторые низко расположенные и мелкие источники (автотранспорт, трубы жилых домов, мелкие котельные, пекарни и т.д.) могут влиять на загрязнение какой-то части территории весьма существенно.

При планировании мониторинга выбросов или сбросов определенными источниками необходимо учитывать не только количество выбросов, но и их динамику во времени, что особенно важно при мониторинге загрязнения атмосферного воздуха, в котором концентрации загрязняющих веществ могут меняться очень быстро с изменением силы ветра и его направления.

После определения мест наблюдений и пробоотбора работа переходит в фазу проведения измерений и наблюдений, включая полевые исследования, проводимые на месте, пробоотбор, обработку и консервирование проб и их доставку в лаборатории, а затем уже лабораторные измерения концентраций загрязняющих веществ. Лабораторные анализы и полевые измерения должны проводиться со ссылкой на используемые гостированные методики. Контроль качества данных осуществляется с применением статистических методов, выполнением анализа шифрованных проб и т.д.

В процессе мониторинга, как правило, реализуется механизм обратной связи, позволяющий корректировать программу этого процесса и устранять его слабые места. С учетом конкретных методов, оборудования и анализа результатов первого этапа мониторинга пересматриваются учетные показатели. По истечении определенного времени на основе накопленного материала проводится повторная оценка программы и её соответствие основной цели. Обязательным условием эффективной работы механизма обратной связи является контроль качества получаемых данных и их грамотный анализ. Большое внимание уделяется способам обработки и хранения первичной информации, а также написанию годового отчета.

5. Оборудование и методы анализа. Подбор методов и средств измерений характерных показателей источников загрязнения и факторов окружающей среды определяется содержанием наиболее опасных веществ. Не всегда привлекаются инструментальные методы для предварительной оценки загрязняющих веществ, поскольку существуют достаточно простые и информативные способы, не требующие очень сложного оборудования и высокой профессиональной подготовки (визуальные методы, некоторые способы биоиндикации и т.п.).

Для решения ряда поставленных задач требуются инструментальные методы, а их выбор определяется пригодностью методики, доступностью необходимого оборудования, стоимостью анализа, чувствительностью и продолжительностью измерений, отбора и подготовки проб, степенью реагирования на внешние факторы. Применяемые средства и методы должны быть аттестованы и введены в действие нормативными документами: утверждены и допущены к применению Госстандартом РФ или соответствующими министерствами и ведомствами, допустимо применение методик Госсанэпидемслужбы и Госгидромета. Для проведения лабораторных исследований качества питьевой воды допускаются метрологические методики, соответствующие требованиям ГОСТа, значения погрешности которых не превышают норм погрешности ГОСТа последнего года; допускается применение методик, утвержденных Госстандартом или Госсанэпидемслужбой России.

Использование ведомственных методик возможно в случае их пригодности для технологического контроля в таких областях, как химическая, пищевая промышленность или в оценке качества при-

родной среды. Выполнение аналитических измерений с использованием неаттестованных методик не допускается, поскольку это ставит под сомнение получаемые таким образом результаты. Если принимается решение обратиться за помощью для выполнения аналитических измерений в специализированную лабораторию, снискавшую заслуженное доверие, следует учитывать применяемые ею оборудование и методы анализа различных проб. Используемые приборы должны отличаться высокой точностью и чувствительностью фиксирования в пробе определенных веществ. Высокая точность измерений соответствует малым составляющим погрешностей всех видов (как случайных, так и систематических). *Погрешность измерения* указывает на отклонение найденного значения величины от ее истинного значения.

При измерении концентраций, близких к пределу обнаружения метода, получают очень большие погрешности определения, которые быстро увеличиваются с приближением концентрации к этому пределу. Если концентрация вещества примерно на порядок выше данного предела, то погрешность уже мало зависит от концентрации вещества. Иными словами, подбираемые методы, предел обнаружения которых существенно превышает измеряемые концентрации, должны работать при содержании определяемого компонента на уровне предельно допустимого насыщения.

Большое значение имеют многокомпонентные методы, позволяющие определять сразу большое число компонентов (хроматография, атомно-эмиссионный и спектральный анализы и т.д.). Предпочтение отдается методам прямого анализа, не связанного с химической подготовкой пробы. Концентрирование исследуемого вещества дает возможность оценивать низкие его концентрации и устранять трудности, вызванные с негомогенным распределением этого вещества в пробе. Всегда очень важно избегать потерь на подготовительном этапе и поэтому отдается предпочтение методикам, требующим минимального количества фильтрований, экстрагирования, отгонки, переноса из сосуда в сосуд и т.д.

Сложность состава природных сред обуславливает ошибки при определении доли конкретного вещества в сложных растворах. Многие стандартные методики сопровождаются анализом таких проблем и вариантами их устранения. Нередко с целью сокращения дорогостоящих анализов в лабораториях используются рекогносци-

ровочные исследования, для которых имеется целый ряд простых приборов. Например, определение рН и присутствие нитратов, хлоридов и ряда других ионов можно вести на рН-метре и ионометре; определение минерализации воды и локализация источников сбросов различных электролитов (например, кислот, щелочей и т.д.) можно вести на приборах для измерения сопротивления водных растворов и т.д.

Определение многих параметров состава воды, почвы, воздуха, биологических тканей основано на проведении цветных реакций и их оценка ведется на фотоэлектроколориметрах; оценка вредных примесей (включая и органические) в атмосферном воздухе и воде можно осуществлять газоанализаторами (УГ-2, "Пчелка") или газовыми хроматографами. Для более точных измерений, особенно при оценке содержания весьма токсичных соединений, определение веществ ведется аккредитованной лабораторией. Иными словами, организация аналитических измерений требует привлечения дорогостоящего и сложного оборудования и подготовки высококвалифицированных специалистов – химиков-аналитиков. Тем не менее, исследования, присущие этапу поиска источников и основных загрязнителей можно проводить и при минимуме средств измерений, которые могут обеспечить получение надежной информации о состоянии окружающей среды и об источниках загрязнения. Для получения таких сведений необходимо также использовать материалы государственных организаций (институтов, лабораторий, отделений МЧС и т.д.) и, безусловно, собственные визуальные наблюдения, фото- и видеосъемку, сообщения населения и другие сведения.

6. Отбор и подготовка проб. Ответственный этап в организации экологического мониторинга представляет собой отбор проб и их подготовка к анализу. Проба должна отражать реальное содержание определяемых в окружающей среде веществ. Большое значение имеет непосредственно выбранный объект исследования. Например, состав воздуха, как наиболее подвижная среда, постоянно меняется при невысокой концентрации примесей. В связи с этим при пробоотборе необходимо прокачивать через поглотители большие объемы воздуха. При изучении водных систем важное внимание уделяется донным отложениям, которые накапливают многие загрязняющие вещества и отражают долговременный период загрязнения. Кроме того, с целью уменьшения случайных погрешно-

стей необходимо проводить ряд параллельных определений, что также влияет на объем отбираемой пробы.

При взятии проб необходимо принимать соответствующие меры предосторожности к их хранению, чтобы не усилить загрязнение. Небрежное отношение к хранению проб может привести к изменению их состава в силу термического разложения, химических или микробиологических процессов и т.д. Так, если измерения проводятся вблизи дороги или рядом с заводом, то попадание в пробу пыли из воздуха может служить источником серьезного загрязнения и ошибок при определении тяжелых металлов, которые содержатся во взвешенных частицах выбросов промышленных предприятий и транспорта. В качестве примера можно привести также загрязнение воздуха лаборатории парами ртути, которая содержится в измерительных приборах, лампах и т.п., что также может вызвать завышение содержания этого элемента в пробе. Все это необходимо иметь в виду при определении следовых количеств загрязнителей.

В некоторых случаях пробы необходимо *консервировать*, чтобы можно было проводить анализы в лаборатории в определенное время. Технология консервации проб воды и других объектов описана в соответствующих руководствах. Необходимо подчеркнуть, что требования к консервированию проб следует четко выполнять.

Подготовка пробы представляет собой первую ступень аналитической фазы. Целью подготовки пробы является перевод определяемого компонента и пробы в пригодную для анализа выбранным методом форму, удаление мешающих веществ или их маскировку и т.д. В некоторых случаях требуется изменение концентрации (разбавление или, наоборот, увеличение количества загрязнителя) с целью доведения определяемого компонента ближе к середине диапазона чувствительности используемого метода анализа. Помехи от неизвестных факторов должны быть полностью исключены.

7. Ведение документации. Документация полученных материалов является важной составляющей выполнения Программы экологического мониторинга. Документация строго ведется на всех этапах работы - от отбора проб до разработки прогностической модели. Этому виду работ всегда уделяется особое внимание. Отбор проб оформляется протоколом, подписываемым всеми его участниками. Протокол включает все детали (условия отбора проб, схема размещения точек отбора проб, время отбора проб, способ отбора и

т.д.), которые будут необходимы при анализе полученных материалов. Протокол отбора проб составляется непосредственно в период проведения полевой работы.

Результаты лабораторных исследований заносятся в лабораторный журнал. Все первичные данные (протоколы, рабочие журналы и другие документы) хранятся в течение всего периода мониторинга по данному полигону. Полученный цифровой материал, отражающий реальное состояние изучаемого объекта в момент проведения исследований, представляется в форме таблиц (табл. 1), в которые включаются все полученные данные, их средние величины и отклонения от них, а также другие материалы (графики, схемы, карты), необходимые для объективного анализа экологического состояния конкретного полигона.

Таблица 1. Результаты анализов окружающей среды в условиях поселкового микроландшафта, 20.04.1998 г.

Среда, вещество	Метод анализа, прибор	Единица измерения	Среднее значение по полигону	ПДК	Фоновый показатель
Вода, NH ₄	КФК-2	мг/л	2,7	2,0	0,8
Воздух, CO	УГ-2	мг/м ³	2,1	3,0	2,7
Почва, Cd	Атомный абсорбер	мг/кг	0,01	0,1	0,05

Правильно оформленные таблицы результатов исследований так же важны как и протоколы отбора проб, описание источников загрязнения окружающей среды. Составляемые таблицы могут содержать как собственно цифровой материал, так и сведения, которые могут быть использованы для выполнения анализа и обобщения полученных результатов и являются основой любого заключения о реальной экологической ситуации объекта, касающейся качества воздуха, воды, почвы или всех компонентов экосистемы.

8. Анализ и обобщение результатов исследований. Профессиональный анализ полученных материалов в значительной мере определяет перспективу их использования для принятия экологически важных решений (например, отказ от какого-то вида водопотребления или водопользования, пересмотр используемой технологии в сельском хозяйстве, корректировка границы санитарно-защитной зоны предприятия, водной системы и т.д.).

Нередко под анализом полученных данных понимают их сравнение в количественных показателях с соответствующими значениями ПДК или другими нормативными характеристиками. Такой подход по сути дела выдает повторно несколько измененный вариант цифрового материала, не дающий никакой дополнительной информации. Поэтому такой вариант анализа в лучшем случае может служить лишь первым этапом обобщения.

Систему обобщения полученных данных можно представить как их анализ, целью которого является получение возможно большего объема сведений, имеющих косвенное или непосредственное отношение к происходящим в окружающей среде процессам. Анализ новых данных должен быть направлен на объяснение ряда неразрешенных вопросов, что будет способствовать реализации следующего этапа исследований. Например, прежде всего, следует объяснить получение именно таких результатов, раскрывающих причины изученных явлений и т.д.

Первостепенное значение имеет установление источника загрязнения (естественный или антропогенный, постоянный или временный, точечный или обширный и т.д.). Немаловажную роль играют сведения о технологических процессах на производстве, оказывающих загрязняющее воздействие на окружающую среду, продолжительность и мощность их давления на конкретные системы и т.д. Не менее важным элементом обобщения является заключение об уровне соответствия полученных и ожидаемых данных.

Бесспорно, что завершением анализа полученных материалов является заключение о последствиях происходящих процессов, касающихся, прежде всего, здоровья населения, состояния и развития отдельных экосистем и т.д. В этом плане следует не только сделать попытку предсказать теоретически уровень воздействия загрязнителя на окружающую среду, но и в целом того производства, которое является его источником. Именно ответами на поставленные вопросы специалисты должны завершать анализ полученных результатов.

В процессе анализа полученных результатов возникает ряд трудностей. Так, одной из важнейших проблем экологического мониторинга является ступенчатость системы анализа полученных материалов. Как правило, экспедиционные группы, собирающие первичный материал, сами его не анализируют, а передают первичные сведения в группу обобщения, где эти данные заносятся в сводные

таблицы, что даёт возможность посмотреть на проблему существенно шире и объемнее. В связи с этим в большинстве случаев специфика локальных данных практически исчезает, смешиваясь с массой сведений из других полигонов, и это приводит к потере ценных деталей, отмеченных на конкретных участках.

Обычно исследовательские коллективы, изучающие состояние окружающей среды, очень редко ведут обобщение по отдельным полигонам, что вызывает потерю специфики конкретной экосистемы. Многие годы данные накапливаются, и лишь спустя ряд лет, начинается их анализ. Если в начальный момент был допущен какой-то недочет в планировании исследований, то ситуация становится необратимой, поскольку полученные материалы невозможно обобщить. Существует единственный способ избежать таких ошибок – это обобщать и анализировать полученные материалы параллельно с получением их несложными сравнительными методами.

Таким образом, полученные данные периодически обобщаются и анализируются. В качестве примера приведем результаты обобщения данных, полученных в первый год мониторинга травянистой растительности естественного участка пастбища, в составе которого присутствуют деревья, кустарники, многолетние и однолетние травы. Проективное покрытие нижнего горизонта в полевых условиях подвергается воздействию осадков и перемещения техники и людей, и его сезонное изменение проявляется весьма отчетливо.

Оценка данных проективного покрытия на пастбище лимитируется определением продолжительности фенологических фаз отдельных спектров, что указывает на варьирование числа основных видов растений, на их долю в общем урожае (однолетние и многолетние; высокое и низкое кормовое качество видов; доля разнотравья и т.д.), на долю пустых участков в различные сезоны. Как пример видового состава растений пастбища можно представить данные, показывающие, что разнотравье (различия между низкорослыми и среднерослыми) составляет незначительную долю проективного покрытия в центре участка; общее проективное покрытие участка не опускается ниже 60%.

Установлена разница ($P < 0,01$) по сезонам года, коэффициент вариации внутри участков был невысокий – всего 9,6%. Проективное покрытие на фоне показателей общего количества и состава ви-

дов используется как индикатор, и данные таких наблюдений применяются для оценки и градации условий состояния травостоя отметкой в журнале (табл. 2).

Таблица 2. Соотношение хозяйственных групп растений в урожае пастбища по сезонам года, %

Хозяйственная группа	Значения	Апрель	Июнь	Октябрь
Злаки	среднее	44	27	32
	вариация	10,2	19,3	14,5
Бобовые	среднее	12	27,7	8
	вариация	23,5	31	25,4
Разнотравье	среднее	14	31	23
	вариация	17,4	9,4	10,2

Сравнение проективного покрытия, определенного точечным методом по сезонам, показывает незначительный эффект в зависимости от размещения трансект на участке. Чрезвычайно низкое базальное покрытие (%) отмечено в точках на эродированных почвах. Среднее базальное покрытие для всех мест и всех сезонов составило 1,18%, из которых 0,02 – приходилось на однолетники. Число точек концентрации видов в отдельных пунктах отмечается в процессе изучения нижнего горизонта. Особое внимание обращается на присутствие видов в каждом месте, увеличение или уменьшение плотности, частоты встречаемости, долю однолетних и т.д.

Увеличение или уменьшение числа видов можно установить только в течение длительного времени и дополнительных наблюдений в точках, исследуемых ежегодно, по крайней мере, в первые несколько лет, и построением базовой линии, связанной с моделью осадков. Некоторые виды известны как высокопитательные по перевариваемости и содержанию протеина. По ценности корма надземная масса злаков оценивается как высококачественная, среднего и низкого качества. Дополнительным индикатором ценности пастбищ является доля малоценных однолетников, присутствующих вместо многолетников. Большая доля однолетников – результат перевыпаса, вызывающего оголение отдельных участков земли с

поздним вторжением однолетников, когда наступают благоприятные условия для всходов их семян.

Состав кустарников и низкорослых деревьев определяется их числом на 1 га и может быть связан с базальным покрытием травянистых видов на каждом участке. Коэффициент корреляции $k (-0,44)$ и регрессия показывают, что на каждые 72 дополнительных дерева или кустарника/га проективное (базальное) покрытие трав снижается на 1% в абсолютных величинах. Частота встречаемости некоторых видов (до 65%) подчеркивает их важность, поскольку они ассоциируют с ухудшенным пастбищем и перевыпасом. Важное значение имеет сравнение результатов исследований за два–три года.

Из наблюдений за травяным покровом в трансектах можно дать оценку поверхности почвы, которая не защищена травяным или кустарниковым покровом. Например, статистически достоверное на 5% уровне увеличение оголенной поверхности от 8,2 до 10,3%, и достоверные на 1% уровне различия между точками показывает, что в ряде случаев имеет место увеличение незащищенной поверхности. Увеличение площади оголения в некоторых местах связано, очевидно, с тем, что эти площади экстенсивно использовались в 1-й год, и с возрастанием давления на травостой большие площади оказались незащищенными.

Фактор незащищенности поверхности почвы является в действительности индикатором использования травостоев и находится под влиянием осадков и интенсивности отчуждения. Базальное покрытие меньше определяется этими двумя факторами и больше соотносится с длительностью изменившихся условий. Сравнение данных проективного покрытия показывает, что их увеличение статистически достоверно на 5% уровне. Осадки являются основной причиной улучшения или ухудшения проективного покрытия во всех случаях.

Вторжение новых видов является одним из критериев разрушения пастбищ. Новые виды встречаются во всех горизонтах. Появление новых видов в нижнем горизонте выражается числом растений на 1 м^2 . Статистической достоверности различий между годами может и не быть. Плотность новых видов на 1 га в среднем горизонте значительно возрастает (почти до 100%). Причиной такого резкого увеличения является выпадение осадков выше нормы. Новые растения, которые встречались в нижнем горизонте, увеличивают

свое число, как правило, в среднем ярусе. Число видов в нижнем ярусе остается прежним, благодаря молодым проросткам, заменившим тех, которые достигли среднего яруса.

Проективное покрытие нижнего яруса снижается, что статистически значимо на уровне 1%. Снижение покрытия нижнего горизонта показывает, что растительность была изрежена в связи с ухудшением климата, влиянием человека или других факторов. Если осадки в течение ряда лет были в основном выше нормы, то снижение покрытия явилось результатом влияния человека. Давление выпаса за многие годы незначительно соотносится с покрытием нижнего горизонта, плотностью среднего яруса или оголенностью поверхности. Состав травяного покрова нижнего яруса мало варьирует по годам. Однако соотношение ценных, среднеценных и малоценных видов заметно варьирует по годам в сторону последних. Проективное покрытие злаков во все годы заметно колеблется.

Плотность многолетних кормовых видов снижается на уровне статистического значения до 1%. Плотность однолетних злаков также варьирует. Причина снижения доли однолетних злаков, возможно, обуславливается тем фактом, что 1-й год наблюдений, который отличался повышенной влажностью, следовал за сухими периодами. Результат высокого увлажнения после нескольких лет засухи – это появление растительного покрова на оголенных участках в основном за счет проростков однолетних злаков или сорного разнотравья. Продолжение выпадения дождей, следовавшее несколько лет подряд, вызывает постепенное снижение доли однолетних трав и их замену многолетниками, отличающимися сильным ростом. Как правило, отмечаются незначительные изменения и в плотности многолетних злаков.

9. Обобщение лабораторных материалов. Важнейшим требованием для региональной оценки состояния экосистем является получение объективно сопоставимых лабораторных сведений. Способы определения и анализа полученных данных как в полевых условиях, так и в лабораториях должны четко контролироваться. Основой экологического мониторинга является оперативное реагирование на изменение экологической ситуации и доведение до сведения государственных органов полученных результатов. Аналитическая информация должна быть качественно и количественно досто-

верной и реально отражать наличие определяемых веществ в различных объектах.

Важнейшим фактором, оказывающим огромное влияние на достоверность анализа, является начальный этап мониторинга – отбор проб. Вне зависимости от используемой методики и аналитических способов обработки проб погрешность сведений, вызванных ошибкой пробоотбора, может быть очень высокой. Поэтому во избежание возможных ошибок необходимо использовать стандартные методы отбора проб. Значительно снизить степень такого рода ошибок позволяет возможность определения на практике таких показателей, как минерализация воды, влажность и кислотность почвы и других характеристик без отбора проб на полигоне.

Важным условием высокой ценности аналитической информации является её сопоставимость, что связано с необходимостью использования полученных разными авторами данных. Сопоставимость различных данных зависит от многих факторов, в том числе и ошибок при выполнении анализов. Данные различной точности не имеет смысла сопоставлять, сравнивать и анализировать. Надежностью аналитической информации зависит от специфики применяемых средств обеспечения качества результатов анализа (например, градуировочные стандарты и т.д.). В целом качество результатов химического анализа должно обеспечить как контроль случайных и систематических погрешностей, так и контроль отклонений в пределах каждой серии анализов по отдельным полигонам, возможность установления и устранения причин таких отклонений.

Оценить случайные погрешности можно разными способами, но все они основаны на применении методов статистического анализа. При отсутствии метрологической аттестации применяемых методик сопоставимость полученных с их помощью данных вести нецелесообразно. При обнаружении загрязняющего вещества, не связанного с природными процессами и выбросами (жидкими, твердыми или газообразными) предприятий района и края, возможен случай аналитической ошибки. Поэтому при получении артефакта (странного результата) необходимо внимательно его проанализировать, повторить анализ и определить вероятные источники ошибок. Важным приемом исключения возможных ошибок аналитических данных могут служить фоновые измерения. Например, обнаружение в месте сброса стоков не характерного для этих мест вещества, не

связанного с технологиями окружающих производств, обязывает специалистов проводить отбор вне зоны влияния районированных производств выше по течению.

Важное место в организации мониторинга занимает работа по интерпретации полученных данных. В качестве примера рассмотрим анализ материалов определенного исследования. Главная цель мониторинга состоит в использовании достоверных данных при анализе конкретной ситуации. Например, в пересчете на азот содержание ионов аммония в воде варьирует в широких пределах от 80 до 200 мкг/дм³. Наличие ионов аммония в незагрязненных водах в основном связано с биохимическим разложением белков и мочевины, дезаминированием аминокислот, т.е. имеет биогенное происхождение. В связи с этим высокое содержание ионов аммония можно использовать в качестве индикатора, указывающего на ухудшение санитарного состояния и загрязнение воды в основном бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

Мощным источником поступления ионов аммония в водные системы являются животноводство, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования в больших количествах аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, лесохимической и других видов промышленности. Содержание аммония в стоках промышленных предприятий составляет около 1 мг/дм³, а в бытовых стоках – до 8 мг/дм³. С бытовыми стоками в водные системы ежедневно (из расчета на одного жителя) поступает до 10 г аммонийного азота.

Допустимая концентрация в водоемах хозяйственно-бытового водопользования (ПДК) составляет 2 мг/дм³ по азоту (2,6 мг/дм³ в виде иона NH₄⁺ – санитарно-токсикологический показатель вредности); для рыбохозяйственных водоемов ПДК для аммонийного азота не превышает (по азоту) 0,05 мг/дм³. Высокие уровни содержания аммонийного азота в водохранилище в течение длительного периода указывают на повышение риска при его дальнейшем загрязнении хозяйственными и бытовыми стоками, что может вызвать опасность при использовании водохранилища для купания населения и, безусловно, для разведения рыбы. Содержание в воде аммония в количестве до 1 мг/дм³ снижает у рыб способность гемоглобина связывать кислород. Пораженная таким образом рыба зачастую выбрасывается на берег и гибнет.

Целью экологического прогнозирования является формирование в процессе мониторинга большого массива многолетних сведений, используемых для разработки различных математических моделей, а также для прогнозирования состояния экологических систем и анализа многих направлений их развития. Например, уровень реки Кубани и большинства её малых рек и водохранилищ в 1995 году был ниже в сравнении с 1996 годом. Эвтрофикация маловодных и малопроточных водоемов усиливалась накоплением в них биогенных веществ, особенно азота и фосфора, со всего водосбора. Основная часть биогенов поступает в водные системы с недоочищенными хозяйственными и бытовыми стоками и с ливневкой от дачных участков и огородов. В летний период в водохранилищах бурно развиваются синезеленые водоросли, отмирание которых приводит к токсичности воды. Несмотря на снижение применения удобрений, падение производства и сокращение загрязняющих выбросов в атмосферу поступление биогенов со стоками (бытовыми, животноводческими и т.д.) в водные системы не уменьшается. Поэтому в засушливые годы еще до сильного прогрева воды (до 25–29 °С) и образования колоний сине-зеленых водорослей («цветение» воды) можно прогнозировать возникновение желудочно-кишечных и кожных заболеваний, что обуславливает необходимость разработки мер их предотвращения.

Таким образом, при организации и выполнении экологического мониторинга необходимо: 1) выполнять требования по отбору образцов и протоколированию этого процесса, 2) строго выполнять правила по подготовке проб и проведению анализов, 3) хорошо представлять возможности применяемых методов анализа, 4) использовать надежные и достоверные числовые данные, 5) проводить оценку возможных погрешностей, 6) определять пороговые отклонения показателей загрязнений, а также средние данные с коэффициентами вариаций и стандартными отклонениями. При анализе полученных результатов необходимо максимально оценивать информативность первичных наблюдений и анализов, фото- и видеосъемок и т.д. В процессе ведения мониторинга обязательным является оформление документации, сохраняющей результаты исследований и наблюдений.

Разумное распределение усилий и правильное использование ресурсов требуют организации рациональной сетки полигонов эко-

логического мониторинга. Тщательный анализ результатов по каждому полигону необходим для организации информационной системы в составе общего экологического мониторинга, что будет способствовать принятию правильных решений по стабилизации или улучшению ситуации в окружающей среде определенного района. Это необходимо делать ежегодно по завершении определенного этапа исследований.

При обработке полученных сведений затрачиваются значительные интеллектуальные усилия и материальные средства. Однако экономию средств на анализ результатов и разные формы их представления вряд ли следует оправдывать. Экономия ресурсов на подготовку материалов, их обработку и анализ, несмотря на значительные усилия, затраченные на их получение, в реальности оборачиваются снижением ценности информации, значимость которой, естественно, будет недостаточной.

10. Годовой отчет. Ежегодное ведение мониторинга завершается составлением научного отчета, основная цель которого заключается в изложении всего хода исследований при документации всех тонкостей измерений, их динамизма, а также с учетом анализа полученных результатов и сделанных выводов и предложений на продолжение мониторинга в следующем году. Научный отчет рассчитан на весьма узкий круг специалистов, поэтому излагается научным и четким языком без эмоциональных и художественных дополнений. Однако излишняя перегрузка научного отчета узкой терминологией, в частности латинскими названиями таксонов без особой надобности и без пояснений свидетельствует о плохой проработке коллективом анализируемого материала.

Научный отчет включает следующие разделы: аннотацию, реферат, обзор литературы, анализ ситуации, методику исследований, изложение материала исследований и их анализ, а также выводы и предложения; в завершение приводятся список использованной литературы и многочисленные приложения. В аннотации излагаются важнейшие результаты выполненных исследований. Аннотация служит кратким изложением выполненной работы. Написание научного отчета является основным документом обобщения накопленных данных и важнейшим документом, завершающим определенный этап исследований (наблюдения) за состоянием окружающей среды. Высокий уровень написания отчета – четкость, логич-

ность, обоснованность, полнота – поднимает его научную и практическую значимость и определяет перспективы расширения и углубления мониторинга в следующем периоде.

Научный отчет составляется по определенному формату, установленному госстандартом. Пренебрежение обязательными требованиями при оформлении отчета недопустимо и свидетельствует о низком профессионализме научного коллектива и невысокой научной компетентности, что вызывает большие сомнения при подготовке выводов и решений. Составленный по всем требованиям отчет включает все необходимые разделы выполненной работы и все этапы решения основных задач.

Обзор литературных данных в отчете следует после краткого реферата. Всегда необходимо иметь в виду, что разрабатываемая проблема когда-либо и кем-нибудь в той или иной плоскости была исследована. Поэтому необходимо выделить аналоги в отечественной и зарубежной литературе. На основании изучения мирового опыта анализируемой проблемы формулируется цель и определяются задачи работы с четко выраженными формулировками и обозначением общей стратегии и конкретной тактики. Эта часть отчета отражает результаты предварительной работы, проделанной на стадии создания Программы экологического мониторинга.

Самостоятельным разделом выделяется анализ ситуации на основе предварительного изучения природно-климатических характеристик основных территорий мониторинга и особенностей воздействия человеческой деятельности на природные или природно-хозяйственные системы. С учетом особенностей анализа ситуации разрабатываются методики, которые будут использоваться при выполнении Программы мониторинга.

Без широкой информации оценить полученные результаты практически невозможно. За выполнение работы в целом ответственность несет коллектив специалистов-экологов, лаборатория или кафедра вуза. Плохо оформленные результаты будут выглядеть неубедительно и не будут содействовать достижению основной цели – разумному использованию полученной информации в формировании региональной экологической политики.

Следующий раздел отчета включает весь фактический материал, в том числе протоколы отбора проб и дневники лабораторных испытаний. Первичная документация выносится в приложение. В

основной части полученные результаты представляются в виде удобных для интерпретации сводных таблиц, схем, графиков, формул. Подробный анализ результатов является основной частью этого раздела.

Заканчивается отчет составлением выводов и предложений. Этот раздел отчета весьма важен и по объему нередко занимает значительную его часть. Однако в настоящее время ему уделяется мало внимания и нередко его заменяют простой констатацией фактов. Зачастую в нем «выводы» в сжатой форме излагаются результаты мониторинга и дается общая оценка работы. На самом деле необходимо выделить наиболее важные результаты исследований, которые можно положить в основу разработки новых технологий.

В разделе "Предложения" выделяются конкретные и вполне очевидные тенденции ухудшения функционирования систем и излагаются способы эффективного применения результатов мониторинга для формирования региональной экологической политики и разработки экологических Проектов по улучшению ситуации, чтобы существенно снизить риски в эксплуатации экосистем и исключить ошибки в организации экологического мониторинга при его продолжении.

В списке литературы приводятся только использованные по существу источники с указанием всех выходных данных, включая и конкретные страницы.

В приложении помещаются все первичные рабочие материалы со схемами, картами, расчетами, сведениями об условиях погоды, типах использования техники, а также о конкретных исполнителях. Все материалы должны быть оформлены по стандарту и легко читаемы специалистами.

Глава 5. Полевые наблюдения и исследования

1. Полевые методы исследований. На основе детальной информации об экологическом состоянии конкретных систем можно определить условия для оптимизации их функционирования, предсказывать как благоприятные, так и неблагоприятные факторы для их развития, а также принимать определенные меры для снижения влияния неблагоприятных условий на жизнь и деятельность человека.

Длительное время человек производил наблюдения лишь за изменениями состояния природной среды, обусловленными в основном разными естественными причинами. Средние величины, характеризующие состояние биосферы (ее климатические характеристики в любом районе земного шара, природный состав различных сред, круговорот воды, углерода и других веществ, глобальная биологическая продуктивность), существенно изменяются лишь в течение очень продолжительного времени (тысяч, иногда даже сотен тысяч и миллионов лет). Крупные равновесные экологические системы под влиянием природных процессов меняются чрезвычайно медленно. Постепенные эволюционные изменения происходят только за измеряемые историческими эпохами промежутки времени.

В отличие от состояния биосферы, определяемого естественными причинами, ее изменения под воздействием антропогенных факторов могут проходить существенно быстрее. Так, изменения, происшедшие по этим причинам в некоторых составляющих биосферы за последние несколько десятков лет, сравнимы с некоторыми естественными изменениями, происходившими за тысячи и даже миллионы лет. Естественные изменения состояния окружающей природной среды, как кратковременные, так и длительные, в значительной степени наблюдаются и изучаются существующими во

многих странах геофизическими службами (гидрометеорологической, сейсмической, ионосферной, гравиметрической, магнитометрической).

Для выделения изменения систем под влиянием антропогенных факторов на фоне естественных (природных), определилась необходимость в организации проведения специальных полевых и лабораторных наблюдений. Система наблюдений за антропогенным воздействием загрязнений является частью уже существующей службы контроля состояния природной среды. Она использует ее опыт, систему наблюдательных станций, линий телекоммуникаций и центров обработки данных с включением некоторых новых элементов. Для обеспечения функционирования системы наблюдений и контроля состояния окружающей природной среды, позволяющего выделить изменения, вызванные антропогенными причинами, необходима детальная информация о естественных колебаниях и изменениях состояния среды. Осуществление мониторинга предусматривает получение (или наличие) такой информации. Наблюдения за природной средой включают: изучение факторов, воздействующих на неё, оценку её фактического состояния и прогноз изменений в состоянии окружающей среды.

Основу Мониторинга экосистемы определенной территории составляет изучение биоты: соотношение жизненных форм и таксономический состав организмов. Важнейшими критериями при выборе метода наблюдений за составом растений и животных организмов являются следующие:

1. Участки наблюдений должны быть четко обозначены в течение нескольких лет работы.
2. Собранные данные должны соответствовать цели и задачам исследований.
3. Собранные данные должны быть объективными и пригодными для сравнительного анализа.
4. Сбор данных могут проводить специалисты разных направлений и квалификаций.
5. Метод не должен быть излишне трудоемким и перегруженным информацией.
6. Периодичность сбора данных должна быть обоснованной, иначе в дальнейшем будут допускаться серьезные ошибки при сборе информации и её обработке.

Для изучения биотического и абиотического компонентов экосистемы практикуется закладка трансект или квадратов, и сбор образцов территориально ограничивается их площадью.

Линейная трансекта. Используется для сбора образцов на однородной площади. Такие трансекты закладывают также в пределах исследуемой территории, когда наблюдается четкий переход одних популяций и местообитаний в другие. Сущность метода – натягивание между двумя кольшками веревки, показывающей положение трансекты; сбор образцов или исследование ведется только в местах соприкосновения с линией трансекты.

Ленточная трансекта. С целью получения более достоверных (качественных и количественных) данных закладывают ленточные трансекты. Через изучаемое местообитание прокладывается полоса определенной ширины, образуемая двумя линейными трансектами, отстоящими друг от друга на 1 м, между которыми производится учет видов. Однако для сбора данных в пределах такой трансекты следует использовать линейную трансекту и квадратную раму. При анализе и обобщении данных необходимо вычертить на схеме изменения высоты и других параметров вдоль трансекты.

Тип трансекты определяется характером исследования, точностью опыта, спецификой организмов, населяющих определенную площадь, размерами последней и продолжительностью времени, отведенного для исследования. На однородной по типологии почв и населяющим видам территории можно использовать метод линейной трансекты с записью тех видов, которые находятся под лентой; на больших территориях используется ленточная трансекта и виды записываются через определенный интервал, наиболее подходящий для такого обследования.

Квадрат. Используется обычно разборная металлическая или деревянная рамка площадью 0,25 (0,5 x 0,5) м² и 1 м² (1 x 1). Рамку размещают поочередно по обе стороны трансекты и внутри рамки исследуют всю площадь. Затем рамку переносят вдоль линейной трансекты в другие точки через 5, 10, 20 м в зависимости от размеров территории и целей исследования. Внутри рамки все виды регистрируются с подсчетом численности каждого или определением его обилия. При необходимости рамку можно изменить, разделив с помощью проволоки на секции для более точного подсчета видов

или определения их обилия, особенно в случае многовидового сообщества.

Точечный метод. Используется рамка с несколькими отверстиями (обычно их 10) через которые пропускается стержень из металла. Рамка удобна при исследовании вдоль трансекты местообитаний с сильно разросшейся растительностью, когда многие виды перекрывают друг друга (рис. 5). Стержень пропускают через все отверстия и записывают виды, которых коснется спица по мере ее опускания на землю.

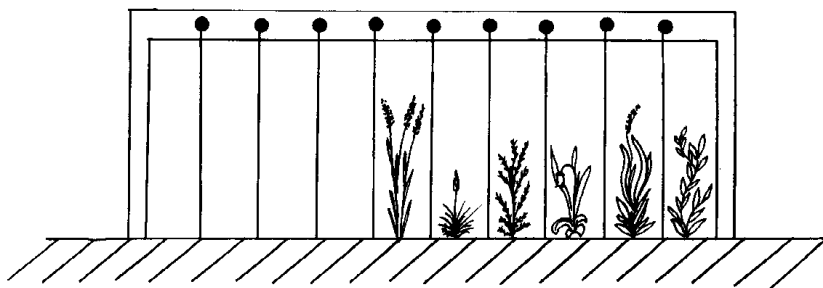


Рис. 5. Рамка со спицами

Постоянный квадрат. При продолжительных исследованиях, включающих изучение динамики смен сукцессий (сообществ) или сезонных изменений, используется постоянный квадрат или трансекта. Колышками с натянутой нейлоновой веревкой отмечают участок, на котором периодически обследуют биотические и абиотические факторы. Данные представляют таким образом, чтобы продемонстрировать направления изменений, сами изменения и возможные факторы, связанные с этими изменениями.

Отбор организмов. При изучении экосистемы важное значение имеет её биотический анализ (изучение биотического компонента): определение встречающихся в местообитании видов, а также численности популяций данных видов. Выявить и подсчитать все организмы какого-то вида практически невозможно, и потому применяется такой метод сбора образцов, который позволяет опреде-

лить численность присутствующих видов. Для получения более точных результатов используются методы, требующие больших затрат времени. В связи с этим необходимо четко выделять цель предстоящих исследований. Как правило, подбираются методы, не нарушающие функционирование сообществ.

Необходимо использовать достоверный метод сбора и записи получаемых данных. Поскольку мелкие животные обитают повсюду, то в связи с их исследованиями должны быть рассмотрены все изменения микрорельефа. На первый взгляд может показаться, что 1 м² почвы, песка или травостоя заселен небольшим числом видов животных. При более внимательном рассмотрении (если перебрать руками почву, растения, перевернуть камни и изучить корни, стебли, цветы) можно обнаружить видов много больше, чем при поверхностном анализе.

После записи видового состава все виды растений и животных, какие можно определить сразу или по определителю, необходимо оставлять на месте исследований. Собирать нужно только те виды, которые широко распространены в данной местности и не относятся к редким. Массовый сбор видов может иметь серьезные последствия для местных сообществ. При сборе животных нужно постараться сохранить их живыми и выпустить затем в аналогичные местообитания. Организмы необходимо определять до видов. Часто это невозможно, и тогда стараются установить их принадлежность к определенному более крупному таксону: классу, порядку или семейству.

Список всех видов для данного местообитания дает представление о многообразии структуры сообщества, его видовом разнообразии, или богатстве. Количественное выражение видового богатства называется индексом видового разнообразия.

С помощью этих данных можно построить качественные пищевые цепи и пищевые сети, хотя для количественной характеристики сообщества этого недостаточно. Степень разнообразия считается полностью выявленной тогда, когда установлена численность, или обилие, каждой популяции. Полученные качественные и количественные данные о местообитании зависят от особенностей методов отбора образцов и оценки численности организмов. Метод выбирают в соответствии с образом жизни, поведением и размерами организмов (табл. 3).

Таблица 3. Некоторые полевые методы сбора организмов

Собираемые организмы	Метод сбора	Последовательность действия
Нелетающие насекомые, личинки, пауки	Стряхивание насекомых на полотно	Матерчатую простыню определенного размера держат под веткой, которую встряхивают. Животные падают на простыню, их собирают.
Летающие насекомые	Ловля сачком в воздухе	Сетку прикрепляют к рукоятке и машут ею в воздухе, описывая восьмерки. Животные попадают в сетку, и после восьми взмахов их вытирают из сетки.
Насекомые, ракообразные	«Кошение» сачком	Сетку из нейлона прикрепляют к жесткой рукоятке и резко проводят по траве, кустарникам, в водной толще пруда или реки.
Клещи, энхитреиды, черви, мелкие насекомые и их личинки	Ручной разбор	Образцы почвы или растений (злаки, лесная подстилка или сачок с морскими водорослями) кладут на край подноса и небольшие порции материала тщательно перебирают пальцами. Найденные организмы помещают в банку для образцов. Каждый образец исследуют и возвращают на прежнее место.
Дождевые черви	Экстрагирование, раскопки	Во влажную почву вводится раствор марганцовокислого калия, который действует раздражающе на кожные покровы червей (можно применять и 8% раствор формалина, но он сильно загрязняет почву) и вызывает их выход на поверхность.

Перед тем, как приступить к сбору организмов, исследователь обязан:

1. Изучить свод законов по охране природы данного края, вышедших за последние годы.
2. Получить разрешение от землепользователя (ООО, ОАО, фермер) на проведение исследований.
3. Проконсультироваться в местном краеведческом обществе, университете или в обществе охраны природы о том, где и что собирать.
4. Не выносить организмы за пределы местообитания и без надобности их не уничтожать.

5. Местообитание оставлять ненарушенным и по возможности вернуть на прежнее место камни, бревна, дерн и т.д.

6. При отборе организмов для определения брать их как можно меньше и по возможности вернуть на место.

7. Животных во время доставки в лабораторию держать отдельно друг от друга, чтобы предотвратить их порчу и поедание хищниками.

8. Всегда записывать время сбора, получать больше сведений о топографии местообитания и климатических условиях, поскольку все это может иметь отношение к собранному материалу.

2. Методы оценки популяций организмов. При проведении любых количественных экологических исследований важно с высокой степенью точности дать оценку численности организмов, населяющих определенную площадь на суше, или в объеме воды или воздуха, что равнозначно оценке величины их популяции. Выбор метода зависит от размеров организмов, их образа жизни и площади исследуемой территории. На небольшом участке можно непосредственно подсчитать число, оценить проективное покрытие или обилие растений и прикрепленных или медленно передвигающихся животных. На больших открытых пространствах для оценки численности быстро передвигающихся животных необходимы косвенные методы учета. В местообитаниях, где наблюдение за организмами затруднено вследствие особенностей их поведения и образа жизни, дается оценка численности организмов с использованием методов изъятия, мечения и повторного отлова. Существуют объективные и субъективные методы оценки численности популяции. Квадраты, прямое наблюдение и фотографирование относятся к методам прямого учета; методы изъятия и повторного отлова организмов соответствуют методам косвенного учета.

Квадрат. При установлении числа организмов в пределах некоторого числа квадратов, занимающих определенную часть общей площади, простым умножением подсчитывают численность организмов на всей территории. Используя этот метод, определяют следующие параметры популяций изучаемых видов:

1. Плотность вида – это число организмов отдельного вида на определенной площади (например на 10 м^2). При определении плотности подсчитывают число организмов в брошенных случайным образом квадратах. Преимуществами метода являются его точность,

возможность сравнить различные участки и виды и установить значение обилия. Недостатки метода: требует значительных затрат времени и уточнения для растений понятия особь.

2. Частота вида – вероятность обнаружения вида в пределах случайно брошенного квадрата на одной площади. Например, если вид встречается в одном из каждых 10 квадратов, то его встречаемость равна 10%, во всех десяти – 100%. Для получения этой величины отмечают наличие или отсутствие вида в каждом квадрате, брошенном случайно (число присутствующих особей не имеет значения). При использовании этого метода необходимо определиться с размером квадрата, поскольку это будет влиять на результаты, и условиться, какую частоту следует учитывать (побеговую, корневую). При побеговой встречаемости вид считается присутствующим, если его листья попадают на площадь квадрата, хотя сама особь находится вне его. При корневой встречаемости вид присутствует, если его особи укореняются на площади, охваченной квадратом.

Преимущества: прост и не требует больших затрат времени, применим в крупномасштабных системах локального уровня. Недостатки: на полученное значение частоты влияют размеры квадрата и его пространственное размещение (например, случайное, групповое, равномерное), а также размеры растений.

3. Проективное покрытие вида показывает, какая часть почвы занята особями вида, и дает оценку площади, покрытой этим видом, по отношению к общей площади. Его определяют в нескольких случайно выбранных точках путем регистрации покрывающего почву вида, каждый раз субъективно оценивая площадь квадрата, покрытую этим видом, или используя раму со стержнем. Этот метод удобен при оценке проективного покрытия растений, особенно травянистых, когда число особей не столь важно подсчитывать. Однако, это трудоемкий и утомительный метод.

Прямое наблюдение. Прямой подсчет применяется к сидячим и медленно передвигающимся животным и ко многим крупным подвижным животным (олени, летучие мыши и т.д.) в то время, когда они покидают место ночлега или водопоя.

Фотографирование. Прямым подсчетом особей на фотоснимках можно установить размеры популяций крупных млекопитающих

и морских птиц, собирающихся в отдельные периоды года на открытых пространствах: островах, материковых побережьях и т.д.

Метод изъятия. Этот метод удобен для оценки численности мелких организмов, особенно насекомых, на определенном участке посева, травостоя или в определенном объеме воды. Специальной сеткой (взмахом) отлавливают животных, записывают число пойманных и не выпускают их до конца исследования. Затем повторяют отлов еще 3–4 раза. Число пойманных животных последовательно по отловам уменьшается (табл. 4).

Таблица 4. Число пойманных животных по отловам (Ботсад, 1994 г)

Отлов	Число животных	Совокупный размер образца
1	150	0
2	115	150
3	84	265
4	49	349

При построении графика отмечают число пойманных при каждом отлове животных против общего числа пойманных ранее. Продолжив линию графика к точке, в которой вновь пойманных животных не окажется (т.е. в последнем отлове их число будет равно нулю), можно оценить общий размер популяции (рис. 6).

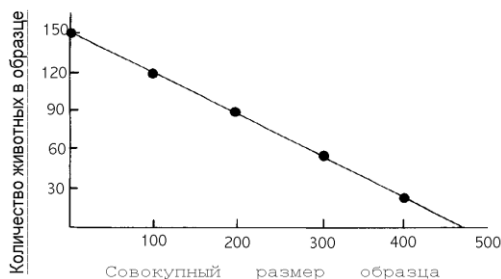


Рис. 6. Динамика отлова животных

Метод мечения и повторного отлова. Этот метод представляет собой отлов животных и их мечение. Последнее проводится таким образом, чтобы не причинить вреда животному, которого затем выпускают на волю в месте отлова, чтобы он мог продолжить нормаль-

ную жизнь в популяции. Например, на ноги пойманных птиц надевают кольца. Мелких млекопитающих можно метить краской, надрезать ухо или остригать когти, членистоногих также метят краской. В любом из случаев применяют такую форму мечения, которая позволяет различать отдельные особи. Пойманных животных подсчитывают, метят репрезентативную выборку из них, затем всех их выпускают в том же месте. Через определенное время животных вновь отлавливают, подсчитывают число животных с меткой. Размер популяции оценивают следующим образом:

$$\text{Общий размер популяции} = \frac{\text{Число животных } (Y1) \text{ первого улова } (x1) \times \text{Число животных второго улова } (x2)}{\text{Число животных с меткой во втором улове } (Y2)}$$

Эта оценка размера популяции известна как "индекс Линкольна" и выводится из следующих допущений: 1) внутри популяции организмы размещены случайным образом; 2) между первым и вторым отловом проходит достаточное время, чтобы животные успели распределиться случайным образом (чем менее подвижны особи вида, тем больше времени между их отловом); 3) индекс применим к популяциям, перемещение которых ограничено географическими условиями; 4) организмы равномерно размещены в пределах популяции; 5) изменение размеров популяции, вызванное иммиграцией, переселением, рождением и т.д., незначительное; 6) метки не должны мешать передвижению и делать их заметными для хищников.

При изучении растений и мелких животных прямой подсчет их численности является очень трудоемкой работой. Поэтому в зависимости от необходимой точности эту работу можно заменить оценкой проективного покрытия или обилия на площади квадратной рамы. Для этого можно пользоваться сеточкой Л.Г. Раменского (прямоугольная рамка площадью 10 см², разделена на 10 квадратов площадью каждый 1 см²). Для определения проективного покрытия необходимо освоить различные методики, которые несмотря на субъективность, могут давать вполне объективные и сравнимые данные.

После разностороннего учета различных составляющих ландшафтов при проведении мониторинга в агроценозах мы пришли к выводу о выделении на каждом поле не менее двух блоков - участков наблюдений (один блок своими трансектами пересекает дорогу, другой - лесополосу). На всех участках прокладываются по четыре трансекты, на каждой из которых выделяется 5 квадратов (рис. 7). Длина одной трансекты 25 м. Трансекты размещаются перпендикулярно направлению дороги или лесополосы. Учитывается направление ветров, освеще-

шенность, загруженность дороги, ширина и высота лесополосы, ее породный состав и возраст.

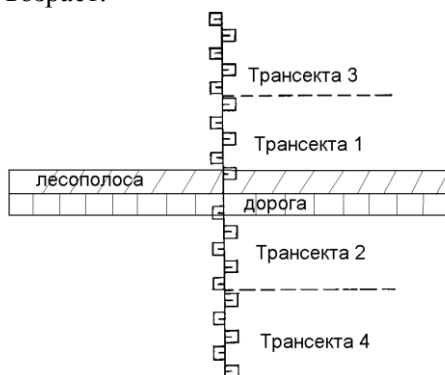


Рис. 7. Размещение трансект и квадратов для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур по отношению к магистрали или лесополосе.

Изучение растительного покрова. Стальная проволока натягивается между маркерными прутьями по поверхности почвы с пометками через каждые 25 см. Всего на трансекте фиксируется таким образом 100 точек ($25 \text{ м} : 25 \text{ см} = 100$), в которых ведутся наблюдения за растительным покровом. В пределах трансекты на соответствующем расстоянии отмечается вид растения (сорт или сорняк), погибшие особи или пустое место. В каждой точке (через 25 см) отмечаются растения верхнего, среднего, нижнего ярусов и наличие подстилки. Присутствующие в каждом горизонте виды определяются, а неизвестные образцы гербаризируются с целью последующего их определения.

Сезонное развитие растительности. В течение года ведется наблюдение за развитием растительности еженедельно в период роста однолетних растений (пшеница, кукуруза и т.д.) и по сезонам (4 раза в году - январь, апрель, июль, октябрь) на посевах или посадках многолетних растений с целью сравнения происходящих изменений. В зависимости от задач, поставленных заказчиком, наблюдение за развитием растений могут проводиться чаще или реже указанных выше сроков. Сезонные изменения в развитии растительности посевов весьма существенны (табл. 5).

Самые низкие показатели варьирования отмечены во второй половине апреля и в первой половине июля. В этот период лучше

всего идентифицировать злаки и представителей многих других семейств, переходящих в генеративную фазу.

Таблица 5. Проективное покрытие растительности, %
(открытый участок, Ботсад)

Покрытие	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Среднее	19,5	70,0	98,0	85,0
Варьирование	50,0	23,0	15,0	44,0

Покрытие поверхности почвы определяется густотой посева основной культуры, степенью засоренности и сезонными изменениями. Проективное покрытие больше подчиняется количественным замерам, чем задернованность. Проективное покрытие изменяется по сезонам и годам. Мы изучали проективное покрытие сои (в чистых и смешанных посевах), свеклы, пшеницы. Во всех случаях вариация проективного покрытия доходила до 64% (табл. 6). Результаты наблюдений на трансектах в летний период в 18% случаев показали изменение в проективном покрытии при 5% уровне значимости.

Таблица 6. Проективное покрытие пшеницы, %

Период года	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Среднее	0,5	12,1	13,5	0,8
Изменения	1,15	13,7	15,4	3,3
% изменений	53,0	29,5	17,9	64,2

Повышение точности метода. Изменения проективного покрытия ниже 18% с 8 трансект получить нельзя. Нами изучено влияние увеличения числа точек вдоль трансекты на точность показателя проективного покрытия. В двух местах вместо обычного метода через каждые 25 см исследовали точки с интервалом 10 см и получили вдоль трансекты вместо 100 точек 250. Замеры были выполнены в июне 1993 г. (табл. 7).

Из полученных данных видно, что при 100 точках наблюдений доля изменений проективного покрытия доходит до 27,0–30,0%. При увеличении числа точек наблюдения до 250 доля вариации (изменения) снижается до 19,7% в первом блоке и до 8,9% во втором блоке.

Таблица 7. Показатели проективного покрытия при 100 и 250 точках его изучения

Блок	Число точек	Проективное покрытие		
		среднее	вариация	изменение
1	100	11,8	15,4	30,0
	250	10,3	6,8	19,7
2	100	12,3	10,7	27,5
	250	11,2	2,4	8,9

Сравнение различных методов. В двух пунктах были использованы методы трансект, квадратов и точечный для определения плотности травостоя и частоты встречаемости. Из сравнения различных методов в агроценозах установлено, что метод трансект несколько завышает показатели проективного покрытия (примерно на 10–12%). Самый низкий показатель проективного покрытия получен при использовании точечного метода. Объяснением такой разницы могут быть различия в размерах (диаметре) квадрата, шпагата и спиц, применяемых при разных методах.

Ботанический состав нижнего горизонта посевов пшеницы. Методом квадратов, размещенных с интервалом 5 м, чередующихся по разным сторонам от трансекты, определяется видовой состав нижнего горизонта. Всего на трансекте анализируется 5 модулей (квадратов), а на участке, имеющем 4 трансекты, 20 квадратов. Все растения в пределах квадрата идентифицируются и число особей каждого вида фиксируется. Из полученных данных рассчитывается частота (%) и плотность (на 1 м²) вида. Эти показатели будут сильно варьировать по сезонам года. Наименьшие изменения установлены весной (март), а наибольшие – в период уборки (конец июня – начало июля). Каждый период отличается специфичностью набора сорных растений, особенно однолетников. Наибольшее их количество приурочено к поздней весне и началу лета, когда происходит осветление подстилки и прекращается нарастание листовой и стеблевой массы, что снижает конкурентоспособность основной культуры.

Ботанический состав многолетних посевов. В качестве многолетних посевов следует назвать пастбища, плантации люцерны и т.д. Их значение заключается в использовании надземной части для кормления животных. Определение плотности травостоя, проективного по-

крытия и т.д. проводится при стационарных обследованиях с применением методов трансект, квадратов, точечного и постоянных квадратов. Чаще всего используется метод квадратов вдоль линии трансекты; их количество на участке не меньше 23 (площадь квадрата 1 м²). Указанные выше показатели определяются по сезонам и годам вегетации с учетом доли основной культуры (например, люцерны) и сопутствующих видов.

При изучении растительности одновидовых посевов мы придерживались следующих положений:

1. *Покрытие растительности.* Расчет доли площади, покрываемой каким-либо видом растений или сообществом в целом, ведется не менее чем по 100 точкам на участке (оптимальный вариант – 250–300 точек на участок).

2. *Задернованность.* Доля площади, занятой основаниями, нарастает и рассчитывается из 250 точек на 25 м трансекты (2000 точек на участок).

3. *Плотность растений.* Число растений рассчитывается на 10 м² (4 пробы на участке). Все укорененные растения в пределах квадрата определяются, число особей каждого вида подсчитывается и регистрируется.

4. *Частота встречаемости* определяется по числу квадратов (25х25см² или 1х1 м), содержащих особи определенного вида.

Полученные первичные данные заносятся в специальные карточки, подготовленные для обработки на компьютере. Например, в карточку № 1 заносится информация о проективном и базальном покрытии каждого вида. В карточку № 2 заносится информация по плотности растений (шт./м²) и частоте их встречаемости (%). В случае необходимости учета кустарничков, кустарников и деревьев, заполняется карточка № 3 по плотности (шт./га) и частоте встречаемости (%) отдельных видов в 20 квадратах (площадь квадрата – 10 м²) на участок.

Полученные за каждый год данные заносят в компьютер, обрабатывают по специальной программе и хранят. Программа составляется так, чтобы можно было рассчитывать и распечатывать материалы, сравнивая по двум, трем и т. д. годам наблюдений по отдельным культурам или видам в отношении их продуктивности, плотности, встречаемости, структуры, химизма, массы популяций микроорганизмов и т. д.

Глава 6. Экологический контроль

1. Биотическая концепция контроля среды. Под контролем среды понимается комплекс мероприятий, определяющих оценку экологического состояния природных объектов, нормирование действующих на экосистемы факторов, прогноз развития экосистем и экологическое районирование территорий. Согласно биотической концепции контроля среды оценка экологического состояния по шкале «норма-патология» должна проводиться по комплексу биотических показателей, а не только по уровням абиотических факторов (загрязнение, климатические переменные, переносы и т.д.), которые в этом случае рассматриваются как агенты воздействия на популяции организмов и экологические взаимоотношения между ними.

Биотическая концепция предполагает существование причинной связи между уровнями воздействия на биоту и откликом биоты. Одни уровни воздействия обеспечивают нормальное функционирование экосистем, другие же приводят к патологическому состоянию. Задачи биотического подхода – выявить в пространстве биотических факторов границы между областями нормального и патологического функционирования природных объектов и определить экологически допустимые уровни нарушающих воздействий.

Реализация биотической концепции экологического контроля возможна при разработке двух групп методов: 1) интегральной оценки (по шкале норма ↔ патология) экологического состояния природных систем, 2) обработки экологических данных (поиск детерминации и распознавания образцов в многомерном пространстве экологических факторов) для выделения границ между обитателями нормального и патологического функционирования экосистем.

Получение достоверной и по возможности полной информации состояния окружающей среды является задачей весьма важной и трудной. Оперативность измерений и их регулярность, а также

масштабность охвата долговременным контролем возможны только при максимализации автоматизирования и оптимизации технических средств контроля. Именно эти составные и определяют эффективность мониторинга той или иной экосистемы, региона, края или биосферы в целом.

Оценка состояния растительных сообществ (включая и отдельные популяции) на контролируемых участках невозможна без сравнения со стандартом – системой того же типа, но свободной полностью или в основном от воздействия человека. Для оцениваемых сообществ стандартом могут служить показатели конкретных фитоценозов, размещенных на аналогичных местообитаниях в пределах некоего эталонного участка, или общие средние значения показателей для нескольких фитоценозов, занимающих однотипные местообитания. Использование указанных стандартов основано на предположении, что при отсутствии влияния человека на оцениваемое сообщество отклонения анализируемых показателей его структуры от стандарта будут недостоверны статистически; возможности такого метода и точность оценок в значительной степени будут определяться уровнем естественного варьирования признаков растительности в пределах однотипного местообитания. Наземные методы периодического контроля состояния лугов, лесов, пустынь весьма дороги, малоэффективны и выполняются большим количеством специалистов различных профилей для периодического сбора информации по изучению индикаторов происходящих изменений в отдельных системах, особенно если такую работу необходимо проводить на значительной территории.

К средствам эффективного экологического контроля относятся дистанционные и лабораторные методы оценки влияния отдельных факторов, оказывающих воздействие на окружающую среду, на особенностях которых мы и остановимся в настоящем разделе.

Дистанционный контроль. Зондирование Земли из космоса или с помощью аэрофотосъемки дает возможность удешевить получение информации, поскольку дистанционный мониторинг выполняется простыми, быстрыми и доступными средствами. Например, спутник системы ЛАНДСАТ передает изображение, приблизительная стоимость которого составляет 60–70 коп. за 1 км². При наземных исследованиях группой специалистов стоимость только анализа растительного покрова доходит до 1000 руб. за 1 км². Бесспорно,

что методы дистанционного мониторинга, базирующиеся на корреляциях между интенсивными и экстенсивными данными, которые получены на Земле с воздуха и со спутника, грешат потерей части информации по сравнению с данными наземных исследований. Целесообразной и эффективной является та методология экологического мониторинга, которая включает одновременное использование данных трехуровневого плана – на Земле (сбор образцов за определенный промежуток времени), с воздуха (с самолета-лаборатории) и из космоса (передача визуальных или цифровых данных спутниковыми системами).

Основными требованиями к дистанционным методам являются: 1) широкая избирательная способность обнаружения изменений в природе, 2) длительная во времени регистрация наблюдаемых объектов, 3) объективная оценка сравнения объекта в разные временные отрезки, 4) возможность быстрого воспроизводства прежних данных, 5) автоматизация анализа огромного массива данных при минимальном влиянии индивидуальных особенностей исследователя, 6) возможности автоматического выделения определенных параметров и на конкретных объектах.

Значение дистанционных методов возрастает при проведении крупных региональных и глобальных исследований лесов, пустынь и т.д., поскольку они ограничиваются сбором наземной информации лишь на ключевых участках, а дешифровка остальной территории проводится на их основе путем экстраполяции. Стратегия комплексного мониторинга характеризуется большой гибкостью, что дает возможность получать нужную информацию из системы мониторинга уже сейчас, хотя база для корреляции данных пока еще только создается. Достоинство аэрокосмического мониторинга заключается в высокой оперативности полученной информации, в возможности её быстрой обработки современными методами, хранения, классификации и использовании.

Дистанционные методы дают возможность определять с достаточной высокой степенью точности следующие параметры: биомассу, урожайность сельскохозяйственных культур, мощность гумусового горизонта, толщину почвенного покрова, содержание гумуса, уровень грунтовых вод, степень засоления и влажность почв, типы растительности и фазы их вегетации, отчуждаемые площади земель и т.д. Самым распространенным методом наблюдений экзогенных процес-

сов является ландшафтно-индикационный, использующий в качестве индикаторов на космических снимках фотофизиономические компоненты ландшафта, определяющие контуры и интенсивность элементов изображений, их расположение, сочетание и др. На базе этих индикаторов разработаны прямые или косвенные дешифровочные признаки, что позволило создать гамму технологий дешифрованных снимков.

Накопленный опыт при использовании визуальных и визуально-инструментальных методов дешифрования обусловил переход к автоматизированной дешифровке фотоизображений, включая и многоспектральные, получаемые одновременно в нескольких диапазонах электромагнитного излучения. Этими методами картируются основные параметры, выделяющиеся линейными или площадными значениями, – длина дорог, площади городов, лесов, посевов сельхозкультур и т.д. Космические снимки хорошо идентифицируют и измеряют пятна посевов, пустынь, населенных пунктов, опустыненные площади вокруг колодцев в степи и т.д.

Определение глубины залегания грунтовых вод, содержание веществ, запас биомассы и другие показатели экосистем оцениваются менее точно, поскольку их определение идет по косвенным показателям. Например, таксация показателей растительности по аэрофотоснимкам оценивается через густоту и проективное покрытие, высоту, диаметр кроны растений, и по корреляции этих показателей определяется запас растительной массы. Точность измерения диаметра крон кустарников и деревьев составляет $\pm 10\%$, запаса биомассы – $\pm 20\text{--}25\%$.

Сочетание ландшафтно-индикационного метода с полевым позволяет повысить достоверность получаемой информации при определении этих параметров: на снимках при этом методе выделяются только весьма однородные зоны (районирование), а их метрологическая привязка проводится с учетом прямых наземных измерений. Такие параметры, как уровень грунтовых вод, влажность почв, картирование мест фильтрации из водоемов и другие, оцениваются по-другому – их оценивают радиометрические и радиолокационные аэрокосмические технические системы, использование которых ведется на основе предварительной калибровки аппаратуры, что дает возможность проводить прямые измерения с весьма достаточной точностью.

В современных подходах почвенный мониторинг трактуется как информационная система наблюдений, контроля и прогнозирования состояния почвенного покрова и свойств почв с целью направленного регулирования почвенных процессов. Почвенный мониторинг ставит целью решение следующих задач: 1) инвентаризация земельных ресурсов и оценка почвенного покрова в его развитии, 2) установление направленности развития почвенного покрова под влиянием воздействия человека, 3) прогноз изменений свойств почв и выработка рекомендаций по направленному управлению почвенными процессами. Дистанционные методы на макроуровне берут на себя в основном решение первых двух задач.

Составление почвенных карт по данным дистанционных исследований базируется на отражении при съемках структуры почвенного покрова и фиксации изменений, происходящих с почвенным покровом при повторных съемках по прошествии какого-то времени. При оценке свойств, определяющих плодородие почвы, большое значение, например, имеет выбор свойств почв, метод их диагностики дистанционными методами.

Дистанционные методы (аэро- и космоснимки, радарные изображения, тепловое сканирование и др.) достаточно четко прослеживают динамику структур почвенного покрова, связанную с антропогенными воздействиями на почву, усиливающими ветровую и водную эрозии (например, Калмыкия, Ставрополье), заболачивание и разрушение гумусового горизонта почв (например, отдельные районы Кубани, Украины), вторичное засоление (например, в Средней Азии, Казахстане и Астраханской области). Дистанционный метод, основанный на вычислении по повторным изображениям тенденции изменения площади по почвенным ареалам и почвенным комбинациям (например, контрастные ареалы нарушенных эрозией почв), позволил составить прогноз для Калмыкии: при современной нагрузке к 2020 году площадь эродированных земель составит около 90%, при охранном режиме – около 60%, а при почвозащитном – около 20%.

2. Лабораторный контроль. К важным средствам экологического контроля относятся различные методы оценки влияния отдельных загрязнителей на природные и агроландшафтные экосистемы. Приведем важнейшие характеристики основных методов

определения различных веществ, включая наиболее опасные для человека загрязнители:

- метод газовой хроматографии, основанный на разделении летучих веществ при определенных температурных условиях (площадь каждого пика хроматограммы пропорциональна концентрации определенного вещества);

- полярографический (электрохимический) метод, в основе которого лежит зависимость характера поляризации рабочего электрода, количественного и качественного состава исследуемого вещества, содержащего электровосстанавливающие или электроокисляющиеся субстанции;

- кондуктометрический метод базируется на зависимости электропроводности и диэлектрической проницаемости вещества от его концентрации;

- кулонометрический метод основан на измерении массы электрической энергии, затраченной на электрохимический процесс в пробе;

- потенциальный метод базируется на изменении потенциала электрода в зависимости от физико-химических процессов, протекающих в веществе;

- ионометрический метод базируется на реакции ионоселективных электродов по большому числу катионов и анионов;

- колориметрический метод основан на измерении избирательного преломления светового потока, проходящего через раствор пробы;

- люминесцентный метод базируется на зависимости спектра сигнала, переизлученного пробой изучаемого вещества под воздействием облучающего сигнала;

- термографический метод основан на тепловом расширении жидкостей (спирта, ртути) или изменении при нагревании электрического сопротивления или силы термоэлектрического тока;

- метод титрования базируется на характерных реакциях пробы исследуемого раствора с веществом-индикатором;

- акустический метод основан на изменении параметров акустического поля при контакте с пробой среды;

- механический метод основан на измерении механических особенностей исследуемой пробы.

Для оценки состояния почвы и растительности необходимо иметь достоверные данные о температуре и влажности почвы, кислотности, засоленности, содержании гумуса и т.д., определяемые весьма распространенными методами на не менее широко известных, но достаточно простых приборах.

В настоящее время развиваются два довольно эффективных направления – 1) определение загрязнителей на современных приборах без пробоподготовки и 2) использование для оценки загрязнения среды микросистемных приборов, способных определять особенности поведения составляющих экосистем на микроприборах. Значение последних весьма велико: во-первых, относительная простота использования и дешевизна; во-вторых, выделение конкретных загрязнителей, определение которых следует перенести на стационарные и точные измерители. Внедрение приборов, способных определять конкретные загрязнители без пробоподготовки, значительно удешевляет саму работу по проведению весьма сложных анализов, и чрезвычайно важным является то, что меньше используется реактивов, не всегда безопасных, и нет нужды в строительстве дорогостоящих вытяжных шкафов, нейтрализации не всегда безопасных отходов, получающихся в процессе подготовки почвенных и иных проб для химических анализов.

Таково в общих чертах, на наш взгляд, возможное направление в формировании эффективного экологического контроля в крае.

Глава 7. Моделирование в системе экологического мониторинга

1. Основы моделирования. Важнейшей особенностью экологических систем является их структурно-функциональная сложность, затрудняющая объективное изучение методами точных наук – физики и математики. Еще недавно такие трудности в науках о земле преодолевались путем создания специализированных наблюдательных подсистем (гидрометеорологических, геофизических и т.д.), ориентированных на количественный учет качественных характеристик среды (например, температуры, влажности воздуха и почвы и т.д.). Такой подход в изучении отдельных подсистем природных явлений дает необходимые предпосылки для решения теоретических задач прогностического типа и разработки расчетных схем и моделей с целью объяснения характера развития отдельных биосферных процессов, а также прогноза динамики их поведения в течение определенного времени в будущем.

Ввиду обострившейся во второй половине XX века проблемы состояния окружающей среды, обусловленной усилившимися негативными действиями на неё человека, обозначилась необходимость создания специальных органов управления природными системами, которые могли бы надежно нейтрализовать возможные отрицательные последствия в развитии окружающей среды, что и определило целесообразность разработки новых систем наблюдений, контроля и анализа её состояния. Такой подход дает возможность провести учет количественных характеристик не только измеряемых величин, но и разнообразных взаимосвязей между ними в природных условиях, а также учет количественных и качественных реакций природных объектов на различные внешние воздействия. Все это и послужило основной причиной возникновения нового научного направ-

ления исследований окружающей среды на системной математической базе – моделирование состояния окружающей среды.

В системе мониторинга наблюдения и измерительные системы дополняются специфическими звеньями целенаправленного моделирования природных образований, основным назначением которого является объективное выявление уровня чувствительности этих образований к различным природным и антропогенным воздействиям, выделение критических характеристик в состоянии экосистем из-за внешних воздействий и определение допустимых для них величин воздействий и т.д. Включение в систему мониторинга таких моделей облегчает моделирование и придает исследованиям выраженный целенаправленный характер. Изменения биоты возможно устанавливать с помощью спутникового мониторинга в сочетании с наземными измерениями, а также посредством теоретических обобщений на основе модельного воздействия на отдельные аспекты биоты в экспериментальных условиях.

Биосфера загрязняется соединениями азота, серы, хлора и других элементов, негативно влияющих на биоту, некоторые из которых, особенно содержащие N, S, Cl, снижают концентрацию озона, защищающего живые организмы от жесткой солнечной радиации. В мире уменьшается площадь лесов и увеличивается площадь пустынь, деградируют почвы и отдельные экосистемы, исчезают некоторые виды растений и животных, наблюдается потепление климата, возможно, вызванное антропогенным воздействием. Впервые за последние 100 лет среднеглобальная температура у поверхности Земли повысилась на 0,5 °С. Поэтому изучение глобальных и региональных изменений климата в биосфере в зависимости от определяющих факторов и построения модели биосистемы, дающей возможность прогнозировать будущие изменения и оценивать устойчивость экосистем и всей биосферы к различным воздействиям человека, имеет большое научное и практическое значение. При помощи такой модели можно оценивать антропогенное воздействие на природу и выдвигать предложения для оптимизации взаимодействия человека и природы.

Недостаточность знаний и большая приближенность (вернее, отдаленность от реального) имеющихся моделей биосферы обуславливают недостаточную надежность и даже противоречивость данных для выявления значимости причин, вызвавших глобальные

изменения и еще больше – их прогнозы. Важную роль в решении этих проблем может иметь космический мониторинг биосферы, включающий измерения вегетационных индексов развития растений и индексов цвета вод, обусловленных различными типами загрязнителей в массе живого вещества биоты в океане и на суше, а также мониторинг отдельных параметров поверхностных слоев атмосферы, почвы, океана и компонентов радиационного баланса поверхности. Уточнять описание экосистем возможно на базе одновременных изменений вегетационных индексов и наибольшего числа радиационных и атмосферных параметров.

Обобщение мирового опыта природопользовательной деятельности является всемирной стратегией, основная цель которой – выживание человечества, хотя это и не является сугубо задачей одного человека (в этом плане человек мало чем отличается от других живых организмов). Перспектива сохранения человеческой цивилизации в рамках прежних потребностей представляется весьма проблематичной. На первый взгляд угроза гибели человечества носит отдаленный (и отвлеченный) характер, но в действительности же эта угроза весьма реальна. Палеонтология зафиксировала гибель десятков миллионов биологических таксонов, среди которых есть виды, принадлежащие к человеческому роду. Бесспорно то, что нужны очень большие (скорее сверхчеловеческие) усилия, чтобы человека не постигла судьба многих вымерших на протяжении геологического времени видов. Поэтому разработка и создание прогностических моделей развития биосферы или отдельных её систем во времени является важным шагом в направлении реализации мечты человека по овладению целенаправленным регулированием природными процессами.

2. Цель и задачи моделирования. Экологическая модель представляет собой упрощение экосистемы и потому не может описать все виды связей между её компонентами и реакции её поведения. Тип модели определяется той целью, которую ставит исследователь. В общем случае значение моделирования определяется через следующие задачи, которые можно решить благодаря модели:

1. Модель является базой для определения концепции и направлений решения проблемы на основе установления и изучения определяющих поведение системы факторов.

2. Модель выделяет основные структурные и функциональные связи между различными составляющими экосистемы, характеризующими её внутренние связи и определяющими динамичность экосистемы.

3. Модель определяет динамику развития экосистемы на основе оценки её качественных изменений (прогнозирование развития системы).

4. Модель прогностического направления создается с целью решения прикладных вопросов и оценки значений переменных экосистемы в обозримом будущем и влияния внешних факторов на изменения этих переменных.

Моделирование весьма важно в развитии экологического мониторинга в теоретическом плане, а также для решения его практических задач. При этом методологической основой в решении экологических проблем является системный анализ, что обуславливается сложностью экосистемы как в глобальном плане на уровне биосферы, так и в локальном – на уровне ландшафтов различных масштабов. Системный анализ представляет собой своего рода стратегию исследований, который включает логическую структуру в организации разнообразных сведений об экосистеме любого уровня в форме математической модели с разными методами её разносторонней проверки и аналитическим исследованием с использованием компьютерных программ. Следует отметить, что среди экологов встречается немало сторонников понимания системного анализа как чисто математического направления в экологии.

3. Развитие моделирования. Прогностические модели, отражающие различные стороны человеческого воздействия на природу, могут быть как формализованными (математическими), так и неформализованными (описательными). Построение модели базируется на разных подходах к учету и анализу сложившихся связей. Формализованные модели системы или её части описываются математическими средствами - уравнениями с включением равенств и неравенств с целью имитации поведения отдельных структур в различных условиях без проведения экспериментов в природе.

Применяя формальные подходы к решению математических выражений или изучая качество модели средствами алгоритмических процессов на компьютере, можно проанализировать различные варианты поведения того или иного блока или их структур в систе-

ме при варьировании условий, описываемых определенными параметрами моделей, что в совокупности позволяет имитировать поведение системы на определенном временном отрезке её развития. Иными словами, математическое моделирование через варьирование численных значений параметров модели дает возможность производить различные теоретические эксперименты с определенной системой.

Анализ методов математического моделирования в их развитии показывает, что математическая модель представляет собой способ кодирования как известных, так и неизвестных свойств изучаемых объектов. Поэтому важнейшей задачей данного направления является всестороннее изучение модели с целью получения с её помощью всех возможных сведений. Поскольку математика сама по себе обязывает давать количественную характеристику объекта, то модели можно выразить через описание и в форме периодических систем, схем, таблиц (например, периодическая система элементов Д.И. Менделеева, гомологические ряды наследственной изменчивости Н.И. Вавилова и т.д.), в которых помимо математических широко используются такие методы анализа, как аналогии, ассоциации и другие.

Вопросы исследований особенностей развития экосистем, по которым идут дискуссии уже свыше 60 лет, могут быть решаемы в основном методами математического моделирования, поскольку прямой эксперимент по региональному мониторингу ландшафтных систем сегодня практически невозможен. Трудным представляется также вариант построения одной (даже гигантской) модели, способной вобрать в себя хотя бы несколько основных свойств региональной системы. Поэтому речь может идти только о разработке комплексных математических моделей, способных хотя бы в какой-то степени реально оценить качественное и количественное состояние экосистемы разного уровня. В основе, например, биосферной модели может быть своего рода многоразовая и многовариантная экспериментальная установка, способная проследить различные варианты воздействия человека при изменении параметров отдельных блоков системы, а также функций, определяющих её отклик через изменения состояния окружающей среды.

Модель экологической системы должна отличаться особенно-стью приспособления к общению с пользователем и выделяться

простотой использования и в то же время быть по возможности точной, что позволит в ходе решения задач находить сходные черты экологических процессов, наблюдаемые в различных частях биосферы. Поскольку изложенные требования в определенной степени противоречивы, то для их выполнения разрабатываются специальные математические системы для изучения региональных систем биосферы в целом. К сожалению, в нашей стране пока что слабо разработаны научные направления в использовании математического моделирования как одного из важнейших разделов биологии, особенно в экологии. Прежде всего, это объясняется неразработанностью математической экологии. Относительно лучше обстоит дело с разработкой отдельных направлений в экологии, которые эффективнее используют достижения математики в изучении свойств природы.

В связи с большой сложностью связей в экосистемах и их составляющих, с одной стороны, и между окружающей средой и человеком, с другой, весьма непросто выйти на общую характеристику основных свойств систем в форме уравнений и неравенств, способных обеспечить простое решение. Безусловно, модель необходимо дорабатывать до приближения к точности значений различных коэффициентов, определяющих функции этой модели, что весьма непросто. Кроме того, анализировать сложные связи в системах можно на основе теории устойчивости на базе математических результатов.

Изложенные выше особенности математических моделей обусловили выработку нового варианта анализа устойчивости систем, соотнеся это свойство с определенной её характеристикой: устойчивость системы на воздействие внешних факторов связывается с богатством и разнообразием их таксономического состава, в связи с чем видовое многообразие в определенных условиях используется для оценки устойчивости экосистем.

Разработка модели отдельных объектов или происходящих в них процессах базируется на реальной информации об этих процессах, включая предложения и расчеты на их основе с использованием различных методов (аналитических, алгоритмических) с последующим сравнением экспериментальных материалов с полученными расчетными данными. Анализируемый процесс условно можно представить в виде ряда последовательных этапов: 1) разработка предложений о возможных вариантах связей в анализируемой сис-

теме; 2) разработка математической модели, 3) анализ модели и полученных материалов в результате компьютерной проработки, 4) сравнение степени соответствия полученных результатов компьютерной обработки модели и накопленной экспериментальной информации, 5) разработка новой модели с учетом ошибок, допущенных в предыдущем варианте. При корректировке модели учитываются интуитивные и расчетные материалы.

Строится модель от частного к общему результату, и потому именно на каждом уровне изучаемых объектов для групп моделей требуется раскрытие общих закономерностей. Хотя этот этап не определяется как формализованный, тем не менее, он требует определенного уровня профессионализма от исследователя, способного в огромном потоке информации выделить общие закономерности.

Самым ответственным элементом разработки математической модели является определение величин и связей между этими величинами с применением соответствующих методов математики. Соотношение между изучаемыми объектами или происходящими в них процессами можно установить, используя методы логического, статистического и комбинаторного анализов. С помощью тех же методов можно полнее реализовать собранную информацию. Весьма серьезной проблемой является процесс составления возможных соотношений между изучаемыми объектами. Этот процесс не формализован и скорее носит логический характер, обоснованный на предыдущем опыте.

4. Типы моделей и их характеристика. Важнейшим механизмом изучения многовариантных процессов в экосистемах является математическое моделирование, представляющее действенное научное направление, способствующее практическому решению задач управления этими процессами. Необходимо подчеркнуть, что математическое моделирование ничуть не противоречит эксперименту, а, наоборот, дополняет его и развивает. Выделяют два типа основных моделей, используемых в экологии.

Модели первого типа базируются на основных законах материи (сохранение энергии, массы, закономерности трансформации, переноса и т.д.). Для конкретного объекта отбираются самые существенные показатели информации, формируемые в виде символов, и составляются уравнения, которые решаются, а затем дается анализ выполненных решений. Модели этого типа заключают в себя раз-

ные виды информации: формализованную априорную, обусловленную структурой самой модели (варианты интегрального, дифференциального, разностного, балансового уравнений), и определенную количественную, выраженную в коэффициентах модели, выведенных из полученной в опытах информации. В случае отсутствия данных о коэффициентах при решении математических моделей можно получить качественно-прогностические материалы.

Естественно, упрощенная модель не может в полной мере соответствовать реальной ситуации, поскольку довольно сложно отразить в модели всю совокупность сложных взаимоотношений между различными компонентами системы, а также невозможности полностью исключить случайные факторы, оказывающие влияние на жизнедеятельность и функционирование моделируемой системы. Модели второго типа базируются на установлении функционирования экологических систем через статистическое установление связей в таких системах. При разработке таких моделей подбирается метод статистического анализа, программирование процессов получения результатов контроля, обобщение данных об изучаемой системе, а также алгоритмирование и анализ статистических отношений с помощью компьютерных программ. Процедура всего процесса, связанная с изменением динамики ситуации, описывается повторно.

Поиски соответствующей модели базируются на выборе её типа и определении основных параметров статистическими методами. Исследуемая функция может быть однофакторной или многофакторной. Выбор модели является задачей неформальной, поскольку с одинаковой погрешностью записывается любая зависимость различными аналитическими приемами – регрессионными уравнениями. Наиболее рациональный выбор модели возможен только при учете следующих критериев: компактности (описывается одним или многими составляющими), обобщенности (с помощью коэффициента модели придается смысловая содержательность), исчисляемости (можно выразить конкретными величинами) и т.д.

Как правило, подбор и расчет основных параметров избранной модели формируется и выполняется на компьютере. Только имея базу данных (массив различных характеристик), можно сформировать математическую гипотезу о сущности структуры определенной экосистемы. Более верное представление о системе склады-

вается при отбрасывании малосущественной информации (например, сокращается список и количество второстепенных данных). Для объективной оценки правильности сокращения статистических сведений и сжатия таким образом экологической информации применяется факторный анализ с использованием метода наименьших квадратов, а в дальнейшем – и кластерного анализа.

Первичная экологическая информация, получаемая в процессе наблюдения и контроля, отличается многополярностью сведений, нелинейностью и неоднородностью взаимосвязей в исследуемой системе, вероятностью ошибок измерений, влияния неучтенных факторов, пространственно-временной динамикой. При выборе вида модели используют известные входные m ($x_1, x_2 \dots x_m$) и выходные n ($y_1, y_2 \dots y_n$) данные в матричной записи в виде двух моделей $Y=AX$; $X=BY$, если X и Y – известные входные (выходные) и выходные (входные) параметры экосистемы в векторной форме записи, а A и B - искомые матрицы постоянных коэффициентов параметров модели. Вполне приемлем и общий вид статистического моделирования: $CY=F=Dx$ (F – вектор скрытых влияющих факторов, C и D – искомая матрица коэффициентов).

Экологические закономерности, свойственные биологическим системам, исследованы еще мало, поэтому для их выявления необходимо осуществлять решение экологических задач с использованием как линейных, так и нелинейных зависимостей, что будет способствовать раскрытию многомерности и нелинейности моделируемых взаимосвязей. Обобщенная модель дает возможность выделить внутренние (не всегда четкие) факторы, влияющие на неизвестные экологические процессы, но отражаемые в компонентах векторов X и Y . Этот вариант анализа наиболее приемлем при отсутствии строгой причинно-следственной связи между величинами X и Y . С учетом воздействия скрытых факторов обобщенная модель устраняет определенное противоречие двумя моделями с матрицами A и B при фактической возможности использования для описания одного процесса двух различных моделей, что обуславливается противоположными смыслами причинно-следственной зависимости между величинами X и Y (в одном случае X – вход, Y – выход, а в другом, наоборот). Более сложная система описывается обобщенной моделью с учетом величины F (в сложной системе величины X и Y являются выходными, а скрытые факторы F действуют на вход).

Статистическое моделирование предусматривает использование априорных сведений, если еще в процессе решения устанавливаются некоторые закономерности моделей и сужается их потенциальное количество. В качестве примера изложим процесс составления модели, с помощью которой можно рассчитать количественно плодородие какого-то типа почвы за 24 часа с учетом её температуры (T) и влажности (W).

Любой вид растений за 24 часа урожай не сформирует, а бактерии с коротким жизненным циклом с этой целью можно использовать. Количественным критерием интенсивности их жизнедеятельности может служить количество выделенного CO_2 в единицу времени (P), и этот процесс можно представить в виде математической модели выражением $P = P_0 f(T, W)$, где P_0 - численный показатель качества почвы. При $T = 0^\circ\text{C}$ вода замерзает и CO_2 не выделяется, а при $T=80^\circ\text{C}$ большинство бактерий погибает. Этих данных уже достаточно, чтобы понимать, что интересующая нас функция носит квазипараболический характер: она близка к нулю при $T = 0$ и 80°C и имеет максимум внутри указанного интервала температур. Сходным образом через анализ можно подойти к показателю W . Функция приближается к нулю при $W = 0$ и 40% ; и её максимум можно ожидать при $W = 20\%$. Так выглядит приближенная математическая модель по определению плодородия почвы, и лишь выяснение особенностей функции $f(T, W)$ входит в задачу эксперимента при $T=20^\circ\text{...}30^\circ$ и $50^\circ\text{...}60^\circ\text{C}$ и при $W=10\text{...}15$ и $25\text{...}30\%$ с более точным установлением координат оптимума. Это сокращает объем статистических данных и экспериментальных работ. Параметры регрессионных моделей определяются преимущественно методами наименьших квадратов главных компонент и их разновидностями.

Третий (имитационный) тип математического моделирования вобрал в себя идеи и опыт построения моделей обоих предыдущих типов. Необходимость в этом типе моделей обусловлена потребностью в долгосрочном прогнозировании поведения сложных экосистем. Суть этого типа моделирования состоит в изучении сложной математической модели через экспериментирование с моделью и обработку результатов таких экспериментов через воссоздание причинно-следственных связей экологических явлений и процессов. Это дает возможность изучить теоретически поведение сложных систем, а также альтернативные стратегии управления экологиче-

скими процессами. В случае отсутствия точных формализованных правил такая модель не является единственной даже при одинаковых исходных характеристиках. Разработка самой модели представляет собой всего первый шаг в решении проблемы.

Весьма важным вопросом в системе моделирования является организация комплекса Программ, способных реализовать модель, структуру и механизм выполнения компьютерных экспериментов. В связи с этим правильнее вести речь об имитационной модели как о человеко-машинной системе, способной проводить машинный эксперимент в режиме диалога.

Создание имитационной системы моделирования можно разбить на такие этапы.

1. Формулировка задач изучения экосистемы и определение вектора состояния системы.

2. Введение временного шага (системного времени), моделирующего ход времени в реальной экосистеме.

3. Декомпозиция объекта исследования и построение блочной конструкции имитационной системы.

4. Формирование законов и гипотез функционирования экосистемы в целом и по блокам.

5. Разработка программ, реализующих блочные составляющие.

6. Верификация блоков по фактическим опытным данным.

7. Объединение блоков на базе стандартного или специально разработанного математического обеспечения.

8. Верификация модели в целом и проверка её адекватности.

9. Планирование математических экспериментов.

10. Анализ результатов машинного эксперимента с пополнением исходного банка данных.

5. Моделирование экологических процессов. Математическая экология как наука появилась задолго до оформления самой экологии. Примером тому может служить моделирование плодовитости кроликов итальянским математиком Фибоначчи в 1228 г., представляющая первую попытку математического прогноза динамики биологической системы. Ранние математические модели базировались на изучении и прогнозировании естественных процессов с учетом стремления их основных компонентов к стабильности систем на основе эволюционного развития.

Стабильность экосистемы определяется её способностью изменять свой состав и структуру без разрушения системы в целом при сохранении её основных характеристик. Экосистема как образование представляет собой саморегулируемый комплекс, все время стремящийся поддерживать не абсолютно стабильное, но равновесное состояние. Это достигается за счет функционирования составляющих систем на базе их прямых и косвенных, внутренних и внешних связей, энерго-вещественного и эколого-физиологического характера. Вариант простого саморегулирования, основанный на отрицательных обратных связях, значительно осложняется рамками гомеостатического плато (у каждой системы и её компонентов оно свое) и наличием вторичных связей, воздействующих по-разному на отдельные компоненты экосистемы. Модели, которые учитывают антропогенное влияние на компоненты экосистем и биосферы в целом, появились относительно недавно, основываясь уже на экспериментальной базе.

Новые модели более пригодны для количественного и качественного прогноза развития экологических систем и отражают реальные ситуации последних более основательно, чем старые. Они стали включать огромный поток информации, отражающей качественную и количественную объективность получаемых данных с учетом пространственно-временной оценки отдельных систем. Наличие в системах обратных связей указывает на многовариантность равновесия экосистем. Отмечают *равновесие стабильное*, если система сохранила тенденцию к реставрации условий предыдущего равновесия, нарушенного извне какими-то причинами. *Дискретно-стабильное*, или *нестабильное*, равновесие характерно для систем в том случае, если незначительные внешние воздействия вызывают в системе такие изменения, при которых она обретает новое устойчивое равновесие. Выделяются системы с *динамическим равновесием*, для которых характерны сбалансированные колебания относительно постоянно развивающихся во времени и в определенном направлении особенностей функционирования системы при весьма значительном размахе амплитуды колебаний, превышающих пределы изменений среднего состояния системы. Отрезок времени, который система затрачивает на переход из неравновесного состояния, обусловленного различными причинами, в новое равновесное, называется временем релаксации, которое зависит от устойчивости и со-

стояния компонентов системы, её структуры и направленности изменений.

Поскольку прямые исследования с биосферой в принципе невозможны, поэтому моделирование, включающее методологию экспертной оценки, может служить важным средством получения объективных сведений о состоянии ландшафтных систем и биосферы в целом под сильнейшим прессингом на них человека. Экологическая модель является формализованным систематизированным, четко обобщающим и по возможности более полным вариантом описания экосистемы. В процессе построения такой модели обнаруживаются слабо изученные звенья круговорота веществ в экосистемах. Это позволяет использовать модели в качестве важного рычага оценки рационального планирования экологических исследований.

Методологической основой концептуально-балансовых моделей в экологии являются работы Г. Одума (1961), Д. Форрестера (1961), А.А. Ляпунова и С.В. Яблонского (1963) и др. Хорошо известен ряд моделей, используемых для описания наземных экосистем. В этом плане определенный интерес представляют достаточно полные с учетом всех трофических связей концептуально-балансовые модели динамики органического вещества луговой степи на типичном черноземе и мохово-кустарниковой тундре, построенные Г.Г. Гильмановым и Н.И. Базилевич (1983, 1986). Эти модели могут служить своего рода точкой отсчета для фиксации обусловленных человеческой деятельностью изменений окружающей среды.

Концептуально-балансовая модель по своей природе статична, составляет вариант средних значений круговорота веществ за определенный период в той или иной системе, что и является весьма существенным её недостатком. Существует ряд вопросов, затрагивающих изучение (наблюдение и контроль), прогнозирование и управление процессами в динамике экосистем, решение которых невозможно на основе концептуально-балансовых моделей; их решение возможно на базе динамического моделирования, но базовым этапом для них является именно концептуально-балансовый подход.

Основой динамической модели в экологии являются законы сохранения вещества и энергии и те соотношения, которые складываются в потоке вещества и энергии под влиянием изменяющихся факторов окружающей среды. В динамических моделях количест-

венные связи биогеохимических циклов выражаются системой дифференциальных уравнений $x_i = f_i(x, v)$; где $x = (x_1, \dots, x_n)$ – множество переменных состояния экосистемы; $v = (v_1, \dots, v_k)$ – множество факторов среды; $f = (f_1, \dots, f_n)$ – множество скоростей перемещения вещества в экосистеме; n – число компонентов среды.

Динамические модели делятся на детальные, или многокомпонентные, и обобщающие, или малокомпонентные, и определяют степень детализации изучения системы (в частности биохимических циклов). Моделирование таких циклов было начато еще В.А. Костицыным, учеником В.И. Вернадского, предложившим модель биохимических циклов при анализе биосферных процессов. Работа В.А. Костицына "Эволюция биосферы" рассматривает биосферу с точки зрения её системного анализа. В настоящее время разработано немало моделей биогеохимических циклов многих элементов в природных комплексах на разном уровне – экосистемно-ландшафтном, региональном, глобальном (Гильманов, 1978; Рыжова, 1980; Александров, Логофет, 1985; Арманд и др., 1987; McGill et al., 1981 и др.).

Многокомпонентные модели (имитационные) используются для изучения динамики экосистем в кратковременном промежутке – за сутки, месяц, сезон, год. Для изучения долговременной динамики экосистем (десятков и сотен лет) широко используются обобщающие модели, отличающиеся относительной простотой и наглядностью полученных данных и выдачей аналитического варианта решения задачи. В качестве примера малокомпонентной обобщающей модели может быть рассмотрена глобальная модель биогеохимического круговорота углерода в системе атмосфера – растение – почва, весьма хорошо представленная в работе Моисеева и др. (1985) и построенная с целью выяснения влияния антропогенных нагрузок на реакцию системы. Модель оценивает длительность процессов в десятки и сотни лет, что значительно меньше продолжительности геологического круговорота углерода (его интенсивность оценивается в отношении как 1:1000 к биологическому круговороту). Столь низкая интенсивность геологического круговорота углерода (при отсутствии обвальных факторов) приводит к тому, что масса углерода по блокам системы практически не меняется при весьма высокой степени обобщения переменных. Предложенная модель круговорота

углерода включает травяную и лесную подсистемы и описывается системой дифференциальных уравнений балансового направления.

Компьютерная обработка модели круговорота углерода дала возможность оценить влияние различных воздействий на способность противостоять системе атмосфера – растение – почва и определить степень и скорость компенсации воздействий. Мгновенное увеличение количества CO_2 в атмосфере на 10% по отношению к реальному наличию его в экосистеме показало, что весьма большой возможностью поглощать избыток CO_2 отличается лесная подстилка по сравнению с травяной. Например, лесной массив поглощает до 70–74% всего выброса углерода, а травяная всего лишь до 50–57%; причем лесная подстилка быстрее ведет удаление углерода, чем травяная. Лесная подсистема половину выброса углерода способна удалить за 10–16 лет, а травяная – за 60–90 лет.

Известно, что биогеохимические циклы азота, серы, углерода и фосфора довольно тесно увязаны, и потому модели взаимодействия их циклов имеют большое научное и практическое значение. Примером является модель, оценивающая взаимодействие биогеохимических циклов С и N (McGill et al., 1981). Побеги, корни, ветошь и подстилка составляют растительный блок, а бактерии и грибы - микробный. На метаболическую и структурную фракции по отношению С:N разделены мертвые остатки растений и микроорганизмов. В структурной фракции соотношение С:N составляет 150 для растительной части и 30 – для микробной; соотношение в метаболической фракции 5 и 3 соответственно. На две фракции разделено органическое вещество почвы: мобильную со временем оборота в 20 лет и стойкую со временем оборота в 500 лет.

Аммонийная и нитратная формы представляют в модели минеральный запас азота почвы, а атмосферные осадки, влажность и температура почвы, минимальная температура воздуха и зоны растительного покрова – внешние переменные. Скорость перемещения углерода и азота оценивается через скорость и серию редуцирующих факторов без указания их количественного выражения. В зависимости от температуры, влажности, возраста и отношения С:N всем факторам определены значения в пределах 0–1. С помощью функции Михаэлиса-Ментена с учетом влияния температуры, влажности и соотношения в корнях С:N описывается поглощение растениями азота в зависимости от содержания его минеральной формы у

поверхности корней. За временной масштаб отсчета в модели взяты сутки. Именно кратковременные вариации в системе (за месяц или год) выдает построенная модель при таких действиях, как например, внесение удобрений, обработка почвы, полив и т.д. Изучение модели показало, что оборачиваемость азота в травяных подсистемах через микробиальную часть за год почти в три раза интенсивнее, чем через травяную.

Основные проблемы почвенного мониторинга определяются загрязнением почв тяжелыми металлами, подкислением почв кислотными осадками, засолением, заболачиванием, загрязнением радионуклидами, пестицидами и нефтепродуктами. Построение моделей с целью решения перечисленных проблем важны в теоретическом и практическом планах. Такие модели созданы рядом авторов (Cosby et al., 1985; Сысуев, 1986; Пачепский, 1987 и др.). Все модели построены с учетом закономерностей динамики в почве физико-химических процессов. Созданы такие модели физико-химических процессов в почве и ландшафтах (Сысуев, 1986; Пачепский, 1990).

Моделирование в экологии. Системный способ мышления проникает во все сферы человеческой деятельности и научной методологии. Этот способ мышления следует рассматривать на основе диалектического развития природы, принимая во внимание единство и различия в развитии органического мира и представления о всеобщности и многообразии связей и отношений, о взаимоотношении объекта и субъекта. Системный подход включает понятие системы и взаимодействия элементов, структуры и обратных связей, функционирования, моделирования и управления. Развитие системных идей в биологии было положено Л. фон Берталанфи (1937), указавшего на изоморфизм в науках, эквивиальность биосистем, на неоправданность сведений свойств целого к свойствам его отдельных частей и определившего систему как совокупность взаимодействующих элементов. Хотя системный подход как научный метод давно определился в биологии, тем не менее, его методологические основы проработаны слабо, несмотря на достаточно полную реализацию принципов системной динамики в ряде экологических моделей: по экосистеме Азовского моря, озера Байкал и т.д.

Системные идеи сформулированы еще В.И. Вернадским в учении о переходе биосферы в ноосферу. Он высказал мысль о существовании ранее неизвестного информационного аспекта в живой

природе, поставившего вопросы саморегуляции и управления эволюцией биосферы и определившего следующий уровень наших представлений о ней на основе формализации знаний и использования математического аппарата в прогнозировании её развития.

Использование системных идей в моделировании экосистем обусловило необходимость конкретизации наших знаний о биосфере в целом и конкретных экосистемах в частности, определении границ их основных параметров, определении направлений развития и возможностей управления этим развитием, что подчёркивает главную черту современного системного подхода, отделяющего его от интуитивных системных представлений в прошлом. Хотя начало становления системной экологии относится к 20–30-м годам XX века, основное развитие этого направления, как и определение самой экологии как науки и её классификационных единиц в ранге экосистем получило после известных работ Тенсли (1935).

Для целей моделирования экосистему следует показать как совокупность взаимодействия биотических, абиотических и антропогенных факторов на основе сбора определенных параметров или переменных, меняющихся во времени. Содержание моделируемой системы определяется исследователем в каждом конкретном случае. В качестве цели исследования может быть вариант поведения моделируемой системы, например, через определенный отрезок времени.

Важнейшими свойствами экосистемы являются сложность, способность к адаптации в окружающей среде и устойчивость. Набор существенных связей в экосистеме относительно невелик, в противном случае её существование зависело бы от бесконечного числа факторов, и она не могла бы существовать долго. Поэтому выбор наиболее важных связей и будет способствовать сбору самой нужной информации для моделирования, поскольку сложность модели зависит от набора показателей и числа связей в ней. Из-за многообразия целевых и функциональных состояний экосистему можно представить в виде набора моделей, отражающих с большим допуском отдельные стороны реального состояния.

Удачно построенная модель перестает быть сложной. При её построении наибольшую трудность представляет выбор связей и установление качественной структуры, а затем – количественная характеристика связей и компонентов экосистемы. Развитие и функционирование экосистемы определяется её ассимиляцией

внешней среды. Развитие экосистемы делится на 3 фазы: роста, стагнации (застоя) и гибели (или перехода в новое состояние, обусловленного накоплением функциональных сдвигов, которые и определяют коренную перестройку системы). В экосистеме много элементов, формирующих многочисленные связи, и состояние экосистемы зависит от состояния каждого из них, а состояние отдельного элемента зависит от состояния экосистемы в целом. Накопление изменений до критического уровня за n -отрезок времени и вызовет перестройку всей системы.

Каждое состояние системы в определенный промежуток времени отражает всю совокупность её изменений за исторический период её формирования, становления и функционирования. Именно функциональное сходство отдельных элементов, из которых каждый может заменить выбывший, повышает устойчивость экосистем к воздействию на них внешних факторов среды. Реакция экосистем на внешние факторы весьма специфична: к одним отношению пассивное, а к другим весьма активное.

Экосистемы характеризуются весьма высокой способностью адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды, если только эти изменения не катастрофического уровня. В случае адаптивности экосистемы к условиям среды уже сама среда становится частью экосистемы, обеспечивая жизнедеятельность последней. Варьирование характеристик окружающей среды вызывает реакцию экосистемы на эти изменения, расширяет её гомеостатичность и диапазон устойчивости. Экосистемы с постоянным (по условиям) резерватом менее устойчивы к разного рода изменениям внешней среды. Способность экосистемы противостоять разным уровням возмущения среды и определяет их устойчивость, являющуюся важным показателем при моделировании любой системы.

Глава 8. Прогнозирование и управление экологическими процессами

1. Прогнозирование в системе мониторинга. Прогнозы развития экосистем в той или иной мере разрабатываются при любом варианте исследования природных объектов, хотя подходы к прогнозированию различных систем и их методы весьма различны, что связано как с концептуальными аспектами задач исследования, так и с информационной обеспеченностью прогнозирования. Собрать материал для прогноза развития той или иной экосистемы, учитывая его многоплановость, задача весьма трудная. Поэтому качество прогноза во многом определяется глубиной изученности динамики экологических процессов, что требует организации и проведения многолетних режимных наблюдений для установления естественных циклов изменения, если не всех, то хотя бы основных компонентов экосистемы.

Получаемый экспериментальный материал преобразуется в доступную и удобную для прогнозирования форму на базе создания банка информации, включающей различные виды антропогенного влияния на экосистемы. Организация экологических исследований с целью совершенствования прогнозирования, а также анализ состояния экосистем и оценка ранее сделанных прогнозов являются важнейшими аспектами процесса их прогностического моделирования. Для информационного банка весьма немаловажно иметь данные о роли антропогенных факторов в динамике функционирования экосистем. Разработка прогноза основывается как на базе общих моделей развития экосистем, так и отдельных процессов её функционирования (например, динамика температурного режима и продуктивность планктона в водных экосистемах, эволюционное развитие ведущих популяций биоты и т.д.).

В долгосрочное прогнозирование обязательно включаются такие вопросы, как динамизм и развитие популяций, их генотипиче-

ская изменчивость, концентрированные связи в системах и т.д. Важной задачей прогнозирования является поиск таких экологических критериев, которые бы объединяли все микропрогнозы и создавали бы в сумме реальный объективный прогноз природной системы и уровней взаимоотношения с человеком. Качество прогноза зависит от организации сбора исходного материала, качества его обработки и выбора методов и приемов прогнозирования, которые определяются выбранной целью. Центральная проблема современной экологии – повышение надежности экологического прогнозирования, которое можно рассматривать как функцию системы, составляющую экологического мониторинга и как раздел прогностики.

Термин "прогноз" греческого происхождения и означает суждение о состоянии какого-либо объекта, системы или явления в будущем. Экологическое прогнозирование – это предсказание состояния определенной системы, включающей как существенный элемент хотя бы одну природную популяцию. Для разработки экологического прогноза используют экологический предитор – модель, но не обязательно математическую.

Прогноз состояний одной и той же популяции может быть сформулирован в трех формах. В качестве примера можно взять 3 типа прогноза численности (состояния) популяции байкальской мезоципы – одного из доминантов фитопланктона: 1) весной будущего года численность водорослей достигает 22 тыс. кл./л; 2) численность водорослей будет значительно больше, чем в предыдущую весну и 3) будет вспышка численности этих водорослей (Брусиловский, 1989). При сравнении двух разных прогнозов первого типа можно отметить количественные отличия одного прогноза от другого, поэтому такие прогнозы называют количественными (в них определенная переменная оценивается по количественной шкале).

Сравнение двух разных прогнозов второго типа указывает на уместность вопроса о том, какой прогноз предвидит большее значение численности, – такой прогноз называется ранговым или порядковым (численность в этом прогнозе измеряется в ранговой шкале). Сравнение разных прогнозов третьего типа показывает, что они будут отличаться между собой только названиями предсказываемых состояний. При наличии всего двух состояний (вспышка размножения и отсутствие вспышки) такие прогнозы называют бинарными (дихотомическими, бивалентными). Если число сравниваемых со-

стояний больше двух, то такие прогнозы называют номинальными. Для последних прогнозов бессмысленны вопросы сравнения количественных и ранговых величин. Разрабатывая экологическую модель, используют имеющуюся информацию о функционировании системы в течение определенного времени в прошлом, который называют периодом основания прогноза, а период, на который распространяется прогноз, называют периодом упреждения прогноза.

Важна также надежность прогноза, уровень его точности и достоверности. Под надежностью понимается некоторая разумная мера отличий предсказанных состояний (например, численности) популяции (экосистемы) от реализовавшихся практически. Конкретные отличительные меры вводятся уже при построении прогноза реальных систем. Общепринятого определения надежности экологического прогноза нет и, по всей видимости, не будет в связи с очень большими различиями отдельных популяций и данными об их состоянии, а также целей и методов прогнозирования.

Время упреждения, надежность и детальность формулировки составляют основной блок характеристик экологического прогноза. Без учета этих характеристик любые прогнозы будут малосодержательными, что хорошо спародировала знаменитая финская сказочница Туве Янсон. В сказке «Мумитролль и комета» приводится прогноз ученых обсерватории в Одиноких Горах, сделанный 3 октября за 4 дня до совершения действия: «комета должна коснуться Земли вечером 7 октября в восемь часов сорок две минуты или, возможно, на четыре секунды позднее». Событие свершилось 7 октября в 8 часов сорок две минуты и четыре секунды, т.е. прогноз оправдался: период упреждения составил 4 суток, достоверность равна единице (правда, комета пролетела, к счастью, мимо Земли).

По величине периода упреждения выделяют прогнозы краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные. Многие процессы в экосистемах происходят в диапазоне от нескольких часов и суток (например, в популяции бактерий) до нескольких веков (лесные экосистемы). Такой широкой временной динамичностью экосистем и объясняется бесполезность жесткой регламентации периода упреждения в экологии. Само понятие срочности прогнозов в экологии относительно, поскольку зависит от свойств экосистем и формулировки разрабатываемого прогноза.

Прогноз называется категорическим, если его формулировка имеет однозначность утверждений о состоянии системы в перспективе без ссылок на степень неуверенности его реализации. Если вместе с формулировкой предсказываемого состояния отмечается и некоторая мера неуверенности его выполнения, тогда говорят о размытом прогнозе. Например, утверждение, что в следующем году будет вспышка численности саранчи, дает представление о прогнозе утверждающем, категоричном; прогноз типа «плотность саранчи будет в пределах 30–50 особей/м²» – это прогноз размытый.

Прогнозы разделяют на поисковые и нормативные. Поисковый прогноз отвечает на вопрос: что случится с системой при неизменности существующих тенденций. Нормативный прогноз отвечает на вопрос, какими путями достигается желаемое состояние. И потому они весьма важны для управления экосистемами и в целом для рационального природопользования (для управления численностью насекомых, исследовании экосистем и т.д.).

Стандартной оценки надежности экологических прогнозов (верификация) не существует в силу тех же причин, которые обусловили отсутствие общепризнанного определения надежности прогноза, и потому для каждого случая предсказания о поведении системы нужно описывать порядок верификации прогнозов отдельно. Наиболее простым считается долгосрочный прогноз, поскольку его верификация весьма сложна. Тут уместно вспомнить «принцип Ходжи Насредина», – обещавшего научить читать своего ишака, рассуждая, что к тому времени, «или ишак подохнет, или хан умрет, или со мною что-то случится». Возможно, что разработка прогнозов последствий переброса стоков северных рек, чего, к счастью, не случилось, базировалась именно на таком принципе.

Научное предсказание является одной из функций экологии, поэтому реально любое экологическое исследование имеет отношение к прогнозированию. Выбор экологического прогнозирования должен быть способным формировать на базе доступной информации надежные прогнозы динамики развития той или иной экосистемы. Система прогноза включает: методы прогнозирования и средства их реализации; она не должна быть ориентирована на широкий класс экологических объектов в силу их высокой специфичности.

Следует иметь в виду, что в прогнозировании выработаны свои алгоритмы исследования. Всякое прогностическое исследова-

ние в экологии включает: 1) формулировку цели, 2) обоснование выбора периода упреждения и детальности формулировки разрабатываемых прогнозов, 3) характеристику материала исследований с оценкой точности определений (измерений), 4) алгоритм (модель) формирования прогноза, 5) построение прогноза, 6) методику верификации прогнозов и 7) результаты верификации построенных прогнозов.

К большому сожалению, в публикациях по экологическому прогнозированию редко учитываются все указанные компоненты, особенно это касается последних – построения прогнозов, методик верификации и их результатов (оценка надежности построенных прогнозов). Неопределенность будущего состояния природных популяций и экосистем современная наука снять не может по следующим причинам:

1. Значительные ошибки и малочисленность измерений различных экологических параметров усиливают неопределенность системы в целом: а) количество измеряемых точек редко превышает 30, б) точность измерений весьма низка, и потому мало смысла выражать характеристики количественными параметрами (например, плотность беспозвоночных в почве невысока и рациональнее, очевидно, их численность оценивать не по количественным, а по номинальным ранговым шкалам).

2. Неполнота наших знаний о механизмах функционирования экосистем также усиливает неопределенность будущего экосистемы; многие характеристики не всегда дают исчерпывающую информацию о реальном составе сообществ и наиболее значимых факторах в экологическом прогнозировании.

3. Неясность будущего экосистем связана с их внутренним свойством и состоянием соседних экосистем.

Одним из итогов прогнозирования является частичная непредсказуемость состояния систем. При определенных характеристиках (период упреждения и детальность формулировки прогноза) существует такой уровень надежности прогноза, достичь которого практически невозможно, что согласуется с новыми представлениями о возникновении хаоса в динамических развивающихся системах – экосистемах, сообществах, популяциях. Установлено, что большинство развивающихся систем способны порождать хаос (как внутреннее свойство системы), возникающий почти всегда и везде.

Хаос редко обнаруживается лишь потому, что возникает в узкой области параметров, проявляется в больших временных пределах или перекрывается более сильными процессами.

Экологические прогнозы можно разделить на тривиальные (предсказание относится к ординарным проявлениям устойчивой системы) и нетривиальным (происходит смена самой системы или какие-либо неординарные в ней самой события). В качестве неординарного события можно привести пример экологической катастрофы в прибрежных водах Норвегии и других северных странах Европы летом 1988 г. Одноклеточная водоросль хризохромулина полилепис в обычных условиях вегетирует на небольшой глубине при плотности 100 тыс. кл/л, не оказывая особого влияния на экологическое равновесие прибрежной зоны. Вдруг неожиданно в середине мая плотность резко возросла и к началу июня достигла 100 млн кл/л, что вызвало гибель многих обитателей моря. Водоросль выделяет слизь, которая при попадании в жабры рыб вызывает удушье. К середине июля плотность водоросли пришла в норму. Можно ли было предсказать прогноз? Скорее всего, нет, и подтверждением тому является всемогущество (омnipotentность) ряда экологических факторов, которые в прошлом были малозначимыми. Именно совокупность благоприятных климатических (теплая вода, солнечная погода) и антропогенных факторов – насыщение воды солями биогенов, особенно азотом (паводками с полей Дании и Германии смыло огромное количество биогенов, попавших с речной водой в Северное море), очевидно, и обусловила катастрофу.

Всемогущество факторов – это такая реальность, с которой нельзя не считаться, но необходимо стремиться к снижению вероятности негативного проявления. Поскольку экосистемы представляют собой открытые системы, то случайность воздействия среды на систему делает практически невозможным точное предсказание её будущего развития. Поэтому идеальный вариант модели прогноза экосистемы практически невозможен в силу проявления любой из следующих характеристик: малого числа измерений или недостатка других экологических параметров, что приводит к дефициту экологической информации; больших погрешностей при определении многих экологических факторов, неполноты наших знаний о механизме функционирования экосистемы: наличия хаоса в динамиче-

ских системах, всемогуществе некоторых факторов, открытости системы, а также стохастичности среды.

2. Специфичность экологического прогнозирования. При разработке прогноза необходимо учитывать следующие системные принципы:

1. Множественность моделей показывает, что одни и те же состояния экосистемы можно определить с помощью различных прогнозов.

2. Принцип omnipotentности подчеркивает возможность смены значимости факторов, что вызывает непредсказуемое поведение системы.

3. Принцип контринтуитивного поведения (экосистемы на внешние воздействия отвечают иначе, чем определено нами интуитивно на основе предыдущего опыта).

4. Принцип несоответствия точности и сложности (понятие точности и сложности обратно пропорциональны – чем точнее исследователь попытается познать экосистему, тем меньше он её знает и понимает, т.е. за деревьями не видит леса).

Иными словами, правдоподобных моделей прогнозов одной системы можно предложить много (первый принцип), безоговорочно доверять нельзя ни одной (второй принцип), как нельзя доверять и экспертам (третий принцип), и высокие стандарты точности в экологическом прогнозировании просто недостижимы (четвертый принцип). С одной стороны, уникальность экосистем, невозможность редукции и постановки системных исследований, буферность реакций экосистем на внешние условия как бы подчеркивают неверие специалистов в реальность экологического прогнозирования, а с другой стороны, рост числа возможных потребителей, нуждающихся в надежных экологических прогнозах, подчеркивает необходимость разработки последних. В числе вариантов выхода из такого положения следует назвать совершенствование методологии экологического прогнозирования и поиска сочетания между периодом упреждения прогноза, его деятельностью и надежностью.

Прогнозирование экосистемы возможно только при достаточном объеме сведений по её структуре и поведению. При малом количестве сведений никакой компьютер, никакой математический аппарат помочь не смогут. Выходом из положения может служить сбор недостающей информации. Кроме того, нередко наблюдения за

экосистемами проводятся нерегулярно и бессмысленно, а заполнить белые пятна недостающей информацией – задача весьма непростая. Именно период упреждения, детальность формулировки и надежность разрабатываемых прогнозов и специфика поведения системы определяют целесообразность их создания. Соответствующие модели прогнозирования коротких временных периодов не всегда и не везде применимы. Даже при наличии, например, 100 наблюдений не всегда можно дать среднесрочный прогноз. При 20–30 наблюдениях можно создавать пробные кратковременные прогнозы вне зависимости от специфики анализируемой экосистемы.

Моделирование систем в количественной шкале широко распространено в экологических исследованиях. Например, численность популяции млекопитающих характеризуется по количественной шкале. Нередко результаты исследований описываются в шкале наименований (например, вспышка саранчи будет в 2012 г. или её не будет). Точность наблюдений и правильность выводов в качественной шкале, как правило, выше, чем в количественной. Например, численность популяции измерить сложнее, чем решить, была ли вспышка её массового размножения или нет. Именно эти обстоятельства заставляют нас обратиться к шкале наименований при описании любой экосистемы. Разработка прогнозных моделей обуславливает необходимость учитывать свойства определенной системы, объем, точность имеющейся и поступающей эмпирической информации, а способности исследователя направлены на построение модели, параметры которой определены относительно небольшой выборкой наблюдений и которая бы имела практический смысл.

При квалифицированной выборке времени упреждения и детальности прогноза с учетом дополнительных свойств системы и полученной информации возможно построение достаточно надежных прогнозов её состояния. Весьма часто в экологии наблюдаются ситуации, когда системы и прогнозы их состояния проводятся несколькими методами с созданием самых разных моделей состояния одной системы. Имеется достаточно много пакетов прикладных программ (ППП) по прогнозированию временных рядов (Брусилевский, 1986). Основным недостатком этих программ является то, что прогноз конкретного временного ряда строится только в рамках одного алгоритма.

Для разработки систем экологического прогнозирования необходимо иметь такое программное обеспечение, которое давало бы возможность работы с небольшой выборкой данных, отличающихся заметной информативностью, использовать приемы борьбы со всемогуществом факторов, учитывать знание и видение одного и того же значения с помощью множества разнотипных и более-менее равноценных моделей (возможную их разношкаловость), отличаться гибкостью к новой информации. Существующая методология прогноза экологических систем не ориентирована на обеспечение по доступной информации максимально возможной надежности прогнозов.

3. Новые подходы к экологическому прогнозу. Именно применение разнотипных моделей в сочетании и представляет собой резерв повышения надежности экологического прогноза, при создании которого показатели подвижности прогнозов оценивают как по параметрам отдельной модели, так и путем выбора лучшей из них у различных в определенном классе функционирования членов коллектива (предикторов). Такая методология включает три этапа:

1) коллективизацию (проектирование коллектива разнотипных моделей),

2) гибридизацию (построение модели гибрида – функционала от моделей-индивидуумов),

3) эксплуатацию (формирование прогноза на основе соответствующей модели-гибрида). Роль модели-индивидуума может выполнять эксперт, имитационная модель, научная лаборатория. Такая методика ориентирует на работу с банками разнотипных экологических моделей и предназначена для построения кратко- и среднесрочных прогнозов состояния систем с возможностью их высокой надежности при наличии хотя бы 20–30 сведений.

Наибольшая надежность прогнозов достигается при применении оптимизированных алгоритмов гибридизации моделей индивидуумов. Повысить надежность прогноза можно при использовании новой информации (увеличение размерности соответствующего временного ряда, добавление в коллектив новой индивидуальной модели, повышение точности измерений и т.д.). В коллективе структурные связи выбираются так, чтобы положительные свойства моделей дополняли друг друга, а отрицательные компенсировались. Первый этап этой методологии неформализован, его основу состав-

ляет такая организация коллектива моделей, которая обеспечит проявление эффекта системности типа "целое больше суммы своих частей", что указывает на более высокую надежность коллективных прогнозов по сравнению с надежностью лучшей из индивидуальных моделей. Кроме того, ошибки надежности какой-то модели не должны сказываться на надежности коллективного прогноза, и потому в коллектив необходимо включать самые лучшие модели-индивидуумы, способные существенно снизить влияние всемогущих факторов.

Коллективный прогноз будет качественнее при осуществлении в коллективе гибридизации различных методов и алгоритмов, а такое поведение взаимной коррекции отдельных членов коллектива будет способствовать их совместному функционированию. Модели-индивидуумы разных авторов следует рассматривать как отдельные узкоспециализированные инструменты познания с реализацией своего рода принципа разделения труда. Рассматриваемая методология прогнозирования позволит эффективно работать с банками моделей, включая в себя достижения в области экологии, информатики и прогностики; ключевым этапом этой методики является гибридизация моделей.

Таким образом, методология экологического прогнозирования на основе использования коллективов разнотипных моделей дает возможность повысить надежность прогнозов через использование больших количеств вычислительных средств, и при снижении их стоимости эта методология будет наиболее приемлемой. Такая методология вносит значительный вклад в задачу перехода с экстенсивных методов экологических исследований на интенсивные (с автоматизацией прогностических исследований). Сегодня человек еще слепо следует за капризами природы или противопоставляет себя им без особой веры в реальность осуществления своих замыслов. Применение методологии экологического прогнозирования на основе использования коллективов разнотипных моделей дает в руки человеку компас для правильного выбора пути.

Благополучное развитие человечества возможно только на путях гармонии отношений человека и природы. При прогнозировании поведения объекта или какой-либо ситуации в природе определяется (условно или абсолютно) продолжительность времени прогноза, уровень точности прогнозируемых результатов за отведенный

временной период. Исследователем определяется уровень детализации наиболее ответственных свойств объекта, чем, собственно, научный прогноз заметно отличается от общего предсказания, значимость которого весьма низкая.

Наблюдаемые в природе процессы несравненно богаче и разностороннее по сравнению с программными моделями, что и обуславливает снижение ценности любых абстрактных прогнозов. Тем не менее, прогноз бесспорно следует определять как научное предсказание, несмотря на многочисленные допуски, ограничения и предположения. Происходящие в природе любые процессы в результате исследования могут быть разбиты на несколько этапов, включая разработку модели определенного процесса, определение цели исследования, а также выработку терминов разрабатываемой модели и её сравнения. Выполнение выделенных этапов будет способствовать разработке модели изучаемого объекта. Такая модель может быть формальной, когда система окружена рядом математических соотношений или описательной, базирующейся в основном на наблюдаемых зависимостях. Поэтому увеличение получаемой в результате исследования информации о том или ином объекте, безусловно, будет способствовать разработке более глубокого прогноза.

Уровень прогнозирования определяется целью экспериментов и оговоренных ограничений и допусков. В связи с этим прогнозирование на основе научных методов мониторинга взаимодействия человека и природы обуславливает анализ взаимоотношения природных и социальных процессов и обоснование дальнейших решений, с одной стороны, человека, с другой – динамики развития природных процессов. Бесспорно такие решения еще нужно претворить в реальное направление.

Разработка системы прогнозирования связана со значительными трудностями, что сопряжено с недостатком материальных и технических средств, необходимых для построения прогноза с определенным уровнем точности развития природных процессов, меняющихся под влиянием человека. Безусловно, большое значение имеет раскрытие возможных изменений в природе и в развитии общества, их внутренних закономерностей, а также понимание эволюционных изменений в окружающей среде через организацию системного мониторинга развития ландшафтных систем. Любая из по-

ставленных задач требует решения, что зависит от цели исследования и уровня оценки возможного влияния изменений в природе на общество.

В системе прогнозов большое место занимает социально-экономическое развитие общества, особенно при разработке краткосрочных прогнозов. Однако для долгосрочного прогнозирования краткосрочные прогнозы оказываются нередко малоэффективными. Относительно развития цивилизации в долгосрочном варианте разрабатываются прогнозы преобразования окружающей среды на основе её многолетнего мониторинга, не допуская существенных отклонений её равновесия и устойчивости.

Понимание человеком объективных законов природы дает возможность преобразования на этой основе окружающей среды при одновременном поддержании устойчивости, с одной стороны, и постоянного изменения, с другой. Экологические системы пребывают в постоянном развитии сопряженно с изменениями абиотической среды, что необходимо отслеживать на основе многолетнего комплексного мониторинга. Происходящие при этом изменения отдельных экосистем и их отдельных составляющих указывают на объективные процессы, происходящие в природе. Поэтому одной из проблем взаимодействия человека и природы может быть стремление на основе анализа результатов комплексного мониторинга и реализации экологических проектов создать такие условия, при которых не только экосистемы, но и отдельные таксоны не будут погибать. Основная задача человека правильно определить скорость варьирования природных систем и основных показателей взаимоотношения природы и человека, поддерживающих их развитие в динамике, что можно регулировать на основе осуществления грамотного мониторинга их функционирования.

4. Управление экологическими системами. Мы пока не обладаем полным набором необходимых знаний и сведений о функционировании биосферы или её отдельных систем для решения конкретных задач экологического управления системами. Тем не менее, человек не может обойтись без попыток научного управления экосистемами разных уровней, поскольку без овладения сущностью современных экологических процессов, усугубляемых самим человеком, биосфера не может выдержать все нарастающее давление, а сам человек – существовать длительный период вне биосфе-

ры. Поэтому человек снова и снова делает попытки проникнуть в сущность современных биосферных процессов.

На основе изучения объективных экологических закономерностей развития природных или природно-хозяйственных систем человечество способно подойти к экологическому управлению природными процессами в соответствии с практическими задачами цивилизации. Систему управления экологическими системами можно разделить на четыре части:

1. Управление экологическими системами осуществляется на основе целевых функций с учетом предыдущих и текущих показателей испытаний комплексного мониторинга, характеризующих экосистему, и прогностических параметров результатов выполнения экологических проектов на базе планирования организационно-технических мероприятий и их практической реализации.

2. Управление экологическими системами возможно при ограниченном оптимальном наборе интегральных количественных и качественных характеристик экосистемы, на основе результатов комплексного мониторинга, способствующих глубокому пониманию основных функциональных связей между их важнейшими составляющими.

3. Управление экологическими процессами совершенствуется при постоянном пополнении и проработке базы данных на основе ежегодного комплексного мониторинга и экологических знаний, включая такие важные параметры, как степень учета обмена веществ, энергии и информационного потока в экосистеме.

4. Управление экологическими процессами совершенствуется с помощью экологических экспериментов и на основе ведения комплексного мониторинга с использованием коллективов прогностических моделей при постоянном совершенствовании взаимоотношений природы и человеческого общества.

Основными задачами управления экологическими процессами являются восстановление равновесного (близкого к климаксному) состояния экосистемы, установление зон её устойчивого (равновесного) состояния при необходимости перевода в другое равновесно устойчивое состояние. Решение задач рационального управления эксплуатацией экосистем возможно на путях объединения результатов популяционной экологии с методами математического моделирования экологических процессов и обработки оптимальной страте-

гии их функционирования. На первом этапе необходимо создать комплексную систему мониторинга сложной системы на базе ограниченного числа составляющих с учетом основных процессов в отдельных популяциях (половая и возрастная структура, плотность и эффекты её определения и т.д.) и построить её адекватную модель, на основе которой можно ставить и решать задачи оптимизации экологического управления.

Изучение характера и механизмов динамики численности популяций составляет одну из важных проблем теоретической и практической экологии. Весьма актуально объяснение механизма циклического и нерегулярного поведения численности популяций для описания особенностей протекающих в экосистемах процессов и для практического использования биологических ресурсов. Изучение в процессе мониторинга характера динамики развития популяций в экосистеме дает богатый материал как для понимания состояния самой системы, так и для решения задач по рациональному управлению природными процессами.

ЧАСТЬ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Глава 9. Особенности мониторинга биологических систем

1. Общие вопросы мониторинга биологических систем.

При организации мониторинга биологические объекты следует рассматривать как часть экосистемы, уделяя основное внимание оценке функциональных связей между составляющими их популяциями, с одной стороны, и различными организмами и абиотическими объектами, с другой. Экологический мониторинг должен включать временной аспект изменчивости экосистем (суточный, сезонный, годовой, долговременный) с определением формы изменчивости составляющих биологического объекта (стохастическая, циклическая, сукцессионная изменчивости). Деятельность человека может усиливать и ускорять (или сдерживать и замедлять) естественный ход процессов развития экосистем. Слежение за биотическими и абиотическими составными экосистем при антропогенном воздействии должно быть *непрерывным и комплексным*, что, к сожалению, очень редко выдерживается.

Важным принципом мониторинга является также учет пространственной неоднородности экосистем. Сеть станций наблюдения должна быть такой, чтобы получаемая информация адекватно отражала состояние, например, популяции какого-то вида не фрагментарно, а в целом. Такой подход должен соблюдаться хотя бы при изучении тех видов, которые играют большую роль в вещественно-энергетическом балансе определенной экосистемы. Только при такой методологии организации мониторинга его можно отнести к экологическому. Именно такая система наблюдений дает возможность установить частичную элиминацию популяции без нарушения

её воспроизводительного потенциала и общего популяционного гомеостаза. Численность популяции животных колеблется не столько в результате случайного сочетания условий среды, сколько, как закономерно регулируемый процесс, определяемый многочисленными и разнообразными регуляторными механизмами, основанными на внутрипопуляционных и экосистемных отношениях.

Варьирование популяционных параметров автономно до определенного уровня, и проявляются они как реакции на цикличность изменений внешних условий. Поддержание популяционной целостности и динамической стабильности обеспечивается рядом механизмов и, прежде всего, адаптацией на популяционном уровне (Шварц, 1969), базирующейся на их половой, возрастной, генетической, пространственной и функциональной структуре. Долгосрочное прогнозирование численности популяции основано на четко выраженном механизме их гомеостаза и базируется не на особенностях изменения условий существования, а на закономерностях циклических колебаний популяционных параметров. Механизмы популяционного гомеостаза определяются спецификой процесса размножения и функциональных связей между особями и внутрипопуляционными пространственными группировками (Шилов, 1977).

В качестве критериев состояния экосистем обычно используются геохимические, геофизические и редко – биологические показатели. Реакция биоты на антропогенные воздействия и изменения её состояния, включая наблюдения за откликами и последствиями в виде варьирования функциональных и структурных биотических признаков, и составляет основу биологической части мониторинга. Контроль над сочетанием биоты охватывает организмы всех таксономических рангов на всех уровнях их организации – индивидуальных особей, популяций в сообществах, жизненных форм, сообществ и т.д.

Классификационная структура системы биологического мониторинга весьма сложна. Одной из его подсистем является изучение реакций различных составляющих биологического блока на антропогенное воздействие: наиболее значимых для существования экосистемы, весьма чувствительных к определенному виду прессинга и т.д. Нередко выделяют геоботанический, зоологический мониторинг, микробиологический и т.д. Мы рассматриваем такие частные ответвления мониторинга всего лишь составными блоками его

общей системы. Приоритетом в микробном блоке, например, можно считать функции его сообществ в поддержании гомеостаза экосистем и природной среды, а также использование специфических особенностей микробных популяций для её биоиндикации.

2. Мониторинг растительных сообществ. Подразумеваются многолетние исследования в системах с целью выявления изменений параметров популяций различных таксонов биоты (от низших до высших организмов) при нарушении фоновых характеристик природной среды с активным моделированием различных техногенных нагрузок в лабораторных и полевых условиях. Такова суть организации биологического мониторинга, особенно в зонах высокого антропогенного воздействия. Изучение условий формирования, функционирования и варьирования составляющих экосистему сообществ живых организмов разного уровня позволит основательно оценить общее состояние экосистем при различной антропогенной нагрузке.

Элементарной эволюционной единицей в органическом мире считается популяция, которая в каждой системе представляет отдельный таксон. Одни виды доминируют в системе и определяют её общий облик, а другие, менее значимые и с разной долей участия в формировании сообществ, входят в состав многих систем. Растительные виды играют ведущую роль в выполненных сообществах, поскольку именно они, продуцируя органическое вещество, определяют внутреннюю среду экосистемы – потоки энергии и круговороты веществ. В лесах (например, в хвойных) число доминирующих видов невелико, и они выступают в роли эдификаторов (организмов, наиболее активно и глубоко трансформирующих факторы среды в пределах системы). Поэтому в лесах дискретность начинает преобладать над непрерывностью сообщества, и лесные экосистемы целесообразно выделять в границах эдификаторов, т.е. видовых популяций.

Определение реального объема и границ природных популяций весьма затруднено. При решении этой задачи чаще всего учитывают интенсивность обмена генетической информацией между внутривидовыми группами, с одной стороны, и соседними популяциями, с другой (например, реальной дальностью распространения отдельными видами различных диаспор и пыльцы: объем популяции обуславливается способами размножения вида и харак-

тером расселения диаспор). Обмен генетической информацией определяется биологическими свойствами вида и условиями среды (рельеф, наличие изоляции, климатические условия), на основании чего можно определять границы популяции как пространственно-временные.

Емкость популяций у растений-перекрестников (при анемо- и энтамофилии), по всей видимости, значительно больше, чем у растений-самоопылителей. Несоответствие фаз вегетации (в первую очередь цветения) у растений одного вида, но вегетирующих в разных по условиям экотопах, заметно ограничивает размеры популяций у перекрестников. В горных районах видовой состав растений и животных весьма сложен и представляет, по сути, систему ценопопуляций, адаптированных к конкретным условиям экспозиции, высоты над уровнем моря и т.д. Нередко здесь можно встретиться с изоляцией (физической, химической и т.д.) отдельных видов живых организмов. Например, у хвойных пыльца способна сохранять жизнеспособность при переносе на 200–300 м, но эффективное опыление и оплодотворение (например, у ели обыкновенной) наблюдается в радиусе около 40 м от растения-донора. Наблюдения за распространением пыльцы сосны обыкновенной в Финляндии показали, что до 50% опыления приходится на деревья, растущие на расстоянии менее 50 м. Пыльца некоторых хвойных способна переноситься на сотни километров, но уровень её воспроизводительной функции на таком расстоянии весьма низкий (почти нулевой).

Виды растений различаются типом расселения диаспор и варьированием пространственной дифференциации внутри ареала. Определение популяций следует проводить на основе изучения генотипической специфики внутривидовых пространственных группировок, без чего даже в границах одного фитоценоза не всегда можно быть уверенным, с какой таксономической единицей мы ведем работу – с популяцией, субпопуляцией или с разными популяциями. В процессе развития в пределах, сходных по экологическим условиям территорий складываются совокупности особей одного вида растений – ценопопуляций, обладающих всеми признаками менделевской популяции, или субпопуляции. Несколько микропопуляций, между которыми весьма интенсивен обмен генетической информацией (также менделевские популяции иногда называют демами), образуют популяцию. У растений возможен обмен генами

(перенос пыльцы, приводящий к формированию жизнеспособных семян) между соседними микропопуляциями. Популяцией следует считать совокупность нескольких микропопуляций, находящихся в сходных условиях давления отбора.

Популяция может включать от нескольких сотен до 2–3 тыс. особей/га. Для такой популяции свойственна сложная внутривидовая структура: разновозрастной состав особей, мозаичное распределение особей разных возрастных классов и т.д. При организации системы наблюдения за состоянием растительного сообщества необходимо изучать внутривидовую структуру доминирующих видов. При изучении состояния популяции оценивают особенности разновозрастных групп вида-эдификатора (популяций видов-эдификаторов). При организации мониторинга необходимо четко представлять деление популяций основных видов сообщества на структурно-функциональные единицы.

Сообщество живых организмов представлено гаммой взаимодействующих видовых популяций, распределенных по экологическим нишам. Для любой популяции свойственно ограниченное число активных связей с другими популяциями этого и других видов при одновременном весьма значительном диапазоне изменчивости внутривидового состава и численности, регулируемых механизмами гомеостаза. Именно эти свойства и определяют положение популяции в экосистеме, имеющей определенный состав и структуру вследствие существования микросистем с сильными связями внутри себя, но более слабыми между собой. Иными словами, сообщества живых организмов представляют собой мало интегрированные системы, а биоценотические механизмы регуляции отличаются слабой эффективностью.

Реакция сообщества на воздействие тех или иных факторов происходит за счет реакций составляющих его популяций. В связи с этим при организации мониторинга растительных сообществ, прежде всего, необходимо хорошо представлять их биогеоценотическую сущность. Оценку реакции видовых популяций, составляющих экосистемы, на антропогенное воздействие следует проводить на фоне четкого представления об объеме биоценоза как элементарного участка в критериях определения его пространственных и временных границ. На основе мониторинга следует решить, можно ли экстраполировать полученную информацию об определенном биоценозе

на всю экосистему в целом, а также правильно разместить пункты наблюдения в пространстве с целью получения необходимой информации о её ситуации.

Ценопопуляции эдификаторов определяют специфику формирования всей экосистемы, включая сообщества популяций растений и животных. Процессы адаптации к определенным условиям среды шли, очевидно, по пути формирования сообществ как систем взаимодействующих или взаимно нейтральных видов; каждая популяция создавала свои механизмы гомеостаза, которые обеспечивали относительную независимость ее текущей и будущей динамики от колебаний состава и численности популяций других видов. Иными словами, основой фитоценоза является ценотическая популяция как оптимальная форма существования вида в определенной экосистеме. Адаптационный процесс в конкурентной среде биоценозов определяется генотипическим разнообразием составляющих их особей, при учёте, что любая ценопопуляция представляет собой функциональную целостность.

3. Особенности мониторинга леса. Лесные сообщества отличаются формированием мозаичных ценотических популяций эдификаторов, границы которых совпадают с границами фитоценоза. Элементарный объект мониторинга лесных экосистем определяется интуицией исследователя и выделением типичных для данной территории участков древостоев. Реальным объектом исследования является популяция вида как единая функционирующая устойчивая форма существования таксона в конкретных условиях.

Границы фитоценоза в лесных экосистемах определяются границами популяций эдификаторов. В одном биоценозе одни виды могут быть представлены несколькими популяциями, тогда как другие – только частью особей отдельных популяций. В связи с этим объектом экологического мониторинга в лесах является популяция эдификатора со связанными с ней консортивными связями особями других видов. Оценивая состояние популяций и прогнозы их изменений, следует иметь в виду, что популяция, как функционирующая единица, реагирует на действия любых факторов. Существование популяций в изменчивой среде обеспечивается за счет их генотипического полиморфизма, возрастной структуры и пространственной дифференциации.

Действие антропогенных факторов необходимо оценивать по реакции основных возрастных и генотипических группировок, выделяя такие из них, которые реально отражают особенности динамики популяции в целом. При организации экологического мониторинга лесных экосистем, в которых типовая мозаичность выражена резко, за единицу мониторинга можно взять участок леса определенного типа, на котором произрастает 200 особей популяции эдификатора. За объект экологического мониторинга горных лесных экосистем можно принять совокупность разнотипных участков.

Влияние атмосферного загрязнения на лесные сообщества оценивается по состоянию древостоя: внешний вид кроны указывает на чувствительность и устойчивость к действию загрязнителей разных видов. При оценке состояния деревьев в условиях загрязнения на каждой площадке обследуют примерно 200 особей каждого вида, а в горных лесах закладывается одна площадка на каждые 100–200 га или на трансектах через каждые 100–150 м высоты над ур. м. При оценке крон определяются их верхние две - трети части. Например, хвойные оцениваются по длине хвоинок и побегов при выделении отсутствия хвоинок, наличия больных коротких розеточных побегов с укороченными хвоинками по всей кроне; оценивается также средняя продолжительность жизни хвои; степень покрытия хвоинками побегов в целом по всей кроне, отсутствие хвоинок, степень развития кроны, её форма, частота расположения хвоинок.

Методом усреднения рассчитывают баллы общего состояния для всех деревьев на площадках и на основе количества этих баллов выделяют 3 зоны – вредного воздействия, среднего и слабого повреждения. В каждой зоне выделяют древостой с учетом экспозиции и микроусловий, исследуют содержание серы и тяжелых металлов в хвое, рН осадков и почвы, количество отмерших деревьев, степень полноты древостоя и сомкнутости крон, линейный и радиальный приросты. Выделяют 6 категорий состояния хвойных древостоев: 1 – деревья без признаков ослабления, 2 – ослабленные деревья, 3 – сильно ослабленные деревья, 4 – усыхающие деревья, 5 – свежий сухостой, 6 – старый сухостой. Учитывается также валеж (7 – ветровал, 8 – бурелом).

При организации мониторинга леса выделяются следующие критерии: чувствительность и информативность с учетом даже ми-

нимальных изменений параметров особей популяций и состава сообществ при действии загрязнителей; селективность (реакция системы на природные факторы); адекватность (информация о реакции экологической системы в целом на действие техногенных факторов); экономическая эффективность (все критерии необходимо оценивать при достаточном минимуме наблюдений). Организация экологического мониторинга биотопов должна обуславливать необходимую стандартизацию сбора информации и возможность её обработки для оценки состояния экологической системы и прогноза её изменений.

Мониторинг лесных сообществ осуществляется при выявлении их реакции на антропогенные факторы: на биохимическом и физиологическом уровнях реакции проявляются раньше как при слабом так и при сильном воздействии антропогенных факторов, а морфологические изменения у растений «запаздывают» и проявляются при резком давлении антропогенных факторов высокой интенсивности или при постоянном действии высоких концентраций загрязнителей. Показателями реакции хвойных деревьев на загрязнение являются: средняя продолжительность жизни хвои и приросты деревьев в диаметре и по высоте, прирост запаса древесины.

На популяционном уровне оценка жизнеспособности деревьев проводится по их состоянию на основе выделения категорий, а также модифицированных шкал с учетом особенностей кроны: здоровое дерево (внешних признаков повреждения нет, крона хорошо развита и в ее верхней части нет отмерших и отмирающих ветвей, продолжительность жизни хвои соответствует фоновым районам); поврежденное дерево (снижение густоты кроны на 30% за счет раннего опадения хвои или изреживания скелетной части кроны, 30% мертвых или усыхающих ветвей в верхней части кроны); сильно поврежденное дерево (снижение густоты кроны на 60% при раннем опадении хвои, 60% мертвых и усыхающих ветвей в верхней половине кроны; повреждение 60% хвои, усыхание верхушки кроны); отмирающее дерево (крона разрушена, густота 15–20%, свыше 70% ветвей кроны сухие или усыхающие); свежий сухостой (деревья, погибшие менее года назад); старый сухостой (деревья, погибшие в прошлые годы).

Сохранность хвои и состояние ветвей верхней половины кроны являются самыми информативными показателями. Определение

здоровых, усыхающих и сухостойных деревьев не вызывает затруднений, и оценка разных исследователей существенно не варьирует. В оценке поврежденных и сильно поврежденных деревьев расхождения существенные. Оценка жизнеспособности сотни деревьев позволяет определить состояние древостоев точнее, с ошибкой, в целом не превышающей 10%, и с использованием коэффициентов вместо балльной оценки категорий состояния деревьев. Состояние древостоев оценивается от 100% до 0; поврежденные деревья утрачивают 30%, сильно поврежденные – 60% жизнеспособности, у таких деревьев коэффициенты соответствуют 70 и 40%; у усыхающих – около 5%. Оценка состояния древостоя проводится на основе запаса древесины деревьев разных категорий.

Оценка жизнеспособности древостоев по числу деревьев разных категорий является более простой, но менее точной, поскольку не учитываются различия в особенностях роста разных пород деревьев одного возраста, а также возрастной состав древостоя; большие различия возникают при оценке молодых густых древостоев, где опад формируется за счет отставших в росте особей.

В лесных сообществах оценка древостоев по объемным показателям лучше отражает их состояние. При оценке состояния древостоев также следует учитывать текущий и общий опад; характеристику усыхающих и отмерших деревьев, распределение деревьев по диаметру, по времени образования урожая плодов и т.д. Следует установить причины усыхания древостоя, разграничив их на природные и антропогенные. Оценка видового состава и численности насекомых-фитофагов, степень пораженности хвои и побегов болезнями дает дополнительную информацию о состоянии леса. Экологический мониторинг лесных сообществ предусматривает также оценку с учетом состояния и изменчивости природной среды, видового состава, численности и состава подроста.

4. Мониторинг микроорганизмов. Важным компонентом экосистемы, выполняющим роль стабилизатора, является микробиота (различные представители) которой в качестве редуцентов завершают (или способствуют завершению) многих биогеохимических циклов в круговоротах веществ и элементов и в формировании энергетических потоков. Микроорганизмы в силу их полифункциональности участвуют в многочисленных реакциях, часто противоположного направления, и в значительной степени формируют ме-

ханизм метаболического равновесия в природе. Подтверждением тому является факт определяющего формирования органического вещества автотрофами и, наоборот, сдерживания гетеротрофного его использования. Эти противоположные функции контролируют состав атмосферы и гидросферы, построение биологических структур, смягчающих условия среды, поддерживают содержание кислорода, формирование и баланс газов в атмосфере и т.д. (Одум, 1975; Заварзин, 1979 и др.). Наконец, способность к самоочищению природной среды напрямую связана с деятельностью микроорганизмов, отличающихся широким диапазоном адаптирования, что дает им возможность использовать разнообразные вещества как источники углерода, азота, фосфора.

Микроорганизмы разлагают многие неприродные соединения – полимеры, детергенты, фенолы, пестициды и др. Токсические действия многих веществ (производные бензола, тяжелые металлы), представляющих опасность в связи с устойчивостью их к разложению, снижаются при образовании нерастворимых хелатных соединений с веществами, производимыми микроорганизмами. Участие микроорганизмов в процессах самоочищения природных систем обуславливается их способностью повышать возможность биогеохимических циклов утилизировать многие соединения путем активной их трансформации и вовлечения в биологическую миграцию, а также благодаря формированию нерастворимых комплексов со многими вредными веществами, выводя их из биологических круговоротов. Безусловно, следует учитывать реакцию низших организмов, находящихся у истоков пищевых цепей и завершающих их, на антропогенное воздействие. Нарушение их деятельности может быть основной причиной нарушения циклов биогеохимических процессов в системах и разрушения системы самоочищения.

Микробный компонент экосистемы выделяется функциональной стабильностью (Никитин, Никитина, 1978), но пределы его устойчивости еще никто не установил, что и определило целесообразность микробиологического блока в системе мониторинга, позволяющего получать достоверную информацию о степени нарушения микробного компонента под давлением деятельности человека, определить допустимые нагрузки загрязнителей, устанавливать тенденции изменений в природных и нарушенных системах. Микробиологический блок предусматривает два направления исследова-

ний: 1) выявление последствий антропогенного загрязнения на микробный компонент экосистемы и 2) тестирование окружающей среды по микробиологическим характеристикам.

Микроорганизмы характеризуются относительно большой поверхностью контакта (из-за их малых размеров) со средой обитания, а высокие скорости размножения и роста позволяют за короткий срок проследить за действием любого фактора на протяжении десятков и сотен их поколений (Никитина, 1991). Микроорганизмы реагируют быстро на любые антропогенные воздействия через изменения роста, строения, размножения, метаболизма, и эти реакции проявляются как на популяционном, так и экосистемном уровнях: на популяционном выражаются в изменении количества и качества состава сообщества; на экосистемном – в смене доминирующих групп и их трофических уровней.

Почвенные микроорганизмы выполняют большую работу по поддержанию в биосфере определенного баланса веществ; их биологический эффект в биосфере определяется скоростью размножения и их численностью. Микроорганизмы – организмы, имеющие размеры в несколько микрон; характеризуются весьма высокой скоростью размножения (при благоприятных для них условиях) и способны удвоить свою популяцию за несколько часов, или в течение суток. Эти организмы наиболее многочисленны – 1 г почвы может содержать миллиарды их клеток (Звягинцев, 1987; Шлегель, 1987).

Функциональная роль микроорганизмов (бактерий, грибов, водорослей) в биосфере чрезвычайно высока так как уровень их метаболизма выше, чем у крупных организмов (растений, позвоночных и беспозвоночных животных), благодаря огромной суммарной поверхности мелких клеток. Это определяет высокий энергообмен, который пропорционален общей поверхности микроорганизмов, а не массе тела. В целом в биосферном балансе веществ микроорганизмы играют ничуть не меньшую роль в сравнении с фотосинтезирующими растениями, а в почвах намного большую, поскольку в основном именно они осуществляют процесс деструкции (минерализации) остатков растительной и животной массы, определяя таким образом интенсивность трансформации углеродсодержащих веществ в почве и переводя органическое вещество в доступную для растений неорганическое.

Велика роль микроорганизмов в формировании биогеохимических циклов N, P, S, Fe, Mn и др. При воздействии человека на почву, ведущем к изменению условий обитания микроорганизмов, нарушаются обычные процессы трансформации веществ в почве и их круговороты в биосфере. Такие нарушения негативно сказываются и на самом человеке, поскольку с изменением условий произрастания растений, как правило, снижается производство пищевых ресурсов, а изменение видового состава микроорганизмов и появление несвойственных видов бактерий может быть причиной заболевания людей и животных, а также усиления загрязнения биосферы.

Микроорганизмы отличаются наибольшей лабильностью, и потому именно они могут трансформировать загрязнители быстрее, чем другие организмы. Вмешательство человека в динамику почвенной биоты может привести к утрате ею функций очищения биосферы от загрязняющих веществ (поллютантов), что приведет к еще большей концентрации последних в биосфере. Многие загрязнители, синтезированные человеком и чужеродные для природы – ксенобиотические вещества (пестициды, детергенты), не имеют специальных деструкторов, и их разрушение возможно на основе трансформирующей деятельности микроорганизмов. Почвы и биосфера в целом в настоящее время подвергаются воздействию различных видов хозяйственной деятельности человека (орошение, внесение удобрений, пестицидов, механическая обработка, выбросы пыли и газа, радиоактивное загрязнение, эрозия почвы и т.д.), которые весьма негативно влияют на многие системы, загрязняя их как в районах производства, так и удаленных от источников загрязнения территориях через перенос загрязнителей по воздуху и воде на большие расстояния. Остановимся на динамике почвенной биоты под воздействием на почву антропогенных факторов.

5. Изучение влияния удобрений в системе мониторинга.

Интенсивное применение минеральных удобрений наряду с повышением урожаев создало новые проблемы загрязнения биосферы, и прежде всего, почв. Минеральные удобрения, особенно азотные, определенно изменяют условия обитания почвенной биоты, а также почвенные процессы и вызывают формирование новых токсических веществ. Высокие дозы азота (> 100 кг/га д.в.) негативно влияют на деятельность почвенных микроорганизмов, которые трансформируют азот в процессах аммонификации, нитрификации и денитри-

фикации. Токсические последствия для человека складываются в процессе нитрификации: аммиачные соединения превращаются в нитраты и нитриты, которые затем поступают в грунтовые воды. Если в питьевой воде (или пище) много нитратов или нитритов, то это приводит к отравлению и проявлению специфических заболеваний организмов вплоть до их летального исхода.

Нитрификация в почвах проходит двумя путями. Автотрофная нитрификация обусловлена специфическими нитрифицирующими бактериями и протекает при хорошей аэрации и влажности почвы в нейтральной среде и невысоком содержании органического вещества с образованием нитритов и нитратов и нередко с промежуточным образованием газообразного азота (N_2). Гетеротрофная нитрификация осуществляется гетеротрофными бактериями и грибами в отличных от автотрофной в условиях при наличии органического вещества в слабокислой среде и при дефиците кислорода; активно проявляется в лесных почвах, а автотрофная – на окультуренных. При гетеротрофной нитрификации в почвах, наряду с нарастанием содержания нитратов происходит синтез гидроксилamina и нитрозосоединений – промежуточных образований, которые даже в малых количествах могут оказать токсичное (и даже канцерогенное) влияние на человека.

Внесение азота влияет и на другие превращения азота в почве – азотфиксацию и денитрификацию. При небольших дозах внесения азота (50–60 кг/га) азотфиксация возрастает, а при высоких (> 200 кг/га) естественная азотфиксация (симбиотическая и несимбиотическая) падает. Минеральные удобрения в целом влияют на биологическую активность почв: при невысоких дозах внесения почва обогащается элементами питания, увеличивается численность и активность микроорганизмов в связи с увеличением в почве их основного энергетического источника – органического вещества, обуславливающего повышение продуктивности растений; при высоких дозах удобрений микрофлора активизируется весьма заметно, и, как негативное последствие такого процесса, происходит интенсификация минерализации перегноя и снижение в почве органического вещества.

Длительное внесение несбалансированных минеральных удобрений является причиной проявления ряда негативных последствий для почвенной биоты. Например, в кислых почвах снижается

число бактерий и резко нарастает число грибов, отличающихся интенсивным метаболизмом и выделением токсических веществ, что, очевидно, связано с активизацией явления токсикоза почв, снижающего прорастание семян, подавляющего развитие растений и угнетающего жизнедеятельность почвенных беспозвоночных. Дозы удобрений можно корректировать с учетом изменения почвенной биоты и динамики микроорганизмов.

6. Изучение пестицидов в системе мониторинга. Основная масса пестицидов относится к синтезируемым человеком ксенобиотическим соединениям (xenos – чужой, bios – жизнь), не встречавшихся ранее в биосфере. В почву вносятся десятки тысяч пестицидных препаратов, различающихся по разнообразию их поведения в почве и воздействию на почвенные организмы в различных экологических условиях. Влияние пестицидов на организмы может быть прямо противоположным: один и тот же пестицид может подавлять развитие одних микроорганизмов, тогда как для других – служить в качестве источника пищи.

Пестициды негативно влияют на дыхание почв, их нитрификационную активность, азотфиксацию и т.д. Изменение численности микроорганизмов и ферментативной активности почв происходит вследствие внесения пестицидов и их влияния на их биологическую активность. Важнейшей особенностью использования пестицидов является невозможность их деструкции в почвах микроорганизмами, способными разрушать не свойственные для биосферы ксенобиотики. Разложение пестицидов идёт в специфических условиях (аэрация, наличие органического вещества, температура и т.д.), без наличия которых такие процессы не протекают.

Очень серьезной, практически не изученной проблемой, связанной с применением пестицидов, является формирование в процессе микробных преобразований этих химических соединений промежуточных продуктов (интермедиатов), вполне сопоставимых, а нередко и превосходящих по токсичности начальные формы. Разработка и производство новых пестицидов должно быть поставлено под жесткий контроль отбора таких веществ, которые бы полностью разлагались и не образовывали бы промежуточных или побочных токсических метаболитов, способных вызвать мутагенное, отравляющее или канцерогенное влияние на биоту.

7. Кислотные осадки в системе мониторинга. Влияние кислотных осадков на биологические свойства почвы определяется интенсивностью её подкисления. Поскольку некоторые почвы отмечаются высокой буферностью, то влияние кислотных осадков на них в начальный период сказывается не сразу и незначительно. В верхних слоях негативное влияние этих осадков проявляется сильнее, приводя к снижению численности бактерий и актиномицетов, тогда как численность грибов не снижается или даже нарастает (грибы менее чувствительны к кислой среде). Среди бактерий менее чувствительны к кислым осадкам спорообразующие формы, и их содержание меньше колеблется на загрязненных почвах.

Осадки влияют на биохимическую активность почв, что определяется типом самой почвы и продолжительностью выпадения или воздействия осадков. Кратковременное влияние (2–3 мес.) кислых осадков ($\text{pH}=3,0$) слегка усиливает азотфиксирующую активность и дыхание некоторых лесных почв, а долговременное оказывает токсический эффект (прежде всего на песчаных почвах). Кислые осадки снижают уровень и скорость минерализации органического вещества в почве на 20–30%, что было установлено в лабораторных опытах.

Кислотные осадки снижают интенсивность процессов нитрификации в почвах. Нарушение связи растений и микроорганизмов при кислотном воздействии может быть причиной ухудшения состояния лесов: изменяется функционирование корневой системы деревьев из-за гибели тонких всасывающих корней (например, у ели в почвах с высокой концентрацией подвижного алюминия и ТМ), возможна гибель грибов-микоризообразователей у некоторых древесных пород и т.д. Кислотные осадки изменяют состав эпифитов в хвойных лесах, где сильнее страдают типичные для поверхности растений темноокрашенные формы, и на их место приходят быстрорастущие фитопатогены, отдельные из которых болезнетворно сказываются на состоянии высших растений.

8. Радиация в системе мониторинга. Весьма опасным загрязнителем биосферы является радиоактивное загрязнение. Биологических методов борьбы с радиационным загрязнением почвы не существует. Лучший метод борьбы с этим загрязнением – его предотвращение. Радиация по-разному влияет на почвенные организмы. Наиболее устойчивы к радиации бактерии, особенно споровые в меньшей степени – грибы, строение которых сложнее. Устойчивость к радиа-

ции внутри групп организмов связана с наличием и составом пигментов: в клеточной стенке накапливаются меланиновые пигменты, обладающие защитными свойствами и предохраняющие клетку от повреждения. Облучение тормозит рост клеток и их деление, но высокая доза облучения может быть причиной изменения частоты мутаций.

Весьма дифференцирована чувствительность отдельных органов к радиации; наиболее чувствительной системой является репродуктивная, при воздействии на которую отмечено появление стерильных форм, не дающих потомства (например, у почвенных беспозвоночных). Облучение по-разному воспринимается отдельными видами внутри популяции: самыми чувствительными к облучению являются молодые особи. С этим связано применение дождевых червей, личинок жуков и т.д. в качестве биоиндикаторов влияния ионизирующей радиации на животных. Облучение сокращает видовое многообразие организмов, что вызывает изменение соотношения между основными группами организмов и нарушение их функциональных действий – например, нарушение процессов деструкции органического вещества (поскольку более подвижные группы перерабатывают почву и растительный опад, а это касается, прежде всего, дождевых червей, которые в такой ситуации погибают).

Радиация способствует также накоплению радионуклидов в трофических цепях человека через почвенную биоту. Основная масса радионуклидов накапливается в подстилке, где активно развивается мицелий многих грибов и идет аккумуляция изотопов, поступающих в их плодовые тела, используемых человеком в пищу. Количество накапливаемых радионуклидов прямо не определяется дозой облучения и зависит от многих факторов – типа радионуклида, типа почвы, видов грибов, типа фитоценоза и т.д.

9. Тяжелые металлы в системе мониторинга. Загрязнение почвы тяжелыми металлами может быть однократным (высокими дозами) и многократным (низкими дозами) и нередко выступает в качестве экотоксикологического фактора, влияющего на направление и характер развития биотопа. Микробиологические последствия загрязнения тяжелыми металлами могут быть связаны с их трансформацией микроорганизмами и воздействием последних на состав и функционирование почвенной биоты.

Большую опасность для высших организмов (включая и человека) составляют возможные варианты микробной трансформации

неорганических соединений тяжелых металлов в металлоорганические. Например, попадающие в почву соединения ртути под воздействием некоторых микроорганизмов способны переходить в очень опасную форму – метилртуть. Метилировать ртуть могут некоторые аэробные и анаэробные бактерии и почвенные грибы, а образуемые ими соединения ртути поступают в биологические объекты и накапливаются в трофических цепях, конечным звеном которых нередко является человек. При загрязнении почвы аккумуляция метилртути отмечена в мицелии грибов, а затем в их плодовых телах, что явилось причиной отравления и заболевания населения в ряде стран Европы в районах с высоким уровнем техногенного загрязнения почв.

Высокое содержание тяжелых металлов определено в плодовых телах съедобных грибов родов *Boletus* (белые и подберезовики), *Agaricus* (шампиньоны) и дождевиках – ртути 0,22 и кадмия – 19,5 мг/кг. При загрязнении почвы тяжелыми металлами могут нарушаться трофические цепи. Например, при высокой степени загрязнения ТМ (Cd, Pb) грибы, вегетирующие в подстилке, плохо используются почвенными коллемболами и снижают интенсивность размножения последних. Изменение состава почвенных грибов при загрязнении ТМ может оказать влияние и на развитие некоторых беспозвоночных почвы. Небольшие дозы тяжелых металлов часто усиливают жизнедеятельность почвенных организмов, а также микробиологические процессы, тогда как высокие нормы их подавляют.

Негативное воздействие ТМ определено для различных почвенных организмов – бактерий, грибов, водорослей, макро-, мезо- и микрофауны на разных уровнях их развития – от отдельных особей до сообществ. Установлено, например, что у ряда бактерий при загрязнении ТМ изменяется работа ферментных систем, нарушается проницаемость мембран в клетках и т.д. ТМ ингибируют развитие многих почвенных организмов: у почвенных грибов изменяется характер прорастания спор во времени и доля их прорастания. Под влиянием ТМ нередко меняется состав микроорганизмов (особенно на малобуферных почвах).

Изменение видового и количественного состава микроорганизмов в связи с загрязнением почвы ТМ касается не только снижения устойчивости этих организмов при снижении многообразия, но и возможных последствий таких изменений для растений и других организмов (включая и человека). Определено, что доминирующие на за-

грязненных тяжелыми металлами участках грибы характеризуются выраженной токсичностью, ингибируя прорастание семян и развитие некоторых растений. Отдельным видам почвенных грибов (особенно р. *Aspergillus*), произрастающих на загрязненных почвах, приписывается способность вызывать заболевания животных и человека. Тяжелые металлы негативно влияют на трансформацию в почве соединений углерода, его выделение в виде углекислоты из различных органических соединений и т.д. Они ингибируют вовлечение азота в биологический круговорот (азотфиксация), особенно на бедных почвах. Воздействие ТМ на биологические процессы в почве в целом определяются типом ТМ, их количеством и формой соединения, а также свойствами почвы.

Загрязнение поверхностных вод тяжелыми металлами вследствие высокой токсичности последних и способность тяжелых металлов длительное время функционировать в экосистемах и аккумулироваться в живых организмах представляют собой весьма существенную проблему. Значительная часть тяжелых металлов, попадающих в водосборы, связывается и консервируется в донных отложениях, поэтому их содержание в различных структурах организмов характеризует суммарную нагрузку и может служить индикатором отслеживания их динамики.

Для мониторинга тяжелых металлов в прибрежно-морских акваториях, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию, могут использоваться макроводоросли (Бурдин, 1985), отличающиеся накоплением этих элементов, что дает возможность избежать громоздких, требующих специальных реактивов и методик консервирования больших объемов морской воды, при прямом определении металлов (Морозов, 1983). Фукусовые водоросли применяются для оценки содержания металлов в дальневосточных морях. Весьма эффективными накопителями тяжелых металлов в морях Дальнего Востока являются *Rhodomela larix* и *Chordaria flagelliformis*, представляющие красные и бурые водоросли (Золотухина и др., 1993).

10. Роль насекомых в системе биомониторинга. В ряде стран для контроля загрязнения окружающей среды различными химикатами: фтором, мышьяком, серой; пестицидами и радионуклидами активно используются пчелы, которые распространены повсеместно, летают равномерно в радиусе от пасеки на 2–3 км. Анализ тканей пчел, меда, перги, пыльцы, прополиса, воска, представ-

ляющих усредненную пробу, характеризует уровень загрязнения припасечной зоны и имеет большое практическое значение. Пчелы хорошо изучены токсикологически, и их можно использовать в качестве аккумулятивных индикаторов химикатов. Пробы пчел и пчелопродуктов отбираются в августе–сентябре с определением содержания в них Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Co, пестицидов триазинового ряда и 2,4-Д. Пределы колебаний ТМ в мг/кг в теле пчел составляют: Zn – 30–112; Cu – 5–29; Ni – 0,3–0,7; Pb – 0–8; Cd – 0–0,25; Co – 0 и в меде соответственно: 1–39; 0,2–1,4; 0–0,6; 0–1; 0–0,13; 0. Иными словами, пчелы и их продукты могут служить весьма объективным материалом для оценки уровня загрязнения окружающей среды ТМ и пестицидами, особенно по данным анализа перги, в которой содержание ТМ было на порядок выше, чем в меде.

Пыльца растений может также служить индикатором загрязнения тяжелыми металлами (Fe, Mn, Cr, Zn, Cu), которые оказывают влияние на морфологию пыльцы, её фертильность у ряда древесных и кустарниковых растений (айлант высочайший, абрикос обыкновенный, береза повислая и др.); отмечена морфологическая разнокачественность пыльцы, снижение фертильности, размеров (особенно у сирени, абрикоса, березы, конского каштана). Пыльца этих растений выступает в качестве биоиндикатора загрязнения среды тяжелыми металлами. Зародышевые листья почек древесных растений могут использоваться для мониторинга мутагенности факторов окружающей среды (Гуськов и др., 1993).

11. Использование морских организмов в системе мониторинга. Наиболее "удобными" из природных объектов для мониторинга и моделирования являются пресноводные экосистемы, обладающие выраженными границами и очень контактной водной средой, обеспечивающей большую степень изотропности в круговороте биогенных элементов. На качество воды наибольшее влияние оказывают N и P. В природе накопление N обычно не наблюдается, а соединения P, однажды попав в водоем, включаются в биохимические циклы внутриводоемных процессов его круговорота и практически водоем уже не покидают. Высокая концентрация P в поливной воде, бытовых и промышленных стоках, попадающих в водоемы, обуславливает интенсивный рост биомассы водных растений, особенно одноклеточных водорослей, вызывая "цветение" воды. Повышение содержания P в водоемах является причиной их эвтрофика-

ции, а его недостаток сдерживает нарастание биомассы фитопланктона и развитие высших водных растений.

Прибрежные районы морей в последние годы подвергаются сильному антропогенному воздействию. Исследования такого влияния на биоту требуют количественного подхода при сборе и обработке материала. Проведено биокартирование макробентоса одного из заливов Черного моря (Погребов и др., 1992), сборы выполнены в августе–сентябре 1989 г. на 27 станциях. Пробы отбирали водолазным зубчатым дночерпателем (площадь захвата 0,05 м²) в 5 повторностях (на случайных местах); параллельно отбирали образцы грунта для гранулометрического анализа; визуально оценивали эпибионтов на площади 10 м². Животных разбирали по видам или группам, взвешивали с точностью до 0,01 г и фиксировали 75% спиртом. Общее число проб, таким образом, составило 135, описаний грунта и бионтов – 27.

Мониторинг водных объектов можно вести с использованием рыб в связи с их сравнительной доступностью и информативностью данных по учету множественного характера изменений их морфофизиологических и биохимических параметров в ответ на загрязнители. Наряду с уже изученными загрязнителями (пестициды, тяжелые металлы, хлорорганика) обозначился новый фактор – закисление пресных водоемов, влияющее на представителей различных систематических групп, среди которых важное место занимает ихтиофауна.

Кислотный стресс на организмы лиманов начинает действовать на уровне физиологических параметров раньше, чем наблюдаются изменения популяционных характеристик. Поэтому данные физиологических изменений способны отражать состояние как отдельных особей, так и популяций рыб в закисленных водоемах. К закислению оказались устойчивыми щука и окунь и малоустойчивы лосось, ручьевая форель и др. Существенным элементом биомониторинга пресноводных систем является биотестирование. В качестве наиболее подходящего и удобного в использовании международного тест-объекта обычно выступает веслоногий пресноводный рачок *Daphnia magna*.

Глава 10. Мониторинг атмосферного воздуха

1. Контроль источников загрязнения. В борьбе с загрязнениями окружающей среды особая роль отводится выявлению их источников – стационарных (заводы) и передвижных (автотранспорт) – и их контролю. Работа по установлению вредности источников загрязнения значительно проще, чем тех объектов, которые испытывают их давление. Это объясняется, с одной стороны, определенностью состава выбросов каждого предприятия, опасные вещества которых можно оценить прямым анализом, а также балансовым методом с учетом особенностей технологического процесса производства и, с другой, в силу высокой концентрации отдельных веществ в выбросах, их распознавание и определение значительно облегчается внедрением автоматизированных программ контроля.

При всей упрощенности контроля источников загрязнения в нашей стране из-за слабой проработки научных основ и определения критериев оценки выбросов их мониторинг не получил еще необходимого развития. На основании концепции предельно допустимых выбросов (ПДВ) предприятиям ограничиваются объемы вредных веществ в окружающую среду, что и является средством регулирования их качества и количества. Иными словами, контролем за источниками выбросов является система ПДВ.

Поскольку выбросы являются элементом технологического процесса с определенными их допусками, то службы, допустившие строительство и пуск предприятий с устаревшей технологией, должны нести прямую моральную, финансовую и юридическую ответственность, а предприятия (вернее, их технологии) за возможно минимальный срок должны быть перестроены. Естественно, что контроль за источниками загрязнения должны осуществлять вневедомственные специальные государственные службы, которые обязаны нести прямую ответственность перед государством в лице его законодательных органов.

В настоящее время разработаны методы расчета ПДВ с целью примерной оценки выбросов предприятий различных производств и поддержания на этой основе качества окружающей среды. Установление особенностей распределения загрязнителей по различным направлениям в зависимости от розы ветров (в атмосфере и почве), рельефа и интенсивности стоков (в почве и поверхностных водах), с учетом климатических условий, топографии и гидрологии региона, а также определение массы выбросов за месяц или год является основой расчетов уровня загрязнения природных и агроландшафтных объектов. Такие расчеты позволяют увязать количество ПДВ с уровнями ПДК загрязнителей воздуха и воды с условием, что при определенном уровне ПДВ и конкретной частоте выбросов не будут нарушены ПДК в отдельных блоках биосферы.

Реальное значение ПДВ основывается на закладке параметров в технологический процесс конкретного производства. Во всем мире ведется работа по принятию стандартов на выбросы автотранспорта, что позволяет значительно снизить выбросы углеводородов, окиси углерода, окислов азота и т.д. Разработку таких стандартов следует вести в двух направлениях: основную ответственность за работу двигателей несут заводы (по крайней мере первые 3–5 лет), изготавливающие автомобили и другие машины; владельцы машин несут ответственность в случае непрохождения ими технического осмотра. Кроме того, необходимо установить срок эксплуатации автомобилей, скажем 7–8 лет, по истечению которого автомобиль должен быть отправлен на переплавку.

В нашей стране разрабатываются проекты на ПДВ практически для всех основных производств, включая и автотранспорт. К сожалению, эта работа проводится в основном мелкими частными организациями, сотрудники которых, не всегда квалифицированные в экологии и охране природы, с использованием специально разработанных компьютерных программ получают то, что закладывают в программу в силу своей компетентности. Программы эти разрабатываются в Санкт-Петербурге фирмой Duval и продаются не просто за большие, а за очень большие деньги. Эта система контроля ПДВ работает в стране около 20 лет, но состояние окружающей среды, особенно промышленных районов, становится всё хуже. Такая система контроля выбросов, принятая в стране, безусловно, не отвечает современным требованиям. Лаборатории, которые определяют со-

став выбросов, малоквалифицированы и нередко безответственны, т.к. совершенно не способны оказать помощь производствам в поисках путей реального сокращения выбросов, особенно опасных веществ. Разумнее было бы заменить чрезвычайно громоздкий и абсолютно не эффективный вариант контроля за ПДВ и ПДС европейским – конкретным, эффективным, менее коррумпированным.

Разработка программы, направленной на контроль и регулирование качества атмосферного воздуха, возможна в системе комплексной оценки и прогноза динамики состояния региональных ландшафтов. Основную информацию о состоянии загрязнения воздуха предоставляет комплексная система мониторинга, оценки и прогноза состояния воздушного пространства, подвергающегося антропогенному воздействию. В системе мониторинга атмосферы выделяют 1) собственно мониторинг (наблюдение) и оценку актуального состояния среды, 2) прогноз и его оценку. Оба блока плотно связаны между собой, поскольку невозможно сделать прогноз без хорошо информирующего мониторинга, как нельзя сделать оценку будущего состояния только по мониторингу без разработки прогноза. Именно направленность прогноза определяет состав и структуру мониторинга, его продолжительность и емкость. Разработанные способы оценки дают возможность определить важность информации о состоянии воздушной среды и факторов, её загрязняющих, выделить наиболее благоприятные условия, а также возможности использования резервов природы.

Весьма важную роль играют сведения о первоначальном уровне состояния воздушной среды и её загрязнении до начала активного вмешательства человека в природу, что дает возможность реально оценить уровень сегодняшних загрязнений и их влияние на атмосферу, её состав, биологическую систему. Большое значение для оценки влияния человека на атмосферу в настоящее время имеет определение фонового состояния атмосферы над территориями, удаленными от очагов загрязнения (основных выбросов токсических и органоминеральных частиц, взвесей, пыли и т.д.). Такими фоновыми территориями могут быть заказники, заповедники и другие охраняемые территории, где формируются полигоны (или станции наблюдения, отслеживания состояния воздуха, отбора образцов для анализа на основные загрязнители, присутствующие данному району).

Основой сбора данных могут быть точечные измерения (в отдельных пунктах), а при получении интегральных показателей – и съемки больших территорий. В последнем случае большую роль играют данные спутников и аэрозондирование. Влияние различных загрязнителей на живые системы биосферы определяется интенсивностью воздействия и массой загрязнителей, варьирующих во времени и в пространстве и являющихся производными от поставляющих их источников, скорости и времени перемещения и рассеивания. Последние характеристики загрязнителей определяются физическими параметрами атмосферы, включая температурный и водный факторы, розу ветров и т.д.

При сравнительной оценке воздействия на живую часть систем применяют уровни допустимого влияния, включая ПДК (предельно допустимая концентрация), ПДД (предельно допустимая доза), ПДВ (предельно допустимый выброс). Важнейшим критерием регулирования свойств атмосферы является ПДВ, который ограничивает норму выбросов вредных веществ в атмосферу различными источниками с учетом максимальных достижений технологий в различных направлениях промышленного и сельскохозяйственного развития. Это способствует снижению выбросов в атмосферу, и в целом количества отходов отдельных видов производств.

Основную работу по сбору информации о загрязнении атмосферы в нашей стране осуществляла общегосударственная структура, созданная для анализа результатов наблюдений на основе деятельности различных служб Академии наук, Госкомприроды, Госкомгидромета, Минздрава, Минсельхоза, а также университетских научных организаций и выполняющая роль общенациональной системы мониторинга, в задачу которой входило следующее:

1. Наблюдение и контроль уровня загрязнения атмосферы, выявление источников выброса, установление характера распределения во времени и пространстве основных загрязняющих веществ.
2. Анализ систематической информации и прогноз уровня возможного загрязнения во времени, представление такого анализа в законодательные и исполнительные органы страны для принятия экстренных мер по изменению складывающейся ситуации.

Все материалы системы национального мониторинга должны быть положены в основу планирования развития промышленного и сельскохозяйственного производства страны, её отдельных регио-

нов. Национальная система мониторинга представляет собой разноразноуровневую систему сбора информации, включающую станции наблюдения (1-й уровень) и региональные, или территориальные центры (2-й уровень). Они ведут обобщение и анализ получаемых станциями наблюдения данных с рядом головных организаций (Гидрометцентр, Госкомприрода и т.д.), разрабатывающих прогноз и оценивающих состояние атмосферы в масштабе всей страны. В зависимости от срочности вся информация, собираемая снизу вверх (по уровням), поделена на 3 категории.

1. Срочная – экстренные сведения о резком нарастании уровня загрязнения. Такая информация сразу же должна быть доведена до местных органов управления для принятия определенных мер, а также в центр – в министерства и ведомства, которые обязаны эту информацию проанализировать и с предложениями специалистов по исправлению ситуации передать в правительственные органы.

2. Обычная оперативная информация за месячный период наблюдений анализируется на месте, передается во все заинтересованные местные организации, а также в центр, чтобы довести до руководителей страны сведения о состоянии текущей обстановки по загрязнению атмосферы и тенденции его развития.

3. Годовая информация включает анализ годовых наблюдений загрязнения среды и её влияние на различные аспекты жизнедеятельности животных и человека и состояние растительности. Этот тип информации служит базой для разработки долгосрочных прогнозов (на 20–25 лет и больше).

С целью сбора объективной информации, кроме станций наблюдения в районах, загрязняемых "нетехнологичными" производствами, работают региональные и базовые станции отслеживания фонового состояния в тех пунктах, которые относительно свободны от загрязнения воздушной среды, куда загрязнители попадают только при их трансграничном перемещении. В промежуточных районах, куда загрязнители переносятся местными миграционными потоками, изучение загрязнения атмосферы является прерогативой региональных станций. Фоновая станция национального мониторинга является составной частью глобальной системы мониторинга. Наблюдения за уровнем загрязнения в масштабе региона осуществляется по трем категориям.

1. Для систематических и продолжительных наблюдений создаются стационарные посты (станции), оснащенные специальными приборами и оборудованием для отбора проб и проведения анализов, а также регистрации уровня вредных загрязнителей в атмосфере.

2. Для периодических наблюдений организуются маршрутные трансекты для отбора проб и определения загрязнителей с помощью передвижного оборудования.

3. Для постоянного контроля за состоянием атмосферы в районах сильного загрязнения (горящие факелы, нефтезаправки и т.д.) организуются передвижные посты, которые свои наблюдения измеряют с розой ветров (на суше), приливами и отливами (на море) и т.д.

Местоположение полигонов наблюдения и контроль загрязнений определяется после комплексной экспертизы атмосферы отдельных регионов. Автоматизация измерений важнейших загрязнителей атмосферы является сегодня в мире приоритетным направлением исследований в плане мониторинга окружающей среды, поскольку только такой подход обеспечит получение быстрой и оперативной информации. Во многих странах приняты законы об охране атмосферного воздуха. В нашей стране такой закон введен в январе 1981 г. Он определил регулирование общественных отношений в этой области в целях сохранения чистоты и улучшения состояния атмосферы, предотвращения и снижения вредных химических, физических, биологических и иных воздействий на неё, вызывающих неблагоприятные последствия для населения, народного хозяйства страны, растительного и животного мира. Этим законом были введены нормы допустимого воздействия на атмосферу выбросов стационарных и передвижных источников, запрещение пользоваться техникой (отечественной и зарубежной), не соответствующей требованиям охраны воздушного бассейна страны.

2. Источники выбросов в атмосферу. Атмосфера играет важную роль в переносе загрязняющих веществ на большие расстояния и активно участвует в загрязнении фоновых территорий. Воздух повсеместно загрязнен хлорорганическими пестицидами (ХОП, например, ГХЦГ и ДДТ), а также полиароматическими углеводородами (ПАУ) типа 3,4-бенз(а)пирена (3,4-БП), относящихся к классу супертоксиантов. Пространственная изменчивость содер-

жания этих веществ незначительная и лежит в пределах 0,1–0,8 нг/м³ для суммы ДДТ и 0,1–0,6 нг/м³ для 3,4-БП. Основные различия в концентрации в атмосфере пестицидов и их метаболитов по регионам определяются климатическими условиями и спецификой источников загрязнения. Например, в Европейской части России воздух загрязнен 3,4-БП в 3 раза больше, чем в азиатской, и наоборот, концентрация суммы ГХЦГ в воздухе в азиатской части в 5–6 раз выше, чем в европейской, что объясняется соответствующим размещением основных источников их эмиссии. Максимум ХОП в воздухе приходится на теплый период года с пиковыми значениями весной и осенью, что совпадает с их внесением в почву при обработках сельскохозяйственных посевов.

Сезонная динамика концентраций 3,4-БП выражена повсеместно и весьма четко: зимой (ноябрь–март) в несколько раз выше летней и составляет свыше 1 нг/м³. Концентрации пестицидов в воздухе на территории России в настоящее время снижаются, что, очевидно, связано с сокращением их распыления с самолетов. Важной характеристикой для оценки интегрального потока загрязнения на подстилающую поверхность является их содержание в дождевых осадках. Загрязнение выпадающих осадков пестицидами носит региональный характер и напрямую связано с их содержанием в воздухе. Высокое содержание ДДТ и 3,4-БП отмечено в осадках на территории фоновых станций, расположенных в европейской части страны, а ГХЦГ – в азиатской. Содержание в осадках ХОП в последние годы имеет тенденцию к снижению.

Самым эффективным методом контроля источников загрязнения являются прямые измерения выбрасываемых загрязнителей. Все выбросы условно делят на следующие группы: организованные, неорганизованные, распределенные. *Организованные* выбросы производятся стационарными источниками, имеющими обычно высокие трубы и выбрасывающие большие объемы и концентрации загрязнителей. *Неорганизованные* выбросы поставляют в атмосферу токсические вещества из помещений предприятий; они отличаются небольшими количествами, высота их выброса невысокая и загрязняют среду значительно меньше, чем первые. *Распределенные* выбросы определяются количеством и качеством автотранспорта, а также обработкой сельхозугодий пестицидами и удобрениями разными способами, но особенно авиацией.

Основными характеристиками выбросов является их качественный состав, что определяется уровнем их производства и технологий, концентрацией загрязнителей, мощностью загрязнения (масса выбрасываемого вещества в единицу времени). Степень определяет относительно ограниченное число загрязнителей окружающей среды. Сюда относятся следующие газы: оксиды серы, азота, углерода; аммиак; газообразные фреоны и вещества, пребывающие в аэрозольной и паровой фазах; углеводороды, ртуть. Обычно в отдельную группу выделяются вещества, образуемые при сжигании природного топлива (уголь, газ, нефть) на различных видах электростанций, на промышленных предприятиях, на транспорте. Полностью топливо никогда не сгорает, и в таких выбросах всегда встречаются загрязнители.

Сильным загрязнителем атмосферы являются углеводороды: предельные неразветвленного (метан) и разветвленного (изобутан, изопентан) строения, непредельные (этилен, ацетилен), ароматические (бензол, толуол, ксилол), производственные (хлорпроизводные, спирты) и другие соединения. Углеводороды попадают в атмосферу с дымовыми газами теплоцентралей, выделяются из хранилищ жидкого и газообразного топлива, из скважин для добычи газа, нефти, но особенно много их содержат отработанные газы транспорта. До 80% углеводородов атмосферы составляют следующие 10 соединений: этан, этилен, ацетилен, н-бутан, изопентан, пропан, толуол, н-пентан, ксилол, изобутан (расположены в порядке снижения их средних концентраций). При определенных условиях все углеводороды способны вступать в реакцию с образованием сильных канцерогенов. Углеводороды под влиянием ультрафиолета принимают участие в формировании смога. Содержание углеводородов в атмосфере изменяется от единиц до десятков единиц мг/м^3 .

Большую роль в загрязнении атмосферы играют оксиды азота (NO , NO_2 и их сумма), поступающие в атмосферу с дымовыми газами металлургических предприятий, с выхлопными газами заводов, выпускающих азотные удобрения, но особенно с отработанными газами транспорта. Содержание оксидов азота варьирует от тысячных до десятых долей мг/м^3 .

Важным компонентом атмосферы является озон (O_3), наличие которого в небольших количествах в воздухе весьма важно для жизнедеятельности живых организмов. В связи с поглощением сол-

нечного ультрафиолета стратосферным озоном (нижняя граница стратосферы от 8 км над полюсами и до 17 км над экватором, а верхняя – около 50 км) биосфера защищена от поражающего биологические организмы уровня ультрафиолета. Поглощением инфракрасного излучения тропосферным озоном (тропосфера представляет нижний слой атмосферы до 8–17 км от поверхности земли) поддерживается глобальный температурный баланс.

Фотохимическая активность озона существенно влияет на химический состав атмосферы и тропосферы. Озон определяет также температуру верхнего слоя атмосферы и выполняет важную роль в циркуляции атмосферного воздуха. Разрушение озонового слоя будет способствовать усиленному поступлению на земную поверхность ультрафиолетового излучения, усиливающего канцерогенное воздействие на организмы и нарушающего процессы фотосинтеза растений. В разрушении озонового слоя свой вклад вносят химическое производство, авиация и ракетная техника.

Развитие промышленности и транспорта способствует нарастанию содержания озона в приземном слое воздуха, чему способствуют искрящие и генерирующие жесткие излучения установки (электросварка, системы зажигания двигателей, рентгеновские аппараты, искрение трамвайных и троллейбусных линий, линий электропоездов и т.д.). Озон является сильнейшим окислителем и весьма токсичным газом (превосходит угарный газ), обладает высокой мутагенностью и выделяется радиационностью, убивает микроорганизмы

Весьма токсичным загрязнителем атмосферы выступает сероводород (H_2S), попадающий в атмосферу из скважин для добычи газа, нефти, серных минеральных источников, с выбросными газами газоперерабатывающих, целлюлозно-бумажных заводов, заводов синтетических волокон и т.д. Концентрации указанных выше самых обильных загрязнителей атмосферы определяются на газоанализаторах, с помощью которых можно вести контроль чистоты воздуха. Хотя контроль атмосферы и не является самоцелью, но он служит необходимым фактором в борьбе за чистоту воздуха.

3. Характеристика основных загрязнителей атмосферы. Массовым загрязнителем атмосферы является оксид углерода (CO), содержащийся в дымовых газах теплостанций и в установках, сжигающих природное топливо. Наиболее мощным источником посту-

пления оксида углерода в атмосферу являются отработанные газы транспорта с двигателем внутреннего сгорания. Доля оксида углерода в атмосфере измеряется в $\text{мг}/\text{м}^3$ и колеблется от десятых долей до десятков единиц $\text{мг}/\text{м}^3$.

Оксид углерода или угарный газ (CO), – бесцветный, без запаха и вкуса, в атмосфере пребывает 2–4 мес., где окисляется до CO_2 при очень медленной скорости таких реакций. Неполное сгорание углеродсодержащего топлива является причиной образования CO (80% всех выбросов CO обусловлено автотранспортом); его много в кабине водителя и тракториста и вообще в местах, где работают двигатели внутреннего сгорания. Отрицательное влияние CO на растений, даже при высокой концентрации, не установлено. Для животных и человека он является дыхательным ядом, блокирующим поступление в ткани тела необходимого им кислорода, т.к. соединяется с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин ($\text{CO}\cdot\text{H}_b$), а с кислородом – оксигемоглобин ($\text{O}_2\cdot\text{H}_b$). Однако гемоглобин имеет большое сродство к CO (примерно в 210 раз), чем к O_2 , и потому парциальное давление CO , необходимое для полного насыщения гемоглобина, составляет $1/200$ парциального давления O_2 в тех же целях. В крови образуется карбоксигемоглобин, реакция частично обратима, поскольку CO , связанный с гемоглобином, постоянно выделяется, и наполовину кровь очищается только за 3–4 ч. При содержании CO до $40 \text{ мг}/\text{м}^3$ у животных наступает смерть. Допустимая концентрация CO в атмосфере: среднесуточная – 1,0, максимальная разовая – до $3,0 \text{ мг}/\text{м}^3$.

В больших количествах в атмосферу поступает оксид серы (SO_2), или сернистый газ, с дымовыми газами теплостанций (ТЭС, ТЭЦ и др.). Этот газ поступает в атмосферу также из скважин при добыче нефти и газа, с выхлопными газами сернокислотных заводов, при переработке сырья, содержащего серу, с отработанными газами транспорта с двигателями внутреннего сгорания. Содержание оксидов серы в воздухе измеряется в $\text{мг}/\text{м}^3$ и колеблется от тысячных долей до единиц $\text{мг}/\text{м}^3$. Диоксид серы SO_2 – бесцветный негорючий газ с резким запахом, ощущаемым в воздухе при содержании до 1 млн^{-1} . При концентрации SO_2 выше 3 млн^{-1} запах серы становится очень острым и раздражающим. Этот оксид хорошо растворяется в воде с образованием сернистой кислоты, частично при фотохимических процессах в атмосфере превращается в SO_3 , сер-

ную кислоту или её соли. Оксид SO_3 во влажном воздухе образует серную кислоту; он выделяется при сгорании серы в топливе (уральские угли содержат до 6% серы, донецкие – до 3,5, а кузбасские – до 1%), из выбросов производств (например, при выплавке металлов). В листья SO_2 попадает через устьица, окисляется до высокотоксичного сульфита (SO_3^{2-}) с последующим медленным превращением в сульфат (SO_4^{2-}). Окисление сульфата наблюдается в воздухе при его низкой концентрации, и поэтому растения не страдают. При высокой концентрации и длительном воздействии SO_2 превращается в SO_3^{2-} быстрее, чем SO_3 в SO_4^{2-} , и растения сильно повреждаются (Меннинг, Федер, 1985). На человека и животных SO_2 действует негативно при концентрации 2–3 млн⁻¹: поражаются верхние дыхательные пути, возникают заболевания бронхов, легких. Предельно допустимые концентрации SO_2 в атмосфере: среднесуточная – 0,05, а максимальная разовая – 0,5 мг/м³.

Озон (O_3) – фотохимический оксидант, бесцветный газ, считается вторичным загрязнителем и получается в результате сложной реакции между оксидами азота с участием ультрафиолета, который и определяет концентрацию озона в приземном слое воздуха; фоновая концентрация O_3 доходит до 0,04 млн⁻¹. В городах с фотохимическим смогом концентрации озона доходят до 1 млн⁻¹ и больше, что опасно для человека, животных и растений. В листья озон попадает через устьица в процессе газообмена растений и атмосферы; молодые листья наиболее чувствительны к озону: повреждаются клетки палисадной паренхимы и всего мезофилла, что ведет к пятнистости. Небольшие некротические пятна являются следствием гибели палисадных клеток (металлический оттенок или коричневый цвет, изменяющийся затем до белого и рыжевато-коричневого). С образованием на листьях больших пятен усиливается опадание листьев. Нижний пороговый уровень содержания O_3 в атмосфере, при котором растения уже испытывают его вредное воздействие (замедляется рост citrusовых, опадают листья люцерны и т.д.), составляет 60 мкг/м³. Предельно допустимые концентрации озона в атмосфере: среднесуточная – 0,03, максимальная – 0,16 мг/м³.

Пероксиацилнитрат (ПАН) – вторичный продукт сложной реакции между углеводородами с участием солнечной радиации в

районах возникновения смога. Фоновая концентрация ПАН < 0,01 млн⁻¹. В растения попадает через устьица молодых листьев, повреждая их верхушки, особенно в высокотемпературных условиях.

Оксиды азота (NO и NO₂) – главные загрязнители воздуха. NO – бесцветный газ, окисляется кислородом воздуха до NO₂. NO₂ – стабильный газ желтовато-бурого цвета; ухудшает видимость, придавая воздуху коричневый оттенок, вступает в воздухе в реакцию с влагой, образуя азотную кислоту, сильно поглощает ультрафиолетовую радиацию в области 0,3-0,4 мкм. Фотохимическое загрязнение воздуха вызывает NO₂, вступая в реакцию с сернистым ангидридом, кислородом, углеводородом. Сохраняется он в атмосфере недолго – в среднем около трех суток. В процессе сгорания органического топлива образуется больше NO, а NO₂ образуется уже в воздухе при распространении сгоревших газов. Переход NO в NO₂ в загрязненной атмосфере происходит быстрее, чем в чистой. Токсичность NO₂ в 5 раз ниже, чем токсичность SO₂. Наиболее чувствительной культурой к токсичности NO₂ является горчица, затем горох, фасоль, люцерна (бобовые культуры). Допустимые концентрации NO в воздухе: среднесуточная – 0,06, максимальная – 0,6 мг/м³; для NO₂: среднесуточная – 0,085, максимальная разовая – 0,085 мг/м³.

Фтористый водород (HF) – бесцветный газ с резким запахом. Фториды после SO₂ и O₃ по ядовитости занимают третье место среди загрязнителей атмосферы. Они отличаются очень большой химической и биологической активностью, а интенсификация промышленности увеличила поступление фторидов в природные комплексы. Фторсодержащие газы освобождаются в процессе промышленной обработки фосфоритов (до 50% содержащихся в сырье фторидов выделяются с уходящими в атмосферу газами). Большие выбросы фторидов (до 4,5 т в сутки) отмечены вокруг алюминиевых заводов (на 1 т алюминия выделяется до 40 кг фторидов). При внесении 1 т фосфорных удобрений в почву попадает до 150 г фтора, изменяется физико-химическая и биологическая активность почвы; при этом растения повреждаются, снижается урожай, заболевают флюорозом и гибнут животные, болеют люди.

При высокой концентрации в воздухе фторидов наблюдается падеж скота. Большие количества фтора накапливаются сахарной и кормовой свеклой (до 5 млн⁻¹), листьями петрушки и салата, капусты; содержание фторидов в плодах и ягодах ниже, чем в овощах.

При поедании загрязненной фторидами растительности животные заболевают, что сопровождается истощением, анемией, хромотой, ригидностью позвоночника, частыми переломами, сопротивляемость организма снижается, усиливаются инфекционные заболевания. Фтористый водород раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и кожи человека. Допустимые концентрации фтористого водорода в атмосфере: среднесуточная – 0,005 и максимальная – 0,02 мг/м³.

Хлор (Cl₂) – желтовато-зелёный газ, хорошо растворяется в воде, сильно повреждает растения. Хлороводород (HCl) – бесцветный гигроскопичный газ с резким запахом, в атмосфере может превращаться в аэрозольные капли соляной кислоты. В растениях концентрируется в листьях, повреждает их. Раздражает верхние дыхательные пути человека. Допустимые концентрации: среднесуточная – 0,03 и максимальная – 0,1 мг/м³ атмосферы.

Этилен (C₂H₄) и близкие ему олефины (например, пропилен) являются фитотоксичными загрязнителями атмосферы, выбрасываются в воздух промышленными предприятиями и автотранспортом. Этилен является природным растительным гормоном, образующимся при повреждении растений, играет большую роль в процессах созревания плодов, опадания цветков, дефолиации и т.д. Этилен повреждает растения: ухудшается рост, происходит преждевременное старение, опадение различных структур, раскрытие почек, скручивание листьев и т.д. Допустимые концентрации этилена в воздухе: среднесуточная – 3, максимальная – 3 мг/м³.

Аммиак (NH₃) – бесцветный газ с характерным запахом, растворяется в воде, раствор сильно щелочной. Образуется при гниении органических веществ под влиянием уреазоактивных анаэробных бактерий, активность которых усиливается при повышении температуры: летом его концентрация выше, зимой – ниже. Только высокие концентрации вызывают отравление растений. Раздражает верхние дыхательные пути человека, возбуждающе действует на центральную нервную систему; вызывает ожог слизистой оболочки, повышает кровяное давление и усиливает частоту дыхания; при высоких концентрациях (до 35 мг/м³) возможен ожог легких; вызывает бронхиальные катары, нарушает пищеварение. Допустимые концентрации в воздухе: среднесуточная – 0,2, максимальная – 0,2 мг/м³.

Сероводород (H_2S) – бесцветный, ядовитый газ с резким запахом, содержится в выбросах нефти и газа и образуется при бактериальном гниении высокобелковых продуктов растений и животных. Вдыхание газа вызывает нервные расстройства, нарушение кровяного давления; у животных падает продуктивность. Содержание сероводорода в атмосфере животноводческих комплексов допускается: для птицы – 5, КРС и свиней – 10 и для овец – до 20 мг/м^3 . Допустимые концентрации H_2S в воздухе: среднесуточная – $0,008$, максимальная – $0,008 \text{ мг/м}^3$.

Диоксид углерода, или углекислый газ (CO_2), – бесцветный газ, плохо растворимый в воде, негорючий. В воздухе находится в низких концентрациях постоянно и является продуктом обмена веществ и разложения органического вещества. Он тяжелее атмосферного воздуха и скапливается в опасных концентрациях в колодцах и погребях; высокая его концентрация в угольных шахтах. Обладает наркотическим свойством, раздражает кожу и слизистые оболочки. Высокие концентрации вызывают сокращение частоты дыхания, вялость, снижение продуктивности у животных.

Пары ртути (Hg) тяжелее воздуха, адсорбируются строительными материалами и тканями, в воздух поступают при сжигании ископаемого топлива. Из атмосферы ртуть переходит в воду с образованием высокотоксичной метилированной формы (токсичность этой формы в 30–100 раз выше, чем обычной). Негативно влияют на листья растений, которые покрываются бурыми пятнами, желтеют и опадают; у человека вызывают острые и хронические отравления с поражением центральной нервной системы. Содержание в воздухе доходит до $0,01 \text{ мкг/м}^3$, в ртутных поясах – до 3 и до 11 мкг/м^3 в зоне производства хлора и щелочи. Допустимая концентрация ртути – $0,3 \text{ мкг/м}^3$ (среднесуточная). Ртуть – токсикант кумулятивного действия.

В промышленных выбросах в городах преобладают пыль, двуокись серы, окись углерода, окислы азота, на долю которых приходится до 85% годового выброса вредных веществ. На долю так называемых специфических веществ, представляющих выбросы нефтяной и нефтеперерабатывающей, угольной, химической промышленности, а также выхлопы автотранспорта, приходится 15%. Эти выбросы относительно локализованы и свойственны небольшому числу городов и поселков. Около 50% специфических ве-

шесть приходится на углеводороды, а вторая половина составлена сероводородом, аммиаком, фенолом, смолистыми веществами, сероуглеродами, фтористыми соединениями, серной кислотой. Выбрасываемые в атмосферу вещества распространяются по-разному, что и сказывается на специфике контроля за уровнем загрязнения воздуха. Основные измерения приходятся на долю сернистого газа (>20%), двуокиси азота (>20%), окиси углерода (до 20%), пыли (около 10%), фенола (до 10%).

Состояние воздуха во многих городах нашей страны сегодня вполне удовлетворительное, что связано, безусловно, с остановкой основной части заводов, ликвидацией мелких котелен и другими мероприятиями. К сожалению, значительно возросло давление выбросов автотранспорта. Концентрация примесей в воздушном бассейне городов зависит от режима выбросов, времени года, метеоусловий и т.д. Нередко в связи с приземной инверсией температуры воздуха отмечается утренний максимум примесей в воздухе, связанный с увеличением выбросов в начале рабочего дня. В годовом ходе содержания примесей в воздухе отмечены сезонные изменения их количеств.

Интенсивное нарастание примесей в воздухе зимой и весной на Кубани обусловлены периодами пыльных бурь. В такой неблагоприятный по метеоусловиям период предприятия должны перейти на режим работы с пониженным выбросом. Весьма распространенным загрязнителем воздуха является сернистый газ, формирующийся при сжигании твердых и жидких видов топлива на многих производствах, особенно энергетических. Этот загрязнитель воздуха по массе выброса и концентрации в воздухе сильно связан с размерами города и численностью его населения.

Общий рост парка автомашин особенно сказался на увеличении доли окиси углерода в городах, где она доходит до 3 мг/м³ и больше (при ПДК 3 мг/м³), а в центре города (особенно на крупных перекрестках) содержание окиси углерода может доходить до 8–10 мг/м³. Чем больше автопарк машин в городе, тем выше концентрация окиси углерода в воздухе. В последние годы наметилось снижение содержания в воздухе окислов серы и азота при заметном росте доли окиси углерода.

Данные по содержанию бенз(а)пирена в воздухе городов показывают, что на западе в атмосфере содержание этого газа в не-

сколько раз выше, чем в городах России. Особенно сильно загрязнен воздух Праги, Лондона, Парижа, Гамбурга, где максимальное загрязнение превышает таковое в российских городах в несколько десятков раз. Этим объясняется высокий уровень онкологических заболеваний легких, например в Англии, тогда как в России он существенно ниже.

Вредное воздействие на человека оказывают содержащиеся в воздухе асбест и винилхлорид. Частицы асбеста (их размер не превышает 2 мкм) вызывают онкологические заболевания; концентрация асбеста доходит до 10 млн частиц/м³ (ПДК в США – 2 млн част./м³). Частицы антропогенного происхождения в воздухе условно делятся на первичные (образуются в процессе промышленных выбросов) и вторичные (образуются в атмосфере из разных веществ, в основном газообразных, – углеводородов, окислов азота, сернистого газа); крупные частицы (>2 мкм) преобладают в первичной группе, а мелкие (<1 мкм) – во вторичной. Частицы с диаметром 10–100 мкм в воздухе – почвенного происхождения и от выбросов местной промышленности, а в приморской зоне добавляются кристаллы солей.

Доля транспорта в выбросах примесей сравнительно невелика, но их токсичность значительно превышает таковое естественного происхождения. Частицы, выделяемые при работе транспорта, небольшие: основная их масса менее 2 мкм. Вторичные частицы диаметром 0,01–1,0 мкм в основном антропогенного происхождения; вторичные аэрозоли (особенно сульфаты) отличаются высокой биологической активностью. Загрязнение воздуха наносит огромный ущерб в виде снижения здоровья населения и негативного влияния на окружающую среду (усиливается коррозия материалов, разрушение построек и т.д.).

4. Мониторинг загрязнения атмосферы города. Основными задачами мониторинга воздушного бассейна городов является отслеживание загрязнения атмосферы и оценка мероприятий по защите воздуха, контроль соблюдения нормативов содержания загрязнителей в выбросах. Кроме того, служба контроля воздушного бассейна информирует о резких подъемах содержания загрязнителей в воздухе независимо от их происхождения (возросших ли выбросов предприятий или обусловленных специфичностью метеоусловий -

инверсии, штиль и т.д.). Пункты наблюдения за уровнем загрязнения воздуха делятся на 3 категории.

1. Стационарные пункты организованы для постоянного длительного наблюдения; они снабжены специальной аппаратурой для отбора проб воздуха и его анализа, постоянной регистрации количества вредных примесей в воздухе и метеоусловий.

2. Маршрутные посты также организуются для постоянных наблюдений и снабжены передвижной лабораторией для отбора проб и определения метеоусловий.

3. Передвижные посты организуются для разовых наблюдений под дымовыми и газовыми факелами в зависимости от силы ветра и расстояния до источника загрязнения.

Наблюдения за загрязнением воздуха включают следующие подготовительные работы: 1) выбор местоположений для постов отбора проб воздуха и учета метеоусловий, характерных для данного района (города), 2) оснащение таких постов приборами, реактивами и т.д. и 3) создание химической лаборатории. Местоположение поста должно отвечать следующим требованиям: 1) место открытое, проветриваемое со всех сторон и с непылящим покрытием (газон, асфальт, твердый грунт) или недалеко от перекрестка улиц, 2) в жилых районах с подветренной стороны по отношению к основному направлению ветров на удалении от 10 до 40 средних высот труб основных источников загрязнения. Количество стационарных и маршрутных постов определяется с учетом площади города, рельефа, развития промышленности (для города с населением до 1 млн организуется 2–3 поста).

Метод линейной интерполяции используется для оптимизации размещения пунктов наблюдения в городе; метод дает возможность охватить наибольшие расстояния между пунктами и позволяет оценить содержание примесей в промежуточной зоне с точностью до $\pm 20\%$. Предварительное обследование воздуха также помогает лучше сориентироваться в размещении городских стационарных пунктов наблюдения. При мониторинге воздуха в нем определяется содержание пыли, сажи (масса), сернистого газа, окиси углерода, двуокиси азота.

При наличии специфических веществ в воздухе организуется контроль над их содержаниями. Контролю подлежат также пары серной кислоты, аммиак, сероводород, сероуглерод, фенол, фтористый

водород, хлор, метилмеркаптан и т.д., а также ТМ (ртуть, свинец, железо, марганец, никель, хром, олово, ванадий, цинк и др.), углеводороды и озон.

Для совершенствования контроля загрязнителей воздуха необходимо уделять большое внимание автоматизации их измерений на уровне района или города. Создаваемые локальные автоматизированные системы включают контроль-замерную станцию (КЗС) и вычислительный центр. Наряду с контролем распространенных загрязнителей (пыль, ТМ, органические вещества и т.д.) большое внимание уделяется исследованию таких явлений, как фотохимический смог, вызываемый выбросами промышленности и автотранспорта при определенных метеоусловиях, а также озона, перекисей, альдегидов, кетонов, свободных радикалов, образуемых под действием ультрафиолета солнечной радиации на соединения выхлопных газов – окислы азота и углеводороды. Полученные соединения (озон и др.) являются более токсичными, чем исходные вещества, а их накопление в воздухе и обуславливает фотохимический смог. Сильное раздражение слизистой оболочки глаз и дыхательных путей, снижение видимости, неприятный специфический запах и другие последствия фотохимического смога отрицательно влияют на человека. Вредное действие смога сказывается также на угнетении растительности, разрушении различных материалов (текстиль, резина и т.д.). Частью мониторинга воздуха поэтому является также изучение фотохимических процессов в атмосфере города и региона. Например, установлено, что физико-химическая трансформация галогенсодержащих загрязнителей (фреоны) обуславливает разрушение озонового слоя в стратосфере и т.д.

Важность изучения полей (мест концентрации) атмосферного загрязнения города определяется тем, что пространственное распределение загрязнителей в его воздушном бассейне тесно коррелирует с уровнем заболевания населения в нем по отдельным районам (Ратанова и др., 1990). Раскрыть эту связь весьма трудно, поскольку для города характерно множество источников выбросов и сложность миграционных потоков перемещения загрязнителей. В связи с этим необходимо учитывать такие ситуации, как и различные условия, определяющие разнообразие форм рассеивания загрязнителей.

В практике находят применение разработанные Главной геофизической обсерваторией математические методы расчета полей

атмосферного загрязнения города, хотя они, безусловно, не способны учесть все реально имеющиеся аномалии. Основными факторами, определяющими пространственное размещение, происхождение и особенности аномалий тяжелых металлов (ТМ) в атмосфере города, являются следующие:

1. Различные металлы в атмосфере перемещаются в разных фазах: железо в основном в составе крупнодисперсных аэрозолей, свинец адсорбируется на мелкодисперсных частицах, ртуть в парогазовой фазе и т.д.; поэтому их осаждение из воздушного потока весьма сильно колеблется.

2. Различные производства имеют разный ритм работы и интенсивность, и частота и объем пространственных выбросов у них также разнятся; заметно различаются во времени температура и влажность пылегазового выброса.

3. Микроклиматические условия миграции и седиментации ТМ определяются плотностью, высотой, конфигурацией, материалом застройки (селитебной, промышленной, транспортной), уровнем городского озеленения территории, наличием и размещением в городе водоемов, пустынных участков, газонов и других открытых мест.

4. Мезоклимат города или его частей определяется мезорельефом, с планированной структурой, наличием больших водохранилищ, лесных массивов и т.д.

Бесспорно, все тонкости перечисленных факторов, формирующих поля атмосферного загрязнения города, ни в какой модели учесть нельзя. И не случайно ученые ищут иные пути моделирования пространственной структуры загрязнения города (например, ландшафтный подход). Допускается, что для каждого ландшафта свойственны свои закономерности формирования геохимического поля, и в настоящее время этот подход считается наиболее перспективным.

Разработанность городских ландшафтов пока слабая. Распределение факторов формирования атмосферных геохимических полей возможно на основе классификации городских ландшафтов и их последующего картографирования. Микроклиматические условия миграции ТМ учитываются, поскольку каждому типу городского ландшафта свойственен свой набор специфических характеристик микроклимата. При классификации городских ландшафтов учиты-

ваются также технологические особенности выбросов, интенсивность и ритм работы предприятий, распределение выбросов и т.д.

На стадии определения типобразующих признаков и свойств осуществляется учет функциональных и структурных особенностей основных ландшафтных компонентов, какими в первую очередь являются техногенные. Условия мезоклимата, обуславливающие миграцию и седиментацию аэрозолей в той части города, где они определяются мезорельефом, обязательно учитываются при выделении и картографировании его физико-географических территорий. Изучение полей загрязнения города тяжелыми металлами ведется по отдельным элементам. Комплексный учет структурных и функционально-техногенных, микро- и мезоклиматических факторов формирования геохимических аномалий в атмосфере города вполне возможен и уже реализуется в ряде городов Украины: Днепропетровске, Киеве, Кривом Роге, Краматорске и т.д.

Широко используются для изучения атмосферного загрязнения городов серой, фтором, полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) и тяжелыми металлами планшетные методы. Они базируются на наличии корреляций между средним многолетним содержанием загрязнителей в приземном воздухе в различных районах города и содержанием этих веществ в поглощающих их из атмосферы средах – почве и особенно в коре деревьев (например, черном тополе *Populus niger* L.), устойчивых к антропогенному воздействию и широко распространенных в городах и станицах Кубани. Кора снимается с дерева (до 2 мм толщина стружки), промывается дистиллятом, высушивается в муфеле при температуре 430 °С в течение 8 час. Зола коры растворяется в азотной кислоте, раствор фильтруется и анализируется на содержание Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni атомно-абсорбционным методом. Опыт проводится в двукратной повторности, ошибка средней не превышает 15%.

Для расчета по коре тополя среднего многолетнего содержания ТМ в приземном воздухе в пунктах пробоотбора применяется следующий методический прием. В отобранных образцах коры в различных пунктах определяется содержание ТМ и сравнивается с их содержанием в воздухе в местах их сбора; проводится регрессионный анализ зависимости между величинами содержания ТМ в образцах коры и концентрацией ТМ в воздухе (в мкг/м³) в конкретных пунктах. Проверяются 4 регрессионные модели – линейная,

экспоненциальная, степенная, обратно пропорциональная. Полученные уравнения регрессий используются для оценки среднего многолетнего содержания ТМ в воздухе и в коре тополя в пунктах пробоотбора: y – содержание ТМ в атмосфере (мкг/м³), x – содержание ТМ в коре (мкг/г). Для расчетов используется уравнение регрессии с получением следующих результатов: Fe – $y=0,149+0,558x$ ($R=0,53$); Mn – $y=0,0809+0,0025x$ ($R=0,72$); Zn – $y=0,0245+0,576x$ ($R=0,37$); Cu – $y=-0,162+0,0273x$ ($R=0,66$); Pb – $y=0,01498+0,0030899x$ ($R=0,98$), Ni – $y=0,031+0,778x$ ($R=0,38$), где R – коэффициент корреляции.

Обычно сеть пробоотбора в городе строится по геометрическому принципу (квадратно-гнездовым способом с шагом 100, 500 (часто), 800, 1000 м), но такая методика мало отвечает реальной ситуации. Оптимальным вариантом разбивки сети пробоотбора в городе является ландшафтная основа: пробы отбираются в полях типичности ландшафта и на ландшафтно-экотонных территориях. В полях типичности ландшафта формирование средних многолетних уровней концентрации ТМ в атмосфере выступает в качестве функциональной ландшафтной структуры; уровни концентрации загрязнителей наиболее специфичны на ландшафтно-экотонных территориях. Выделение разноуровневых ландшафтов позволяет объективно выделить точки пробоотбора с учетом специфичности состояния атмосферы, определенных конкретными факторами (например, микроклиматом).

В начале подготовки полевого этапа исследований на основе топографических карт в масштабе 1:10000 с использованием генерального плана города (масштаб 1:5000) и аэрофотоснимков при обязательном рекогносцировочном изучении территории готовится черновик ландшафтной карты города. Такой черновик карты является основой для предварительной разбивки сети и выделения ландшафтов для пробоотбора, при выполнении которого проводится по возможности подробная оценка ситуации уже на местности (застройки, озеленение, наличие выбросов, направленность основных улиц по отношению к розе ветров, рельеф и т.д.) с целью внесения поправок в выстроенную сеть пробоотбора и уточнение их границ. Все пункты пробоотбора привязываются к конкретному участку определенного ландшафта.

Различная степень детализации при выделении ландшафтов города дает возможность учитывать комплекс процессов формирования полей атмосферного загрязнения на разных уровнях. При физико-географическом картографировании местностей обязательно учитываются мезоклиматические условия воздушного энергопереноса масс, определяемые мезорельефом. С различной степенью детализации учитываются и микроклиматические факторы этого энергопереноса и пространственное распределение в городской черте источников выбросов, а также специфика их функционирования.

Сложность функциональных, техногенных и микроклиматических условий формирования геохимических атмосферных аномалий определяется при классификации городских ландшафтов по количеству выделенных таксономических уровней. При изучении загрязнения города важной информацией является пространственное распределение и функционирование источников выбросов ТМ в атмосферу и особенности концентрации ТМ в жилых районах. С большой тщательностью необходимо картографировать транспортные селитебные промышленные ландшафты. Например, для организации аэрохимического мониторинга крупного комбината необходимо картировать в составе городского ландшафта промплощадку завода с примыкающими к ней заводами стройматериалов, ГСМ, нефтезаправкой и т.д., ландшафты отдельных особо загрязняющих цехов или заводов – шлакоблочного, цементного и т.д., а в пределах химического завода – ландшафты цехов производства серной кислоты, гранулирования удобрений и т.д.

Детализация картографирования крупного комбината дает возможность оценить долю различных производств в образовании полей воздушного загрязнения на территории их промышленной площадки, а также в прилегающих (обычно жилых) районах. Установлено, например, что нагревательные колодцы блюмингов (ландшафт прокатного производства) в основном определяют низкие выбросы ТМ в атмосферу, тогда как мартеновские и конверторные производства (ландшафт сталеплавильного производства) определяют высокие выбросы, которые охватывают большие пространства. Весьма своеобразна роль известкового цеха, размещенного пространственно около промплощадки; обычно он отличается большими выбросами с перегретыми газом и пылью, что вызывает повы-

шение уровня атмосферной нагрузки цинка на окружающие территории за пределами промышленной зоны.

Безусловно, на карте необходимо выделять транспортные ландшафты (авто- и железнодорожные, авиационные, включая аэропорты). Особо следует обращать внимание на связь автотранспортных ландшафтов с рельефом, который оказывает большое влияние на распространение в приземной атмосфере низких автомобильных выбросов, а также на режим работы двигателя, выбрасывающего газы. Достаточно детально ведется картографирование сеlettных городских ландшафтов: мало-, низко-, средневысотных, разновысотных и высотных, а также спорадической, разреженной, плотной и сплошной застроек.

Ландшафтная карта города позволяет достаточно точно провести изолинии средних многолетних концентраций поллютантов в атмосфере. Число пунктов отбора проб колеблется от 200 (небольшой город) до 400 (город средних размеров с 1 млн населения). Изолинии многолетних концентраций отдельных ТМ в приземном слое воздуха города вычерчиваются по нанесенным на ландшафт точечным концентрациям ТМ в воздухе в пунктах отбора проб и с учетом ландшафтной структуры города.

Знание ландшафта города наряду с хорошим представлением специфики перемещения поллютантов; в различных условиях города от разных источников, выявленного с помощью математического моделирования, дает возможность шире и при вычерчивании изолиний правильнее использовать экстраполяцию, а также объективнее формировать картографические модели географических атмосферных полей нагрузок на городской ландшафт. Картография пространственной структуры полей загрязнения атмосферы в изолиниях средних многолетних концентраций ТМ в приземном слое воздуха наиболее удобна для использования специалистами разного уровня при оценке экологической ситуации в различных целях – медицинских, природоохранных и т.д.

Глава 11. Мониторинг состояния воды

1. Мониторинг поверхностных вод суши. К поверхностным водоемам относятся реки, озера, водохранилища, ручьи и другие природные и антропогенные образования, содержащие пресные воды, используемые как питьевые и на производственные нужды. Наблюдениями в нашей стране охвачено свыше 700 крупных водных объектов, в которых отбирается за год больше 10 тыс. образцов воды для контроля её качества по 10–20 показателям. Качественная и количественная характеристики загрязнения поверхностных вод в разных районах весьма пестры. В поверхностных водах содержатся нефтепродукты, фенолы, ПАВ, пестициды, практически все химические элементы земной коры, а также аммоний, нитраты и растворимый кислород. Основными загрязнителями пресных водоемов являются сточные воды сельхозпредприятий, городов, поселков, промышленных предприятий (особенно кожевенных, лакокрасочных, целлюлозно-бумажных и др.). На химический состав поверхностных вод влияют производственные аварии и различные природные явления (засуха, обвалы берегов, оползни, таяние снегов и т.д.). В засушливые годы качество воды падает, повышается её загрязнение нефтепродуктами, тяжелыми металлами, азотом, фосфором и т.д. Накопление ртути в пресноводных системах объясняется её широким применением в промышленности, сельском хозяйстве, в быту.

В речной воде в значительных количествах содержатся также свинец (его ПДК составляет 0,01 мг/л) – до 0,5 мкг/л и кадмий – около 10 мкг/л. Пресный водоем содержит 0,0001 мг/л пестицида ДДТ, который накапливается в водных растениях до 0,01, водных беспозвоночных – 0,1, пресноводных рыбах до 2 мг/кг, что указывает на его концентрацию в конечных звеньях трофических цепей.

Близкие к хлорорганическим пестицидам (по поведению в окружающей среде и токсичности) полихлорированные и полиброми-

рованные бифенилы (ПХБ и ПББ), отличающиеся уникальностью физико-химических свойств и потому получившие широкое использование и частично поступающие в атмосферу – 2%, в морские воды – 4–5% и в свалочный субстрат – 18%. ПХБ сорбируются на твердых частицах, присутствующих в воде и донных отложениях и включаются в биологические системы; их содержание в речной воде доходит до 0,5 мкг/л. Содержание ПХБ в организме водных беспозвоночных и рыбах доходит до 3×10^{-3} – 7×10^{-4} мкг/кг; при передвижении по пищевым цепям их концентрация увеличивается в 10–100 раз, и по отношению к воде их доля может составить 10^9 (у орлов). ПДК для ПХБ в США составляют в рыбе и птице – 5 мг/кг; в молоке 0,2 мг/л для ПХБ и 0,3 мг/кг в мясе и 0,3 мг/л в молоке для ПББ.

В поверхностные воды ХОП и 3,4-БП попадают с поверхностным стоком и атмосферными осадками. Пестициды быстро перераспределяются между жидкой частью воды и взвесью и в силу седиментации последней переходят в донные отложения, где и депонируются на долгие годы. При низкой растворимости ДДТ и 3,4-БП и их высокой адсорбции на взвесьях уровень их концентрации в поверхностных водах быстро меняется. Концентрация пестицидов в поверхностных водах в нашей стране в последние годы снижается, и их масса находится в пределах 6–10 нг/л (для ХОП) и 2–5 нг/л (для 3,4-БП). Равнинные водоемы являются более загрязненными, чем горные. Самые высокие уровни пестицидного загрязнения отмечены весной и осенью, когда повышается поверхностный сток. Диапазон загрязнения поверхностных вод на Кавказе по сумме ГХЦГ составляет 6,3–20, а по сумме ДДТ – 3,2–16 нг/л.

Большое значение имеет изучение эвтрофикации поверхностных вод, обусловленной повышением содержания в них нитратов, основным источником которых являются минеральные и органические удобрения. Нитраты загрязняют не только поверхностные, но и грунтовые воды. Внесенный на поля азот примерно на 30–40% поступает в природные воды, благодаря бактериальной активности быстро трансформируется в нитраты, а вследствие высокой растворимости и низкой адсорбционной способности активно просачивается в подземные воды и с ними поступает в реки и озера. Со сточными водами азот поступает сравнительно мало. Средняя концентрация нитратов в поверхностных водах в США достигает 2 мг/л, а нередко и выше нормы (ПДК в питьевой воде составляет 10 мг/л). В России

ПДК нитратов в питьевой воде в соответствии с СанПиН 2.1.4.559–96 составляет 4,5 мг/л; велика доля нитратов в некоторых грунтовых водах в зоне сельскохозяйственных угодий. Эвтрофикация водоемов развивается уже при содержании нитратов в воде около 0,3 мг/л и сопровождается активным развитием водорослей, а также других водных растений, потерей кислорода, гибелью водных животных, накоплением огромной гниющей массы органики, негативно влияющей и на водоросли, и на животные организмы.

Во многих районах нашей страны (наш край не исключение) пресной воды не хватает для полного удовлетворения потребности населения, для нужд промышленности и сельского хозяйства, не говоря уже о качестве этой воды. Служба контроля качества воды входит в общую систему мониторинга загрязнения окружающей среды, что сказывается в известной степени на выполнении программы наблюдений за этим важнейшим объектом биосферы.

Основной целью контроля состояния вод суши является получение информации об их качестве, что предусматривает решение следующих задач: 1) контроль физических, химических и гидробиологических показателей воды; 2) динамика загрязнителей и установление условий, вызывающих резкие колебания уровня загрязнений; 3) изучение процессов самоочищения и накопления загрязнителей в донных отложениях; 4) изучение причин выноса загрязнителей через устьевые створы рек и определение их баланса в водорослях и других организмах.

Наблюдения и контроль загрязнения поверхностных вод в нарушенных человеком ландшафтах и фоновые наблюдения в местах минимального антропогенного воздействия проводятся при организации 1) стационарной сети оценки на загрязненных участках состава поверхностных вод по физическим, химическим и гидробиологическим параметрам; 2) экспедиционной сети пунктов наблюдений; 3) системы кластеров для решения научно-исследовательских задач. Под кластером понимается блок отбора образцов и проведения наблюдений, приуроченный, например, к сбору сточных вод и включающий несколько наблюдательных створов – поперечных разрезов через водный объект, где ведутся наблюдения – гидрологические, гидрохимические и гидробиологические.

При выделении кластеров для наблюдения уровня загрязнения поверхностных вод выбирают места: 1) сброса в реки, озера, водо-

хранилища сточных и ливневых вод городов и поселков; 2) сброса промышленных сточных вод предприятиями (например, кожевенными заводами, нефтепредприятиями и т.д.); 3) сброса подогретых вод (например, ТЭЦ); 4) сброса коллекторно-дренажных вод с орошаемых или осушаемых земель (например, с рисовых систем); 5) нерестилиц и зимовий ценных пород рыб; 6) створов рек, впадающих во внутренние водоемы и моря; 7) створов рек, вытекающих из других районов и т.д. В каждом кластере на реке организуются створы наблюдений: 1 – выше источника загрязнения на расстоянии 1 км (фоновый для этого пункта), 2 – ниже источника загрязнения на 500 м от места сброса загрязнителей. Отбор проб воды проводится на одной вертикали с поверхностного слоя на водостоках и в водоемах; на остальных створах – на нескольких вертикалях; при глубине воды 5 м – с поверхностного, при глубине воды 5–10 м – с поверхностного и придонного слоев, а при глубине более 10 м – дополнительно еще со среднего слоя.

Гидробиологические и гидрохимические исследования (оценка содержания определенных веществ и показателей качества воды, периодичность наблюдений и др.) определяются спецификой требуемой информации, видами производства и т.д., что обуславливает различия Программ наблюдений по кластерам мониторинга. На постоянных участках перечень изучаемых показателей качества воды определяется составом и объемом стоков, их токсичностью и включает следующие показатели: температура воды, минерализация, количество взвешенных веществ, цветность, рН, содержание растворенного кислорода, БПК, ХПК, запах, концентрация главных ионов, биогенов, нефтепродуктов, СПАВ, летучих фенолов, пестицидов, ТМ. Программа наблюдений в каждой точке включает как определение показателей из указанного перечня, так и специфических загрязнителей в сточных водах отдельных производств.

Для получения полной информации о качестве воды и изменении уровня её загрязнения, а также действенности мероприятий по её охране стационарная сеть наблюдений должна включать 4 группы пунктов наблюдений по их размещению: 1) кластеры (пункты) на водных участках особо важного хозяйственного значения (места сброса стоков, где возможны случаи превышения критического значения концентрации определенного вещества или показателя качества воды, места нерестилиц ценной рыбы); 2) кластеры на водных

объектах в районе городов и рабочих поселков, где воду использует население, а также в местах массового отдыха и сброса коллекторно-дренажных вод с сельхозугодий, на пограничных створах рек, протекающих по территориям нескольких государств независимо от направления тока воды, а также на створах рек, впадающих во внутренние водоемы и моря и в приустьевой зоне больших рек и водохранилищ; 3) кластеры на водных объектах, где антропогенное влияние на качество воды умеренное (небольшие города, места отдыха, стоки с сельхозугодий); 4) кластеры на незагрязненных объектах, где проводятся только гидрохимические наблюдения.

Работы в пунктах наблюдений различаются по количеству показателей и срокам их выполнения: в кластерах первой группы ежедневно проводятся наблюдения по сокращенной программе и еженедельно – по полной; во второй группе – ежедневно проводятся визуальные наблюдения, ежемесячно по полной программе; в кластерах третьей и четвертой групп – ежемесячные наблюдения по сокращенной программе, а по полной – гидрологические исследования. Наряду с обязательной программой наблюдений для кластеров 1–3 групп устанавливается список подлежащих наблюдениям веществ, специфичных для данного района. Список таких веществ устанавливается по результатам непосредственных отборов проб воды в определенном кластере и их анализе.

Важнейшим направлением в развитии системы контроля качества вод суши является автоматизация наблюдений уровня их загрязнения через измерение следующих показателей: температура, растворенный кислород, рН, мутность, электропроводность, уровень воды. Автоматизированные системы контроля уровня загрязнения поверхностных вод необходимо создавать в районах, испытывающих нехватку воды, и они являются частью системы управления качеством воды.

Система мониторинга наиболее актуальна для комплексной оценки качества воды (например, по гидробиологическим показателям), что позволяет все водные объекты на базе таких наблюдений разделить на категории с определенным уровнем загрязнения в целом. При снижении класса водоема по качеству воды сокращается число видов водопользования и снижается его ценность. Контроль качества воды по гидробиологии дополняет контроль по физическим и химическим показателям и включает проведение в выделенных

кластерах биоиндикации в определенные сроки и с использованием унифицированных на основе накопленной информации методик по реакции и состоянию макрофитов, зоо-, фито- и бактериопланктона, зообентоса, нейстона, перифитона. Большую проблему в охране поверхностных вод создают сельскохозяйственные территории, где сильно выражены эрозионные процессы почв, увеличивается применение пестицидов (особенно ксенобиотиков), наблюдается разрушение прибрежных территорий и т.д.

Важным направлением в современной системе мониторинга следует считать контроль загрязнения донных отложений водных систем: некоторые вещества накапливаются здесь в больших количествах, что выдвигает их в ранг вторичных и весьма существенных источников загрязнения воды и важных объектов изучения.

Проведение гидробиологического мониторинга представляет самостоятельный раздел контроля мониторинга поверхностных вод; он дает информацию как об уровне загрязнения природных вод, так и о реакции биоты на эти загрязнения, а также о степени влияния антропогенного загрязнения на состояние организмов, популяций и экосистем в целом. Наблюдения осуществляются за зообентосом, зоо- и фитопланктоном, макрофитами; при необходимости изучаются также бактериопланктон, нейстон (на море) и перифитон (на реках). Важная роль принадлежит бентосу, видовой состав которого считается важнейшим гидробиологическим показателем загрязнения грунта и придонного слоя воды.

Бентосные организмы способны обитать в разных биотопах водной системы и в разных условиях загрязнения. При биомониторинге водных систем определяется общее число бентосных организмов (экз./м³), общее число видов, численность видов, особей и основных групп (олигохеты, моллюски, хирономиды, двукрылые, ракообразные и т.д.), а также массовые и индикаторные виды. Определенный интерес представляют наблюдения за перифитоном – фауной обрастания. Основными группами фитопланктона являются водоросли диатомовые, синезеленые, протококковые, вольвоксовые и т.д., биомасса которых оценивается в мг/л, а численность видового состава фитопланктона – тыс. клеток/мл; формы-индикаторы обычно определяются до вида, а остальные организмы – до рода.

Зоопланктон включает ветвистоусых и веслоногих рачков, коловраток, простейших и т.д.; общая численность которых оценивает-

ся в тыс. экз./м³, а биомасса – в мг/м³. Степень загрязненности вод органическими и токсическими веществами оценивается по численности и составу зоопланктона. Отдельные представители служат хорошим индикатором загрязнения, а некоторые являются патогенами, снижающими качество воды. Макрофиты (покрытосеменные, папоротники, хвощи, мхи, харовые водоросли) считаются хорошими объектами для контроля загрязнения; особое значение имеет их видовой состав, обилие, фитомасса, аномалии, продолжительность фенофаз, особенно воздушно-водных макрофитов. По визуальной оценке этих растений можно составить первичное заключение о степени загрязненности водоема.

Микробиологические показатели (число бактерий в млн клеток/мл, время удвоения числа бактерий, число сапрофитных бактерий, число специализированных групп бактерий) также включаются в комплексный контроль качества воды. Совокупность гидробиологических показателей (индексы сапробности, разнообразия, токсичности, продукционные и микробиологические параметры) используются при оценке качества воды и состояния водных экосистем. Сапробность определяется по числу сапробных организмов; показатели разнообразия – по индексам видового разнообразия; сравнение видового разнообразия на загрязненном и чистом участках ведется по коэффициентам сходства и абсолютного сходства. Дафнии, тубифициды, хирономиды, гаммариды используются в качестве тест-объектов для оценки токсикологического состояния воды: определенным показателем является выживаемость этих беспозвоночных при экспозиции в течение до 4 суток (до 96 час).

Стеклянные методы (кислородный, хлорофилльный) используются для определения первичной продукции; кислородный метод позволяет оценить интенсивность фотосинтеза фитопланктона. Изложенная система действует в сети Госкомгидромета, а результаты работы позволяют достаточно полно оценить качество воды и состояние отдельных водоемов. Для любой страны и любого региона поддержание питьевой ценности пресных водоемов имеет стратегическое значение, а значит, требует периодического отслеживания качества питьевой воды.

2. Оценка качества воды. Сброс ядовитых отходов, ливневые и бытовые стоки, приток биогенов с сельскохозяйственных полей и городских скверов, а также воздушный перенос загрязняющих ве-

шеств и другие факторы ежедневно ухудшают качество воды. Большую опасность для пресных водоемов представляет также их эвтрофикация в связи с интенсивным (почти бесконтрольным в сельской местности) поступлением в них биогенов из многочисленных источников – животноводческих ферм, с коммунально-бытовыми стоками, с ливневыми смывами органических веществ и минеральных удобрений с сельскохозяйственных полей и т.д.

Загрязнение воды, почвы и воздуха тяжелыми металлами также создает большую проблему для поддержания качества воды. Выброшенные в воздух ТМ переносятся в атмосфере на большие расстояния от их первоначальных источников, а кислотные осадки являются основной причиной закисления пресных водоемов и почвы. В водоносные горизонты попадают также синтетические органические вещества через их непосредственный выброс, а также с их переносом воздушными массами.

Масштабы антропогенного влияния на природу и её отдельные блоки все время возрастают, что ставит под вопрос устойчивое развитие экосистем, нормальное прохождение в них гидрологических и гидрохимических циклов. Все это вызывает ряд экологических и социально-экономических проблем во многих районах нашей страны и усиливает необходимость реального учета масштабных изменений качества воды, информирования людей о состоянии водной проблемы и организации сотрудничества в этой области с соседними регионами. Базой для организации таких работ могут быть только данные мониторинговых исследований.

Различные международные организации (ЮНЕСКО, ВОЗ, ЮНЕП и др.) в рамках международных исследований стремятся организовать мониторинг подземных и поверхностных вод по Программе качества воды. Такая программа под названием (Gems/Water) осуществлялась в ряде европейских стран до конца XX века в системе ГСМОС. Первая фаза Программы была начата в 1977 г. и включала следующие задачи: 1) создание новых систем мониторинга и улучшение существующих всеми странами-участницами, 2) совершенствование методов анализа и сравнения показателей качества воды, 3) учет непредвиденных изменений и длительных периодов загрязнения воды опасными веществами. Мониторинговые станции (МС) размещались в местах водозабора для обеспечения населения водой, а также в местах использования водоемов для отдыха населе-

ния и разведения рыбы, в местах слияния рек, в их устьях с учетом природно-экологических особенностей района, антропогенного влияния на экосистемы, качества воды и экологического состояния. Основная цель первой фазы – это организация трех типов станций мониторинга. Все станции размещались на территориях, различающихся по антропогенному прессу на их экосистемы (на реках, озерах и подземных водоносных горизонтах).

1. Фоновые станции размещались в местах отсутствия каких-либо источников антропогенного воздействия и служили основным источником установления уровня естественного состава воды и оценки динамики качества поверхностных вод в связи с глобальным загрязнением воздушного бассейна (повышение количества ТМ, сульфатов и др.).

2. Региональные станции размещались на речных системах, используемых различными водопотребителями, и при впадении в море; они делились на питьевые, оросительные, водных систем и комплексного использования.

3. Станции по оценке антропогенного воздействия использовались для изучения направленности изменения качества воды на местном, региональном и глобальном уровнях.

За 30-летний период действия этой Программы были выявлены её недостатки и определенные успехи. 1. Разработаны основы мониторинга с учетом специфики работы станций в различных районах. 2. Создана сеть станций слежения за качеством воды, работающих по единой методике, что позволило получать сравнимые данные. 3. Важнейшим элементом мониторинга определен аналитический контроль загрязнения питьевой воды, который должен отличаться надежностью и сравнимостью получаемых данных.

3. Мониторинг состояния внутренних водоемов суши. Этот вид мониторинга ориентирован на установление, прогнозирование и оценку изменения состояния озерных вод под влиянием антропогенных воздействий. Первоначально определяются границы региона - обычно берется все зеркало бассейна. В качестве методической основы мониторинга озер являются наблюдения в природе, позволяющие изучить пространственные и временные изменения популяций и сообществ. При этом оцениваются изменения численности (возрастные и половые) популяций, таксономический состав и взаимоотношения между отдельными компонентами сообществ. Иными словами, сис-

тема мониторинга озера строится на оценке изменений структуры и функционирования сообществ и составляющих их наиболее массовых популяций видов. Проведение мониторинга озер обычно ведется по следующей Программе:

1. Установление границ и пространственной структуры на основе макро-, мезо- и микрокартирования на геолого-географической, ландшафтной и биоценотической основе с выделением для контроля наиболее важных в экосистеме сообществ организмов.

2. Выявление основных и второстепенных очагов антропогенного воздействия, их пространственное размещение и классификация по степени воздействия на природную среду (точечное и рассеянное, состав компонентов, сила влияния).

3. Установление фонового, буферного и антропогенного состояния полигонов наблюдения с целью организации контроля состояния природных сред и определения очередности включения их в систему мониторинга.

4. Проработка принципов территориального размещения и организации сети наблюдений с конкретизацией: а) статуса, задач и круга обязанностей базовых станций; б) программ и схем мониторинга с учетом целесообразности картирования сообществ и популяций, наблюдений их состояния и установления связей между отдельными компонентами; в) используемых методов наблюдений; г) создания межведомственных станций; д) форм интеграции накопленной информации.

5. Совершенствование экологического мониторинга на основе разработки автоматизированных дистанционных приёмов наблюдений, унификации системы контроля, создания методических пособий и руководств по внедрению новых методов.

6. Создание региональной системы информации, включая сеть наблюдений, и организация банка экологических данных.

Обычно Программа реализуется в 2 этапа – реальный и перспективный. При выполнении первого этапа ведется сбор и анализ имеющихся данных, а второго – разработка и внедрение новых методов и расширение списка параметров наблюдений. При выполнении первого этапа коллектив исследователей может составлять около 20 человек, а при выполнении второго – организуются отделы по направлениям: 1) сеть наблюдений, 2) эокартирование, 3) совершенствование и унификация методов наблюдений в различных средах, 4)

хранение информации, 5) методы прогноза, 6) анализ информации экологического прогнозирования.

Познание процессов формирования различных систем определяется долгосрочным мониторингом их состояния. В настоящее время многие водные системы суши зарегулированы в интересах промышленного развития отдельных регионов, что сказалось на замене транзитного переноса загрязняющих веществ на аккумулятивный и усилило бактериальную неоднородность водных масс. В лиманах формируются участки с различной плотностью бактерий и качеством вод от чистых до очень загрязненных. На первом этапе загрязнения части лимана отмечается рост численности микробиального планктона. На фоне общего роста биопродукции в зарастающих частях лимана плотность бактерий доходит в отдельных местах до 6–7 млн клеток/мл. Лиманы Кубани отличаются достаточно устойчивой сезонной динамикой бактериального планктона, на что оказывает влияние уровень воды, биогенная нагрузка, температура, концентрация взвешенного вещества.

В грунте гетеротрофные бактерии распределяются в соответствии с общей закономерностью: их мало в песках и в изобилии – в иле. В их сезонной динамике определенной зависимости не установлено. Вариабельность микробиологических характеристик указывает на незавершенность процессов формирования микробиологического режима, который определяется спецификой условий функционирования лиманных систем и интенсивностью их эвтрофирования в разных районах.

Контроль качества поверхностных вод имеет определяющее значение при организации мониторинга состояния водных систем. Дешевизна мониторинга качества поверхностных вод по видовому составу макрофитов, его надежность и простота делают метод фитоиндикации загрязнения полужакрытых водных систем (лиманы, озера) весьма привлекательным. Ведется описание водной растительности на природных участках площадью 50 м² у береговой полосы, определяется видовая насыщенность сообщества (на глубину до 1 м от берега): ширина площадки – 3–6 м, длина 8–16 м и определяется глубиной дна.

Большой размер площадок определяется необходимостью учета возможно большего числа видов для повышения достоверности результатов фитоиндикации, целесообразностью снижения негатив-

ного действия неучтенных факторов (особенности дна, роза ветров и т.д.). Если котловина озера (берег, дно) не представляет собой источник загрязнения воды, то ситуация может осложняться притоками и сбросом бытовых стоков и снижением в связи с этим уровнем самоочищения озера. В таких случаях используется метод композиционной ординации с отбором двух полюсов градиента (описание растительности чистых и загрязненных участков озера), расчетом коэффициентов сходства описаний интересующих нас участков с описанием "полюсных" градиентов, последующим ранжированием между полюсами и определением координат по теореме Пифагора (Миркин и др., 1989).

В некоторых случаях использование такого подхода затруднено из-за незначительного числа видов в описаниях (до 10), малого числа чувствительных к загрязнению видов и сильного вмешательства «шумовых» посторонних факторов. В качестве полюсов могут служить *Potamogeton spp.* (для чистой воды) и *Najas marina* (для загрязненной воды). Для русла реки выделяется несколько градиентов загрязнения створов: вода чистая, загрязнение слабое, загрязнение сильное, загрязнение очень сильное. Участок русла реки протяженностью 200 км делится на градиенты: I – 40 км, II – 60 км и III и IV – 100 км.

4. Мониторинг заповедных озер. Эти водные источники представляют собой хорошую естественную модель, способную быть эталоном для других водоемов для целей прогнозирования возможных изменений вод под все возрастающим антропогенным прессингом. Полностью исключить антропогенное влияние даже на заповедном озере невозможно в силу активизации трансграничных переносов загрязнителей. К этому следует добавить, что водосбор часто находится далеко за пределами заповедной территории, не говоря уже о трудностях выполнения, особенно в наше время, заповедного режима.

Содержание химических веществ в водных растениях косвенно характеризует состояние водной экосистемы. Увеличение концентрации биогенов (общее содержание N и P) указывает на усиление эвтрофикации водоемов. Большинству макрофитов свойственны уровни содержания N – 1,3 и P – 0,13% на воздушно-сухое вещество. Увеличение биогенов повышает содержание в растениях N до 3–4 и P – до 0,7–1,5, а о возрастании минерализации воды свидетельствует

увеличение содержания Са до 5–10 и Mg – до 1%. Индикаторами качества воды могут служить погруженные в воду растения: *Elodea*, *Potamogeton* и др.

Высоким содержанием химических элементов отличаются макрофиты проточных водоемов и наименьшим - верховых болот. Одновременно с растительностью ведется анализ воды и донных отложений, совместно определяющих малый круговорот многих биогенов и других веществ, которые накапливаются в озере из всего водосбора (их массу, время и интенсивность накопления).

Гидробиологический мониторинг пресноводных систем в практическом отношении весьма важен. Наиболее чувствительным звеном биосферы и весьма непростой проблемой биосферного гидрологического цикла считаются пресные воды. В нашей стране состояние пресноводных систем крайне тяжелое, и если государственными или частными владельцами по-прежнему будут преследоваться краткосрочные выгоды, то водная проблема в недалеком будущем может легко перерасти в экологическую катастрофу. Во многих районах водные экосистемы находятся на крайних пределах возможного (Абакумов, Сущеня, 1991). Уже немало районов, где чистая пресная вода является основным лимитирующим фактором для жизнедеятельности человека.

Основанная на дифференцированном определении концентрации вредных веществ и сопоставления их с ПДК система контроля не отвечает сегодняшней ситуации и сегодняшнему уровню оценки. Это связано с тем, что ПДК устанавливалось с учетом прямого токсикологического воздействия без учета действия косвенных эффектов, а также их накопительного характера в организмах. Хотя некоторые косвенные показатели и встречаются в регламентации водисточников, но объективность многих из них весьма сомнительна (особенно это касается примесей, БПК и т.д.).

Недостатком контроля на основе ПДК является и то, что оценка по изолированному действию отдельных элементов не отражает реальной картины ситуации, поскольку воздействие на организм оказывает вся сумма факторов. Число загрязнителей воды антропогенного происхождения в концентрации от 10^{-4} до 10^{-7} % превышает 2 миллиона наименований, и ежегодно синтезируются от 100 до 200 тыс. новых веществ. Установлено ПДК всего лишь на тысячу с небольшим загрязнителей (еще около 1000 ПДК для рыбных хозяйств), и

всего на 10% из них есть гостированные методики. К этому еще необходимо добавить формирование в пресноводных системах сложных химических комплексов органоминерального типа, воздействующих на живые организмы иначе, чем их составляющие. Все это указывает на то, что в водной среде происходит образование соединений, которые по своему воздействию на организмы могут быть токсичнее анализируемых веществ вплоть до проявления мутаций.

Используемый для оценки пресных вод метод биотестирования (определение токсичности воды для гидробионтов) на базе регистрации реакций тест-объектов также мало эффективен, поскольку реальность экстраполяции полученных биотестированием данных *ex situ* на конкретные водоемы весьма ограничена.

Пресноводные экосистемы испытывают и другие формы негативного влияния человека (например, биологические и физические тепловые загрязнения), которые бесспорно оказывают влияние на поведение как химических загрязнителей в пресноводных водоемах, так и на реакции биологических объектов на эти загрязнения, что также подчеркивает неадекватность оценки питьевых источников, основанных на дифференцированном определении концентрации вредных веществ, а также на методах биотестирования.

В связи с изменением биогенного состава вод пресные водоемы стали пристанищем вредных для человека гидробионтов, снижающих качество воды, водопрпускную способность каналов, усложняющих нормальное использование гидротехнических сооружений. Уровни антропогенного освоения бассейна и состояние площади водосбора прямо определяют состояние пресноводных бассейнов. Изменения режима водоисточников, баланса и количества вод оказывают значительное влияние на пресноводные экосистемы (орошаемое земледелие, осушительные системы и т.д.). Большое влияние оказывают также изменение режима наносов, береговые и русловые вариации, обусловливаемые водозаборами и инженерными сооружениями в поймах рек (выемка галечника, песка, строительство заводов, портов и т.д.). Эти и другие проблемы требуют внедрения в практику экологического мониторинга пресных водоемов методов гидробиологического анализа, позволяющих непосредственно оценивать качество пресноводных экосистем.

Широкое распространение в стране может найти индекс, разработанный В.И. Панченко (1988) и представляющий собой отноше-

ние массово распространенных в разной степени устойчивых к загрязнению видов олигохет к общему видовому составу фауны олигохет. Этим методом учитывается широкая экологическая пластичность многих видов организмов, типы водоемов, для каждого из которых характерен свой комплекс видов, область их обитания, обусловленная совокупностью биотических и абиотических факторов, и степень изученности олигохет. Этот индекс предпочтительнее часто применяемого отношения численности олигохет к общему числу донных организмов (олигохетный индекс Гуднайт-Уотлея).

Перспективен также перифитонный биотический индекс В.Н. Тальских (1987), отличающийся высокой чувствительностью и надежностью с большой разрешающей возможностью; значения изменяются от 10 баллов (чистый водоем) до 1 (грязный водоем), а нулевое значение оценивает водоем с ярко выраженным экологическим и метаболическим регрессом. Этот индекс просто рассчитывается и не требует высокой квалификации оператора за счет исключения трудоемкой видовой идентификации составляющих перифитон групп организмов, поэтому его можно рекомендовать для оперативной оценки состояния загрязнения водоемов.

5. Мониторинг морской воды. Проблемы Мирового океана весьма остро определились в последние 40–50 лет в связи с интенсивным использованием морских ресурсов (преимущественно в зоне континентальных шельфов), резким нарастанием выбрасывания в океан отходов самого различного происхождения, а также загрязнения морей нефтью и нефтепродуктами. Основой успешного предотвращения загрязнения океана является постоянная информация о состоянии морской среды, получаемая через различные источники в результате визуальных и космических наблюдений за состоянием океана. Загрязнение океана приобрело мировой характер. Многие загрязнители (нефтепродукты, ртуть, свинец, ДДТ и его производные) обнаружены как в относительно закрытых (например, Черное и Средиземное моря), так и в открытых морях и отдельных частях океанов. Формирующиеся у берегов поля загрязнения распространяются за пределы прибрежных зон и охватывают полностью некоторые водоемы (Балтийское, Северное и Ионическое моря, Бискайский залив и т.д.).

Черноморский бассейн является одним из наиболее загрязненных, что связано с интенсивной хозяйственной деятельностью чело-

века непосредственно в прибрежной зоне и стоком крупных рек (Днепр, Дунай, Днестр), несущих огромные массы загрязнителей из всей Европы, и слабым водообменом со Средиземным морем, что способствует концентрированию в нем различных веществ. Во многих зонах Черного моря в результате эвтрофикации и концентрации токсичных веществ идут деградационные процессы природных комплексов, снижается биологическая продуктивность, подрывается азово-черноморский рыбный промысел со значительным ухудшением санитарно-гигиенической ситуации побережья, имеющего большое рекреационное значение из-за благоприятного климата. Все это указывает на катастрофическое состояние черноморской экосистемы, присутствие в ней таких загрязнителей, как тяжелые металлы, поступающие с речным стоком и хозяйственно-бытовыми водами прибрежных районов.

Для контроля тяжелых металлов в морской воде большим преимуществом является использование макрофитобентоса. В прибрежной зоне Черного моря таким индикатором может выступать широко распространенная бурая водоросль *Cystoseira crinita*, выступающая доминантом большинстве фитобентосных сообществ. К такому заключению исследователи пришли на основании сравнения содержания ряда металлов в некоторых прибрежных фитocenозах и в талломах этой водоросли.

Уровни загрязнения воды в омывающих Европу морях нередко превышают принятые в нашей стране ПДК для морской среды. Глобальным загрязнителем морей являются углеводороды нефтяного происхождения, годовые поступления которых в океан составляют около 6 млн т. (до 10% дают естественные источники). Открытый океан загрязнен еще относительно мало. Например, в Атлантике уровень их содержания в верхнем слое воды (глубина 10–100 м) составляет 4–10 мкг/л, а на глубине 1000 м – около 1 мкг/л.

Большое место среди загрязнителей мирового океана занимают тяжелые металлы и хлорорганические соединения. В морской воде содержится примерно 0,05–0,15 мкг/л ртути, 0,11 – кадмия и 0,02 – свинца при заметном колебании их концентраций. Например, содержание ртути в поверхностных водах Северной Атлантики в 2,5 раза выше, чем в экваториальной части (0,088 и 0,033 мкг/л соответственно); в северо-западной части доля ртути еще выше – 0,15 мкг/л. Среднее содержание ДДТ для морских вод оценивается в 0,001 мкг/л.

Содержание ПХБ в Северной Атлантике колеблется от 0,001 до 0,15 мкг/л (для поверхностного слоя среднее значение 0,02 мкг/л), снижаясь постепенно с глубиной: 0,018 мкг/л на глубине 2000 м и следы на глубине 3000 м.

Относительно высокие уровни загрязнения океанических вод в прибрежных районах определяются выносом загрязнителей реками, непосредственным сбросом бытовых и промышленных стоков и других отходов; свинец поступает в океан в основном из атмосферы. Чрезмерное загрязнение морских вод у побережий некоторых стран (например, Японии) обусловлено ростом промышленности в прибрежных районах и строительством городов. Загрязнение мирового океана возрастает ежегодно, и до 80% загрязнителей приходится на нефтепродукты.

Наиболее загрязненным считается внутреннее Японское море (концентрация нитратов доходит до 15 мг/л, ХПК – от 2–3 до 18 мг/л); усиливается эвтрофикация заливов и прибрежных вод. Сильно загрязнено и Северное море, где в воде содержится: кадмия – 0,01–2,8, меди – 0,3–4,4, цинка – 0,2–18,3, свинца – 0,02–0,8, никеля – 0,5–9,3, марганца – 0,5–15,9, ртути – 0,01–0,07 мкг/л. Сильно загрязнено и Средиземное море, в воды которого сбрасывается примерно 1 млрд т различных отходов и около 300 тыс. т нефти, что обуславливает повышенное содержание в поверхностной пленке воды углеводородов до – 40–230 мг/м³.

В морской воде возросли концентрации детергентов, фосфатов и других загрязнителей. Загрязнение морских вод, донных отложений, гидробионтов и последствия этих загрязнений оказываются очень неблагоприятными для человека и животных. В донных отложениях вредные вещества накапливаются в местах сброса сточных вод (эстуарии рек, районы портов, гавани и т.д.). В донных отложениях концентрируются тяжелые металлы, которые способны переходить в различные подщелачивающие растворы, что расширяет их потенциальное экологическое воздействие. Например, в Калифорнии (США) токсичные металлы весьма активно переходят в различные растворы: свинец – до 87%, медь – до 80, цинк – до 93, хром – до 86, марганец – до 26, кобальт – до 37, серебро – до 80%. Иными словами, в районах сброса тяжелых металлов возрастает их концентрация в донных отложениях и повышается опасность, связанная с их поступлением в экосистемы и перемещением по пищевым цепям.

В грунтах доля ртути в Адриатике доходит до 1,5 мкг/л. Здесь концентрируются углеводороды нефтяного происхождения (от 1–4 до 1000 мкг/кг, а в загрязненных местах и до 10–12 г/кг), ПХБ (до 100 мкг/г) и т.д. Загрязнение гидробионтов определяется концентрацией загрязнителей в воде, их свойствами, типом обмена организмов с окружающей средой, положением организма в цепи питания, состоянием окружающей среды и т.д.

Токсические вещества при поступлении в морские организмы могут вызвать угнетение и даже гибель и перестройку сообщества организмов; кроме того накопление токсикантов в гидробионтах создает опасность для человека при использовании им в пищу загрязненных морских продуктов. Нефть и нефтепродукты накапливаются в гидробионтах при коэффициенте накопления (Кн) около 10^3 и такие продукты канцерогенны для человека. Нефтепродукты прямо влияют на морские организмы, вызывая нарушения у них поведенческих реакций и репродуктивных способностей; при концентрации нефтепродуктов 60–200 мкг/л подавляется фотосинтез растений; разливы нефти вызывают гибель донных животных, птиц, других обитателей океана.

Отдельные морские гидробионты накапливают различные металлы. Например, фитопланктон накапливает (в 10^3) кадмия – 1,7, зоопланктона – 9,4, крупных беспозвоночных – 82–182, рыбы – 0,18–0,73; свинца соответственно: 2,1; 15,5; 7–100; 6–10; ртути соответственно: 0,18; 0,17; 0; 0,53–12,3; меди: 0,04; 0,44; 24–35; 0,05–0,25; мышьяка: 0; 0; 0,42–3,3; 0,07–4,1; железа: 2,4; 5,4; 0,13–0,66; цинка: 0,11; 1,8; 150–290; 1,6–2,1.

Весьма опасно использование в пищу морских продуктов, содержащих ртуть, учитывая, что она находится в организмах в форме высокотоксичных органических соединений. Например, в водах Балтики в рыбе отмечена диметилированная ртуть, в Австралии в рыбе доля ртути доходит до 0,2 мг/кг, а во внутренних органах – 0,7–0,9 мг/кг (до 90% ртути концентрируется в форме ртутьорганических соединений в съедобных частях). В некоторых странах установлены ПДК ртути. Например, в США приняты следующие величины: для низших морских гидробионтов – 0,05–0,2 мг/кг, для рыбы – 0,5 мг/кг. Определено, что при содержании ртути в воде 1 мкг/л (это на порядок выше естественного содержания в морской воде) концентрация ртути в устрицах превышает ПДК, принятое в США. Содержание

ПХБ в планктоне Атлантики в среднем составляет 57 мкг/г (2–260 мкг/л), а в мясе рыб и птиц у побережий США доля ДДТ с метаболитами доходила до нескольких мг/кг. Высокое соединение ПХБ в печени трески в Балтике обусловило запрещение её употребления в Швеции. Высока доля ПХБ в рыбе и птицах морских побережий Японии.

Организация мониторинга морских водоемов несколько специфична и используется при решении ряда задач: 1) контроль уровня загрязнения вод, донных отложений с учетом физических, химических и гидробиологических показателей в следующих местах: морских нефтепромыслах, в портах, устьевых зонах, рыбохозяйственных зонах, курортах и т.д.; 2) изучение баланса загрязнения в отдельных участках (например, заливы), их разложение, трансформация и накопление в донных отложениях с учетом процессов на границе атмосфера – вода; 3) изучение изменений содержания загрязнителей, связанных с хозяйственной деятельностью человека, циркуляционными процессами, гидрометеорологическими условиями.

При организации мониторинга в программу включаются показатели температуры воды, течения, скорости и направления ветра, осадков, влажности воздуха, давления и т.д., создаются локальные пункты наблюдений, распределение которых охватывает все поля загрязнения с учетом гидрохимического и гидрометеорологического режимов и рельефа дна в изучаемом районе. Особенностью мониторинга в каждой точке является проведение синхронных наблюдений на стандартных океанографических горизонтах – 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 м и вплоть до придонного слоя воды с определением плотности, солености, свободного кислорода и т.д.

Важной частью мониторинга морских вод является изучение загрязнения океана, состояние которого вызывает тревогу. Рассмотрим загрязнение морей нефтепродуктами. Основными источниками такого загрязнения вод являются: морские перевозки – 2,2 млн т/год, добыча нефти в открытом море – 0,1; прибрежные нефтеочистительные предприятия – 0,2; промышленные отходы – 0,3; городские стоки – 0,3; вынос с водами рек – 1,6; естественное поступление из придонных месторождений – 0,6; с атмосферными осадками – 0,6 млн т/год.

Судьба нефтепродуктов после их поступления в море до конца еще не выяснена. Нефть представлена смесью различных веществ, из которых на углеводороды приходится от 50 до 88%, а остальная

часть включает соединения азота, кислорода, серы. Часть нефтепродуктов с низкой молекулярной массой – от 4 до 12 атомов углерода (в сырой нефти доля этой фракции может составлять до 50%) быстро испаряется с поверхности океана и последующая трансформация этой фракции еще не установлена; часть веществ растворяется в морской воде и размещается в её толще, давая начало образованию новых веществ еще более растворимых, чем первоначальные. Так, N-октановая кислота в 600 раз быстрее растворяется, чем N-октановый спирт, из которого она образуется.

Нефтепродукты создают эмульсии (нефть в воде или вода в нефти), что заметно проявляется при наличии детергентов; эмульсии в последующем превращаются в нефтяные лепешки и сгустки, загрязняя морские воды. При дальнейшем разложении нефтепродуктов увеличивается их удельная масса и частицы их оседают на дно. Весьма интенсивно в поверхностном слое воды нефтепродукты окисляются под действием кислорода и солнечного света.

Роль микроорганизмов в разрушении загрязнивших море нефтепродуктов еще до конца не ясна; интенсивность разрушения нефти бактериями зависит от температуры среды, наличия доступных форм азота и фосфора. Установлено, что углеводороды нефти включаются в пищевые цепи гидросферы. Нефтепродукты в морских экосистемах подавляют фотосинтез, разрушают хеморецепторные реакции, что ведет к нарушению репродуктивных и пищевых функций. Нефтепродукты опасны также наличием сильных канцерогенных веществ в их составе – полициклических ароматических углеводородов и прежде всего, бенз(а)пирена.

Глава 12. Экологическое состояние почв

1. Особенности организации почвенного мониторинга.

Почва является подсистемой любого природного или природно-хозяйственного ландшафта; считается наиболее устойчивой подсистемой, достаточно долго находящейся в равновесном состоянии и весьма активно противостоящей загрязнению. Если загрязнение почвы достигает высокого уровня (например, при разливе нефти), то она значительно дольше (по сравнению с водой и воздухом) остается загрязненной, и потому сама становится источником загрязнения и воды, и воздуха, вызывая весьма крайние эффекты – гибель растений, животных, микроорганизмов, а также негативно влияет на здоровье человека. Примером тому могут служить аварии нефтепроводов в конце 20-го века в Краснодарском крае в районе Новороссийска, Славянска на Кубани и т.д.

Изучение состояния почв в основном осуществляется на локальном и глобальном уровнях. Загрязнение почв различными веществами и другие нарушения динамического развития этого природного объекта связаны как с прямой деятельностью человека, так и с некоторой спецификой в изменениях природной среды, связанной с геоморфологическими, биоклиматическими и почвенно-химическими особенностями отдельных территорий и почвенных разностей. Специфичность условий загрязнения почвы обуславливается своеобразием сочетания ландшафтно-геохимических условий района и антропогенных факторов, вызывающих поступление загрязнителей и их распределение в изучаемых типах почв. Ландшафтно- и почвенно-географические методы исследований составляют основу почвенного мониторинга динамики загрязнения отдельных типов почв, причем с адекватным подходом к выделению основных показателей их состояния.

При организации мониторинга по изучению динамики загрязнения почв различными веществами следует хорошо разобраться в

следующих вопросах: 1) виды загрязнителей и их количественный химический состав; 2) форма загрязнителей в выбросах, поступающих в воду, воздух и почву; 3) направленность и причинность трансформации загрязнителей при поступлении их в почву; 4) типы соединений загрязнителей в почвах; 5) химическое взаимодействие загрязнителей и почвы и влияние такого взаимодействия на химические и физические свойства субстрата; 6) скорость, направление и временная продолжительность аккумуляции загрязнителей в почвах и ландшафтах; 7) влияние геохимических и климатических факторов на химические процессы в почвах при поступлении загрязнителей. Эффективность мониторинга повышается при организации его трехуровневого исполнения: 1) мониторинг физических свойств почвенного покрова, 2) мониторинг динамики агрономического состояния почв, включая состав сообществ микроорганизмов и фауны, 3) мониторинг загрязнения почв.

Организация почвенного мониторинга сопряжена с рядом специфических особенностей, не свойственных водному и воздушному мониторингу. Прежде всего, функционирование почвы именно как биокосной системы проходит по законам живой и неживой природы. Не менее значимо в этом плане то обстоятельство, что почва представляет собой открытую многофазную гетерогенную полидисперсную термодинамическую систему, где химические взаимодействия проходят при участии твердых, жидких и газовых фаз, а также различных биологических объектов – микроорганизмов, высших растений и разноуровневых групп животных – при постоянном влиянии на эти взаимодействия физических и космических процессов – испарения, увлажнения, температуры, солнечной радиации, оседания космической пыли и т.д.

В почву постоянно поступают различные химические вещества антропогенного и естественного происхождения, но в задачу мониторинга входит определение, как правило, загрязнителей антропогенных источников. Некоторые трудности связаны также с пространственной и временной динамикой в почвах химических веществ, что, безусловно, осложняет установление их пороговых уровней. Для оценки локального загрязнения почв вполне приемлемо сравнение с незагрязненными сходными типами или близкими по условиям функционирования ландшафтов фоновыми уровнями содержания химических веществ в почвах, удаленных от источника

загрязнения (доля загрязнителей в верхнем горизонте, или в верхнем слое 2–5 см). Наиболее эффективными для изучения столь сложной системы, как почва, являются методы анализа и синтеза. Выделение специфических свойств почвы, представляющих информационный интерес, следует начинать с анализа взаимосвязи почвы и других компонентов системы и на основе приемлемых методов исследования. Оценка и прогноз состояния почвенного покрова осуществляется на основе системного анализа количественных материалов различных видов исследования и математического моделирования развития почвенных систем.

Загрязнение почвы нефтепродуктами (нефтепроводы, нефтехранилища, нефтепереработка) в районах локального загрязнения оценивается регулярно и проводится на основе анализа серии разрезов профилей, расположенных по направлению движения поверхностного стока от места разлива до места конечной аккумуляции. Такой подход обуславливается тем, что потоки нефти могут быть видимыми и невидимыми.

2. Задачи, методы и Программа почвенного мониторинга.

Цель почвенного мониторинга – изучение динамики основных свойств почв, связанных со следующими процессами: 1) эрозия (водная и ветровая), 2) накопление тяжелых металлов и органических токсикантов, 3) засоление почв, 4) минерализация гумуса, 5) выщелачивание питательных веществ, 6) усиление кислотности или щелочности, 7) снижение коллоидности почвы, 8) другие особенности, обусловленные антропогенными воздействиями. Среди основных задач следует назвать контроль таких показателей как: 1) загрязнение почвы тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, 2) дефицит гумуса и азота, 3) дефицит других элементов и веществ (истощение в почве подвижных форм фосфора, кальция, кремния, серы, микроэлементов и т.д.).

Основу почвенного мониторинга составляют методы почвенно-химических и ландшафтно-геохимических исследований. Разные уровни почвенного мониторинга объединяются одной целью – получение своевременной оценки критического состояния почв при разных формах использования их человеком. Однако конкретные характеристики различных почв, сроки периодических измерений и определенные методы анализа пока еще мало обоснованы, и потому не четко сформулированы в Программе почвенного мониторинга.

Тем не менее, задачи отдельных уровней мониторинга выделяются весьма определенно. Например, в задачу локального и регионального мониторинга входит: 1) характеристика особенностей загрязнителей и их источников; 2) установление уровня контроля состояния почвы, воды, растений и животных, подвергающихся загрязнению определенным источником (заводом, шахтой, фермой и т.д.); 3) определение почвенных площадей со свойствами, плохо контролируемые известными методами; 4) установление путей миграции, аккумуляции и трансформации загрязнителей и степени их давления на почву; 5) оценка устойчивости почвы и её способности к самоочищению; 6) оценка материального ущерба от загрязнения почвы; 7) разработка предложений по ликвидации загрязнителей в почве и т.д. Несколько иные категории рассматривает глобальный мониторинг, в задачу которого входит отслеживание: 1) потоков химических веществ на фоновых территориях; 2) уровней контролируемых показателей состояния почв; 3) основных зон миграции, аккумуляции и трансформации контролируемых химикатов в почве.

Мониторинг, представляющий комплексное почвенное обследование, подразумевает применение различных приемов оценки почв, как единого целого, и требует обоснованного выбора методов контроля. Среди таких подходов в качестве первоочередных выделяются следующие:

1. Определение блока контролируемых свойств почв, обусловленных их физическими, химическими, биохимическими, морфологическими, микробиологическими и другими характеристиками, а также особенностями воздействия загрязняющих веществ на свойства почв (особенно на их коллоидный состав) в зависимости от уровня и времени их загрязнения.

2. Выделение почвенных горизонтов (слоев), выполняющих роль биохимических барьеров, а также тонкодисперсных фракций почв, поглощающих и концентрирующих определенные загрязнители.

3. Установление комплекса наблюдений за влиянием загрязнений на состояние ландшафтных систем и их почвенного покрова.

Весьма важным в Программе мониторинга почв является установление числа показателей контроля их химического состояния, отслеживание которых позволит сделать объективные выводы о направлении неблагоприятных изменений. Выбор минимального чис-

ла показателей, достаточных для контроля состояния почвы, чувствительных к смене условий, качественно оценивающих, а также простых, надежных и доступных массовым лабораториям, объективно определяет эффективность почвенного мониторинга. На локальном и региональном уровнях привносимые химические вещества прямо или косвенно негативно воздействуют на почву, и задача мониторинга состоит в оценке степени такого влияния. На фоновых территориях мониторинг направлен на учет и контроль накопления в почве загрязнителей. Принципы выбора показателей химического состояния почв не зависят от уровня мониторинга и являются одинаковыми как при локальном, так и при региональном мониторинге, и базируются на закономерностях поведения загрязнителей в ландшафтных системах.

Программа мониторинга почв включает регулярные наблюдения уровня загрязнения конкретными поллютантами и прогностическую его оценку (современную и на будущее). Показатели химического контроля делятся на 3 группы: 1) конкретные параметры загрязнения почв; 2) побочные изменения состояния почв в связи с загрязнениями (уровень кислотности, коллоидные свойства, соотношение минеральных и органических коллоидов, обмен ионов и т.д.); 3) способность почв к противостоянию изменениям под действием загрязнителей и к самоочищению. Такая классификация химического контроля весьма условна. В отдельных местах содержание загрязнителей может превышать норму в десятки и даже сотни раз, хотя на фоновых территориях поток загрязняющих веществ сравнительно небольшой.

Для контроля загрязнителей важно знать их общий уровень, а также их содержание в вытяжке 1н HNO_3 , поскольку азотная кислота растворяет большую часть попадающих в почву техногенных поступлений в виде газа и пыли. Известно, что при сходном высоком загрязнении двух типов почв растения вегетируют хуже на том субстрате, где высокое содержание загрязнителей в доступном состоянии. При низкой растворимости загрязнителей растения могут вообще не реагировать (по крайней мере, какое-то время) на их общее содержание. Поэтому данных только по общему содержанию отдельных поллютантов для оценки уровня загрязнения ими почв мало, поскольку в основном подвижные формы могут использоваться

растениями и животными и мигрировать по системе с потоками почвенной и грунтовой воды.

Соединения металлов в почвах по их подвижности (способности мигрировать по горизонтам, физическим и химическим структурам почвенных частиц) и степени поглощения и использования растениями разделяют на три группы.

1. Прочно удерживаемые в составе органических и органоминеральных образований соединения тяжелых металлов составляют резерв элементов в почвах, поскольку на подвижные соединения они практически не влияют.

2. Подвижные соединения элементов, находящиеся в почвенном растворе, выполняют важную роль, поскольку они служат основным источником питания растений, весьма подвижны и легко перемещаются с водой.

3. Подвижные соединения веществ, представленные ионообменными неорганическими соединениями различной растворимости, связаны с органическим веществом твердой фазы почвы и при изменении её рН переходят в активную или малоактивную форму.

Подвижные тяжелые металлы и их запасы в составе твердых фаз определяются анализом солевых и кислотных вытяжек; присутствие комплексообразователей усиливает их экстрагирующее действие. В расчете на общее содержание металлов доля их подвижных соединений в зоне локального загрязнения может достигать до нескольких десятков процентов. Запасы тяжелых металлов в твердой фазе пополняют их потери в почвенном растворе при выносе растениями и выщелачивании их в нижние слои. Подвижные тяжелые металлы при высокой концентрации в почве минеральных и особенно органических коллоидов способны переходить в твердую фазу, повышая свой запасной фонд. Иными словами, почвы обладают своего рода буферной способностью по отношению к тяжелым металлам, поддерживая их концентрацию на определенном (относительно постоянном) уровне; для оценки буферной способности почв можно использовать модельные опыты.

3. Роль почвы в функционировании экосистем. Почвенный покров является важнейшим и ценнейшим природным образованием. Его значение для жизни человека определяется тем, что именно почва является основным источником производства продуктов питания, обеспечивающим свыше 90% продовольственных ресурсов

населения планеты. Вместе с тем почвенный покров представляет собой территорию жизнедеятельности человека, на которой размещаются его жилые комплексы, промышленное и сельскохозяйственное производство. В связи с этим именно почва выступает основным накопителем загрязнителей в биосфере, защищая тем самым от загрязнения атмосферу и гидросферу. Поскольку почва является важнейшим производителем пищи (энергии) для всех уровней жизни на планете, то повышение степени её загрязнения является весьма опасным вследствие токсического воздействия на все организмы и её мониторинг имеет чрезвычайно важное значение. Нередко поднимается вопрос о возможности самоочищения почвы от загрязнителей, что связывают с прекращением поступления их антропогенных форм в агроландшафты. Реально осуществить сегодня это невозможно. Под самоочищением можно понимать исключение загрязнителей из биологического круговорота, что возможно только в следующих случаях: 1) при переводе их в нетоксические соединения, 2) преобразование некоторых из них в газообразное состояние и переход из почвы в атмосферу, 3) их вынос и консервирование с урожаем растений, 4) вымывание в гидросферу и т.д.

В настоящее время почвы классифицируются на основе их гранулометрического состава, а также химических, физических и биологических свойств. С возрастанием требований к качеству продуктов питания и экологической безопасности необходимо уделять серьезное внимание биологическим свойствам почвы из-за их непосредственной связи с ростом и развитием растений и животных. Именно поэтому и возникает необходимость классификации почв с точки зрения наличия в них тех или иных микроорганизмов, обуславливающих происходящие в них процессы, а соответственно, и их состояние, качество и плодородие (Мишустин, 1972; Никитешен, 2002).

В качестве объекта экологического мониторинга особого внимания заслуживает почва как биокосная система, в которой обитают многие животные и растения, возбудители их болезней, а также многочисленные вредители живых организмов, проходящие в этом блоке определенные этапы своего развития. Почва насыщена живыми организмами различной природы: в ней живет и развивается мир многих простейших, червей, членистоногих, моллюсков и т.д. Особенно богата почва грибами, бактериями, актиномицетами.

Весь этот комплекс и составляет ту основу, на которой живет и развивается огромный мир животных и растений, который эволюционно возник и неразрывно (прямо или косвенно) связан с почвой. Для многих организмов почва является также средой обитания.

Оценку антропогенного загрязнения почв проводить весьма трудно, поскольку ПДК разработаны для ограниченного количества поллютантов. В настоящее время практически все население Земли, и, прежде всего, дети подвергаются воздействию различных загрязнителей. Красивая и яркая, а потому и убеждающая, но часто безграмотная пропаганда на всех уровнях (от фермера до министра) создала в понимании людей (и даже ученых) такую убежденность в необходимости и неизбежности применения пестицидов в сельском хозяйстве, что простой человек уже с этим свыкся, как смирился и с мыслью о губительности этого процесса для него самого, и для его семьи и т.д. Распространение в обществе этой пропаганды ведется и сейчас, причем полностью замалчиваются негативные последствия влияния пестицидов не только на природу, но и на самого человека.

Трудно сказать, чего здесь больше – беспринципности или научного невежества, породивших со временем беспрецедентное спокойствие в отношении столь опасных, столь генотоксичных и очень стойких веществ, какими являются пестициды, обуславливающие увеличение заболеваемости и смертности населения (особенно детской), сокращение продолжительности жизни, весьма резкие генетические отклонения вследствие мутаций и т.д. Такие эффекты применения пестицидов широко не обсуждаются, и народ знает о них "вообще" и понаслышке. Изучение пестицидов показывает, что многие из них обладают высокой стойкостью, широким спектром действия, накоплением и превращением в живом организме и в почве в более опасные соединения органического и органоминерального типов, обуславливая глубокие изменения в экосистемах и весьма негативно влияя на организм человека. Наиболее разработаны нормы ПДК для пестицидов с продолжительным периодом полураспада – ДДТ, ГХЦГ, полихлорпинен, полихлоркамфен и др. Остальные органические вещества оцениваются в пространственных и временных характеристиках.

Весьма сложное положение и с загрязнением почв тяжелыми металлами, входящими, естественно, в их состав и подстилающих пород. Поэтому оценку их проводят путем сравнения данных с за-

грязненных территорий с "чистыми", или фоновыми значениями, а также посредством выявления их пространственных и временных перемещений по региону.

Для оценки загрязнения вещества разделяют на группы по токсичности, распространенности и устойчивости (персистентности). В перечень попавших под контроль веществ включены в нашей стране ДДТ и его производные, ГХЦГ, гранозан, полихлорпиринен, метафос, полихлоркамфен, цирам, севин, карбатион, гептахлор, фосфид цинка и ряд других. Поскольку ДДТ и его метаболиты и ГХЦГ при накоплении в почвах представляют наибольшую опасность, то их включают для контроля загрязнения в первую очередь. ПДК для пестицидов типа ДДТ составляет 0,1 мг/кг почвы. Примерно 7% территории Кубани суммарно загрязнено ДДТ на уровне 0,4 ПДК. Почвы обследуются выборочно (весной и осенью) на содержание в них остаточных количеств пестицидов. В крае доля загрязнений почвы остаточными суммарными количествами ДДТ и трефлана составила 10 и 64% соответственно при средних уровнях 0,6–1,3 ПДК и 1,4 ОДК и максимальных 2–11 ПДК и 2 ОДК соответственно. Особую опасность вызывает включение в севооборот площадей старых садов, где отмечается сильное загрязнение суммой ДДТ. Степень накопления ДДТ в сельхозпродукции около 13–15% от его содержания в почве. При среднем уровне в почве суммы ДДТ от 2 до 9 ПДК его содержание в люцерне, ячмене, корнеплодах, луке, кукурузе составляет 3–12 МДУ, что представляет прямую угрозу живым организмам. Сертификаты на продукцию выдаются нередко без учета фактического содержания в них ДДТ и на том лишь основании, что этот пестицид запрещен для использования еще в 1972 году. При содержании суммы ГХЦГ в почве на уровне 5 ПДК накопление в сельхозпродукции превышает МДУ, поскольку степень его накопления доходит до 20% от концентрации в субстрате.

Почвы Кубани являются среднезагрязненными пестицидами (до 1,5 ПДК по пестицидам семейства ДДТ). Весной 1991 года суммарно всеми формами ДДТ на уровне от 3 до 10 ПДК было загрязнено всего 212 га (5% обследованной территории, занятой под зерновыми и зернобобовыми культурами). Осенью 1991 года значительное загрязнение трефланом отмечено на уровне 2–4 ПДК (почвы под зерновыми, зернобобовыми и рисом). Обследование на сим-

триазиновые гербициды показало, что площадь земель, опасных в фитотоксичном отношении, увеличилась еще на 10%.

Весьма токсичными из тяжелых металлов являются ртуть, свинец и кадмий контролирующиеся повсеместно. Локальную опасность в результате выбросов определенных производств могут представлять стронций, мышьяк, ванадий, никель, кобальт, хром, медь, цинк, марганец, молибден, бериллий, селен, сурьма.

Имеет смысл контролировать органические вещества промышленного происхождения, накапливающиеся в сельхозпродуктах и мигрирующих с поверхностными и грунтовыми водами. Сюда относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и бенз(а)пирен – представители и индикаторы присутствия ПАУ, считающихся сильными канцерогенами, и полихлорбифенилы (ПХБ), отличающиеся высокой токсичностью.

Изучение влияния загрязнителей на специфику почв сопровождается определением таких показателей, как кислотность и засоленность почвы, содержание органического вещества, и ряда других параметров, изменение которых негативно сказывается на функционировании всего комплекса живых организмов экосистемы. Подлежат наблюдению осадки, снежный покров, сухие выпадения, пыль, взвеси и другие, в известной степени являющиеся переносчиками загрязнителей на почву и поверхностные воды (реки, озера, лиманы) и представляющие большой интерес в изучении миграционных циклов в системе Атмосфера - Земля.

Выделяется две категории загрязнения почв. Почвы сельскохозяйственных регионов отнесены к первой категории. Отбор проб на них проводится дважды: весной, до применения основной массы химикатов, и спустя 10 дней после сбора урожая осенью на одних и тех же площадках, характерных для изучаемой территории с учетом их типа и хозяйственного использования. Контроль загрязнения ведется по токсичным и устойчивым тяжелым металлам и пестицидам.

Почвы вокруг промышленных объектов и городов отнесены ко второй категории. Отбор проб для определения загрязнителей в выбросах предприятия производится весной на участках, расположенных равномерно по восьми румбам в радиусе 20–30 км от объекта, и осенью после уборки урожая на площадках по четырем направлениям; определяются, например, ртуть, свинец, кадмий, вана-

дий, никель, кобальт, хром, медь, цинк, марганец, молибден, бериллий, селен, мышьяк, сурьма, бенз(а)пирен, полихлорбифенилы. В те же сроки определяются показатели кислотности, сульфат и хлорид-ионов, общего и подвижного азота и фосфора, микробиологическая активность почв целинных участков на лугах и в лесу. Загрязнение почвы и поток загрязнителей из атмосферы на почву определяется в месячных пробах дождевой воды, а также в снежных пробах.

Обобщенный анализ особенностей функционирования почвенного покрова отдельных ландшафтов и его изменения под влиянием различных токсикантов показывает, что при разработке системы мониторинга в конкретных условиях края необходимо учитывать динамику поллютантов. Система мониторинга не может носить абстрактный характер, а должна базироваться на глубоких представлениях эколога о сопряжении биотических и абиотических составляющих в развитии почв определенных ландшафтов на основе минимизации количества изучаемых характеристик.

4. Почва и её органическая составляющая. Почва состоит из неорганической и органической части; её органическое вещество подразделяется на гумус и органические останки, не утратившие еще полностью своего анатомического строения. Образование гумуса, представляющего собой группу высокомолекулярных соединений, химическая природа которых ещё недостаточно изучена из-за сложности состава, является важнейшим почвообразовательным процессом и необходимость её исследования с помощью мониторинга представляет важное значение. Выделяют следующие основные составляющие гумуса: гуминовые кислоты, гумины, фульвокислоты и гиматомелановые кислоты. Важную роль в образовании гумуса выполняют почвенные организмы, разлагающие различные органические остатки (прежде всего растительного происхождения), формируя структурные компоненты гумусовых образований и в процессе своей жизнедеятельности выделяющие соединения, которые являются составными компонентами органического вещества. При отмирании организмы оставляют в почве большое количество органических образований, которые вносят значительный вклад в формирование гумуса (Добровольский, 2005; Никитешен, 2002).

Почвы можно характеризовать по содержащимся в них микроорганизмам, осуществляющим гнилостные, ферментирующие и синтезирующие процессы. В большинстве случаев характеристики

почв непосредственно связаны с разнообразием и численностью населяющих их живых организмов, количество которых в 1 г окультуренной почвы может достигать нескольких миллиардов особей, а их общая масса доходит до 10 т/га и больше. Основная часть живых организмов представлена в почвах микроорганизмами. Доминирующее значение принадлежит бактериям, грибам, водорослям и актиномицетам, которые разрушают поступающие в почву отмершие останки растений и животных. Одна часть органического вещества минерализуется полностью (примерно одна треть), а продукты минерализации усваиваются растениями, другая переходит в форму гумусовых веществ (примерно еще одна треть), а третья идет на построение (примерно четыре десятых) живых тел почвенных организмов (бактерий, грибов). Некоторые микроорганизмы (клубеньковые и свободноживущие азотфиксирующие бактерии) усваивают азот атмосферы и обогащают им почву. Почвенные организмы (особенно фауна) способствуют перемещению веществ по профилю почвы и тщательному перемешиванию её органической и минеральной частей.

Важнейшей функцией почвенных организмов является создание прочной комковатой структуры пахотного слоя, что определяет его водно-воздушный режим и создает условия для высокого плодородия. Наконец, почвенные организмы выделяют в процессе жизнедеятельности различные физиологически активные соединения и тем самым способствуют переводу одних элементов в подвижную и, наоборот, других – в малодоступную для растений форму. В обрабатываемой почве функции её организмов сводятся к поддержанию оптимального питательного режима (частичное закрепление минеральных удобрений с последующим их освобождением по мере роста и развития растений), её оструктуриванию, созданию в ней благоприятных экологических условий.

Органическое вещество почвы образуется из отмерших останков растений, микроорганизмов, почвенных животных и продуктов их жизнедеятельности; оно аккумулирует большое количество углерода и способствует высокой устойчивости круговорота этого элемента в природе, а также накоплению еще ряда элементов земной коры и определяет в ней важнейшую биогеохимическую функцию по поддержанию гумуса. Первичное органическое вещество, поступившее в почву, подвергается сложнейшим превращениям,

включающим процессы разложения и вторичного синтеза в форме микробной плазмы и гумификации, которые проходят в несколько этапов.

На первом этапе происходит взаимодействие между отдельными химическими веществами отмершего растения (например, ароматические соединения клеточных оболочек отмерших особей могут вступать в химические реакции с белковыми выделениями еще функционирующих растительных клеток), которое значительно ускоряется в почве за счет биологических и минеральных катализаторов различного происхождения.

На втором этапе с помощью почвенной фауны проходит механическая подготовка и перемешивание с почвой растительных остатков. Определенную роль играет биохимическая подготовка к микробному разложению первичного органического вещества при прохождении растительной массы через желудочно-кишечный тракт почвенных животных (в основном дождевых червей – до 90%).

На третьем этапе превращения свежего органического вещества в почве происходит его минерализация с помощью микроорганизмов. В первую очередь минерализуются водорастворимые органические соединения, а также крахмал, пектины и белковые вещества. Значительно медленнее минерализуется целлюлоза, при разложении клеточной стенки освобождается лигнин, представляющий собой весьма устойчивое к микробиологическому расщеплению соединение. Конечными продуктами превращений первичного органического вещества являются минеральные продукты (CO_2 , H_2O , нитраты, фосфаты, а в анаэробных условиях H_2O и CH_4). В почве накапливаются в качестве продуктов метаболизма микроорганизмов низкомолекулярные органические кислоты (муравьиная, уксусная, щавелевая и т.д.). Часть продуктов биологического разложения первичного органического вещества превращается в особую группу высокомолекулярных соединений – гумусовые вещества, а сам этот процесс называется гумификацией.

На четвертом этапе осуществляется процесс гумификации, представляющий собой совокупность биохимических и физико-химических реакций, в результате которых индивидуальные органические соединения превращаются в специфическое органоминеральное вещество почвы – гумус. Первая фаза гумификации осуще-

ствляется в основном плесневыми грибами и неспороносными бактериями, вторая фаза – споровыми бактериями, третья – целлюлозными миксобактериями и четвертая – актиномицетами. Плесневые грибы и сапрофитные споровые бактерии для своей жизнедеятельности используют углеводы, аминокислоты, простые белки и доступную часть целлюлозы. Миксобактерии способны использовать различные углеводы, но азот они усваивают только в минеральной форме. Актиномицеты разлагают труднодоступные соединения почвы, включая и лигнин.

Значение гумуса в почвообразовании и плодородии почв чрезвычайно велико. Присутствие и накопление различных органических и органоминеральных форм гумуса в почвах влияет на протекание практически всех почвенных процессов и на их свойства. Органические вещества способствуют процессам внутрпочвенного выветривания и образованию более подвижных форм отдельных элементов. Некоторые группы и фракции органических веществ являются важными структурообразователями, и их присутствие в почве улучшает её физические и химические свойства. Органическое вещество служит хранителем элементов питания, особенно азота, фосфора и серы для растений, а также сорбирует катионы, препятствуя их вымыванию. Органические вещества почвы стимулируют рост растений, активизируют развитие и регенерацию корней, скорость прорастания семян и т.д.

Основными причинами снижения запасов гумуса в почве являются: 1) водная и ветровая эрозии 2) избыток физиологически кислых минеральных удобрений, особенно азотных, и поступающих органических остатков при смене природных биоценозов на агроценозы, 4) преобладание отдельных культур в севообороте и монокультурное хозяйство, 5) вспашка, 6) осушение гидроморфных почв, 7) орошение, 8) усиление активности микрофлоры и ряд других факторов.

5. Физика почвы и загрязнители. На содержание загрязняющих веществ в почве влияют её гранулометрический и валовый состав; важная роль принадлежит концентрации глинистых минералов и свободных соединений полуторных окислов, удерживающих химические вещества в результате ионного обмена, хемосорбции, осаждения и окклюзии, что весьма важно их исследование при изучении экологического мониторинга. С учетом максимального на-

сыщения Cd, Cu, Hg, Mn, Pb и Zn минералы образуют следующий ряд соединений: гидроксид алюминия, бентонит, гидромусковит, каолинит. Между удельной поверхностью почвенных частиц и количеством поглощенных Zn и As существует положительная связь. Степень удержания отдельных элементов в твердых и жидких фазах различна. Так, каолинит поглощает загрязнителей относительно меньше, чем монтмориллонит, но степень их удержания весьма высокая (эта зависимость подтверждается на мышьяке, но по-другому складывается картина с серебром).

Подвижность тяжелых металлов в почвах в значительной степени определяется их ионообменными и коллоидно-химическими свойствами. Концентрация Zn в почвенном растворе коррелирует с запасом подвижных соединений твердой фазы почвы, с обменной и актуальной кислотностью, содержанием несиликатных соединений Fe, а запас подвижного Zn в твердой фазе зависит от емкости катионного обмена и доли органического вещества в почве.

В поглощении почвой загрязнителей велика роль её органических соединений. Например, Zn в форме растворимых фульватов передвигается по почвенному профилю, а его гуматы образуют на поверхности почвенных частиц пленку. Формирование комплексных соединений в почве будет способствовать расширению перемещения тяжелых металлов в ландшафтах; при высоком содержании возможно их закрепление в связанной форме с органическими веществами в комплексах и сорбционных соединениях по профилю почвенных слоев. С учетом участия органических веществ в различных комбинациях с тяжелыми металлами и другими загрязнителями возникает необходимость изучения при проведении почвенного мониторинга таких показателей, как общее содержание коллоидов и гумуса, состав и доля водорастворимой фракции последнего.

Участки или почвенные слои, выделяющиеся избирательным снижением подвижности отдельных химических элементов и изменением их количества, называют геохимическими барьерами. Такой подход вполне применим для анализа и прогноза поведения загрязнителей в почвах. С учетом проявления геохимических барьеров необходимо правильно выбрать элементы ландшафта, отдельные горизонты и компоненты почв, накапливающие загрязняющие вещества. Основной зоной концентрации загрязнителей являются верхние гумусированные почвенные горизонты, где и создается гео-

химический барьер, в котором Pb, Zn, Cd, As, Ba, Cr, B, Cu, V, I, Mo и другие элементы образуют с органическими веществами слабо-подвижные соединения, что особенно заметно прослеживается в богатых гумусом нейтральных почвах.

Иллювиальные горизонты кислых почв с выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля выполняют роль адсорбционного геохимического барьера, где концентрируются Mo, B, As, Hg, V, Zn, Cr, Co, Cu, Ni. Накопление Ba и Sr свойственно карбонатному барьеру, где преобладает жесткая вода, насыщенная углекислотой, и карбонатным горизонтам черноземов и каштановых почв, а также сульфатному барьеру засоленных почв. При щелочном барьере (в переходных горизонтах выщелоченных черноземов) концентрируются осадки с обилием Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd, Cr; на кислых барьерах накапливаются наименее растворимые в кислой среде такие элементы, как мышьяк и селен. Эти же элементы концентрируются и в глеевой среде, а в сероводородной депонируются многие техногенные элементы и среди них – As, Cd, Hg.

Имеются и географические закономерности распределения в почвах загрязнителей. При избыточном увлажнении, кислой реакции и низком окислительно-восстановительном потенциале в лесной зоне легкорастворимые соли свободно мигрируют по ландшафтам и попадают в гидросферу, перераспределяясь по ландшафтам и частично закрепляясь в них на геохимических барьерах. Миграция металлов в лесной зоне, где восстановительный период относительно короткий и реакция почв ближе к нейтральной, снижается и проходит в виде коллоидных растворов и органоминеральных соединений.

В степной зоне подвижность металлов ограничена недостатком влаги, нейтральной реакцией почвенного раствора и устойчивостью гумуса; концентрируются металлы в основном в верхних горизонтах почвы; при карбонатной аккумуляции накапливаются осадки, обогащенные стронцием и барием, тогда как B, F, Mo, V, As весьма подвижны в форме истинных растворов по всему почвенному профилю и по рельефу ландшафта. Миграция всех элементов по почвенным слоям в сухих районах весьма низка, и при испарении воды в них аккумулируются Ag, Hg, B, Mo. Сравнительно подвижны Mn, Fe, Cu, V в форме комплексов с органическими и минераль-

ными веществами, а в коллоидном состоянии – в форме простых солей при щелочной реакции в засоленных почвах.

6. Химия почв и загрязнители. Буферность почв в отношении загрязнителей зависит от количества последних и обуславливается коллоидными и электростатическими свойствами почвы, долей органических веществ и мелкодисперсных глинистых комплексов, ионообменными, окислительно-восстановительными, кислотными или щелочными и сорбционными свойствами, изменяющимися под влиянием тяжелых металлов, что и вызывает ухудшение среды обитания растений и животных. Буферность почв по отношению к загрязнителям определяется также химическими свойствами самих загрязняющих веществ, влияющими на их подвижность, способность включаться в ионный обмен и закрепляться в почвенных коллоидах в процессе хемосорбции, комплексообразования и осаждения и должна исследоваться в процессе комплексного мониторинга.

Параметры концентрации любого элемента в растворе и устойчивости к нему разных типов почв оцениваются по количеству в них тонкодисперсных коллоидных минералов, органических веществ, уровня кислотности или щелочности. Большое значение (например, в подвижности свинца) имеют процессы осаждения-растворения, регулирующие в определенной степени распределение тяжелых металлов между твердыми фазами и почвенным раствором.

Загрязнители бесспорно участвуют во многих протекающих в почве химических процессах и безусловно оказывают влияние на их динамику. С помощью термодинамических расчетов и моделирования лимитирующих реакций в лабораторных условиях можно прогнозировать уровни загрязнения конкретных почв. Например, в растворе некарбонатной почвы определены ориентировочные коэффициенты концентрации свинца и цинка по уровням показателей в них кислотно-основных и катионо-обменных свойств. По некоторым элементам выделены доминирующие реакции, которые ограничивают их подвижность в различных почвенно-геохимических условиях. Например, величиной рН почвенного раствора обусловлена доля железа в жидкой фазе малогумусной автоморфной почвы и его миграция, а влияние этого элемента на почвенную биоту можно прогнозировать по динамике показателя кислотности среды её обитания. Состояние железа при восстановительных процессах обуславливается двумя обстоятельствами – его восстановлением и об-

разованием $\text{Fe}(\text{OH})_3$, а для прогноза его состояния необходимо определить величины рН и Eh. Такой же подход пригоден и для оценки поведения в почвах Cd, Hg, Mn, Pb. Установлено, например, что при попадании в почву высоких норм свинца в почвенном растворе образуется его гидроксид. Концентрация свинца в жидкой фазе нередко снижается до уровня растворимости его фосфатных соединений. На содержание свинца, если оно ниже растворимости его труднорастворимых соединений, доминирующее влияние может оказывать его ионный обмен.

Весьма перспективны развиваемые в последние годы представления о взаимозависимости многих процессов, происходящих в почве, и их количественная оценка на основе термодинамических уравнений химических равновесий, нередко позволяющих заменить трудоемкое определение конкретных соединений (валовое содержание и содержание подвижных форм) на весьма легко определяемые показатели содержания органического вещества, рН, Eh, ЕКО и др. Тем не менее, пока не все факторы поддаются такому анализу.

Большое влияние на поглощение почвами тяжелых металлов и других загрязнителей оказывают их кислотно-щелочные свойства, определяющие форму нахождения их соединений, величину и знак заряда частиц (катион, анион, нейтральная частица) и прочность их связи. С понижением рН почвы ионообменная абсорбция катионных форм загрязнителей (пестициды, металлы, неметаллы) заметно нарастает; у анионных форм проявляется обратная зависимость – основная их масса сорбируется в слабощелочной среде, в которой преобладают анионы в двухзарядной форме. Например, установлена зависимость поглощения ртути почвами от величины рН – максимум ртути удерживается при рН 4,8–6,5.

Кислотность почвы существенно влияет на растворимость поступающих в неё соединений загрязнителей, что зависит от природы солей и реакций, сопутствующих их растворению; повышение кислотности почвы усиливает роль параллельно проходящих реакций протонизации при участии анионов солей; с увеличением щелочности усиливаются реакции комплексообразования, идущие с участием катионов солей. Иными словами, отмечается определенная зависимость поглощения почвами загрязнителей от реакции их раствора. Например, при абсорбции цинка из кислого раствора ионообменное поглощение меняется на сорбированное при рН > 6,5, значительно

превышая емкость поглощения катионами. Al подвижен в кислых условиях и малоподвижен в нейтральных и щелочных почвах; As малоподвижен в кислой и слабокислой среде, но весьма подвижен в щелочной; сульфиды ртути малоподвижны в кислых и нейтральных почвах, но подвижны в щелочных, богатых сульфидами натрия; бор в щелочных растворах образует подвижные бораты натрия, а в кислых условиях, ввиду его фиксации полуторными окислами, малоподвижен.

7. Выбор участка для проведения мониторинга. Большое значение при организации мониторинга имеет выбор объекта исследования с учетом его рельефа, размещения по отношению к источнику загрязнения, розы ветров и т.д. При фоновом мониторинге обследуются участки почвы аккумулятивных ландшафтов, где концентрируются химические загрязнители различного происхождения (пестициды, ТМ и т.д.). Особое внимание уделяется ДДТ и его производным – ДДД, ДДЭ, гексахлорциклогексану (ГХЦГ), полихлорпинену (ПХП), полихлоркамфену (ПХК), триазиновым гербицидам (симазин, атразин, прометрин, котофор), гербицидам типа 2,4-Д и 2М-4Х, фосфорорганическим пестицидам (карбофос, метафос, фозалон, фосфамид, бутифос). Для получения объективной информации необходимо обследовать в одной зоне до 10 хозяйств, расположенных равномерно по природным районам, а в каждом хозяйстве до 5 полей под разными культурами (на 2–3 полях отбираются почвенные пробы ежегодно, а на остальных – 1 раз в 3 года). Образцы отбирают 2 раза в год – весной перед основными посевами (март–начало апреля) и осенью после уборки урожая (вторая половина октября – ноябрь). Для оценки загрязнения почв пестицидами необходимо отбирать образцы из пахотного слоя и по почвенному профилю (число образцов определяется типом почвы и рельефом местности).

Очистить почву от распадающихся пестицидов в принципе возможно, но пока неизвестно, какие последствия создадут новые соединения, образованные их компонентами. Стойкие пестициды (типа ДДТ) вывести из почвы практически нельзя. Еще проблематичнее реальность самоочищения почвы от тяжелых металлов, которые относятся к весьма стойким её загрязнителям.

При изучении загрязнения почв тяжелыми металлами вокруг предприятий образцы отбирают в основном с пахотных земель ле-

том 1 раз в год. Отбор производят по четырем направлениям и нескольким concentрическим окружностям; начальное размещение участков отбора должно совпадать с направлением основных ветров в их годовой схеме. Пункты наблюдений размещают на расстояниях 0,5 км от источника загрязнения по восьми румбам, и образцы почвы отбирают раз в пять лет. Чаше точки отбора размещают в зоне 0–5 км. На выделенных площадках ($>2 \text{ м}^2$) отбирают смешанные образцы по почвенным слоям и горизонтам.

Четко разработанной методики организации почвенных полигонов с размещением точек отбора проб почв для контроля тяжелых металлов, пестицидов и других загрязнителей на уровне хозяйств или отдельных их составляющих пока нет. Кафедрой общей биологии и экологии КубГАУ прорабатывается несколько вариантов размещения точек пробоотбора почвенных образцов. Один из таких вариантов заложен в ОАО "Завета Ильича" Ленинградского района и в течение 10 лет применялся для оценки загрязнения почв (рис. 1). На полигоне сравнивается объективность отбора проб методом линейной трансекты с размещением точек друг от друга на расстоянии 100 по горизонтали схемы и 500 м по вертикали и размещении трансект в продольном и поперечном направлениях к розе ветров. Количество отбираемых проб по каждому варианту составляет не менее 50, а общее число образцов на всей площади (450 га) – около 200. Статистическая обработка результатов показала предел необходимого количества проб для получения объективной информации по каждому варианту эксперимента, а также (что очень важно) выявила пороговые (минимальные и максимальные) показатели концентрации отдельных загрязнителей.

В лаборатории были определены концентрация Fe, Pb, Co, Cd, Ni, Cu, Zn и их соединений, экстрагируемых 1 н HNO_3 , являющейся ацетатно-аммонийным буфером, и водой. Эти элементы определялись в образцах растений с соответствующих участков и пробах почвы (в растворимой и нерастворимой фракциях). Информация по результатам лабораторных анализов обычно включает карту содержания ксенобиотиков в почве с характеристиками возможных источников загрязнения, обобщение фактических данных содержания отдельных веществ с анализом тенденций динамики в случае их высокого содержания; оценку профильного загрязнения почв, а также растений и водоемов на территории изучаемого ландшафта. Прове-

дение площадных съемок 2001 и 2006 годов показало объективность принятой схемы для объективной оценки уровней загрязнения почв тяжелыми металлами и пестицидами (рис. 8).

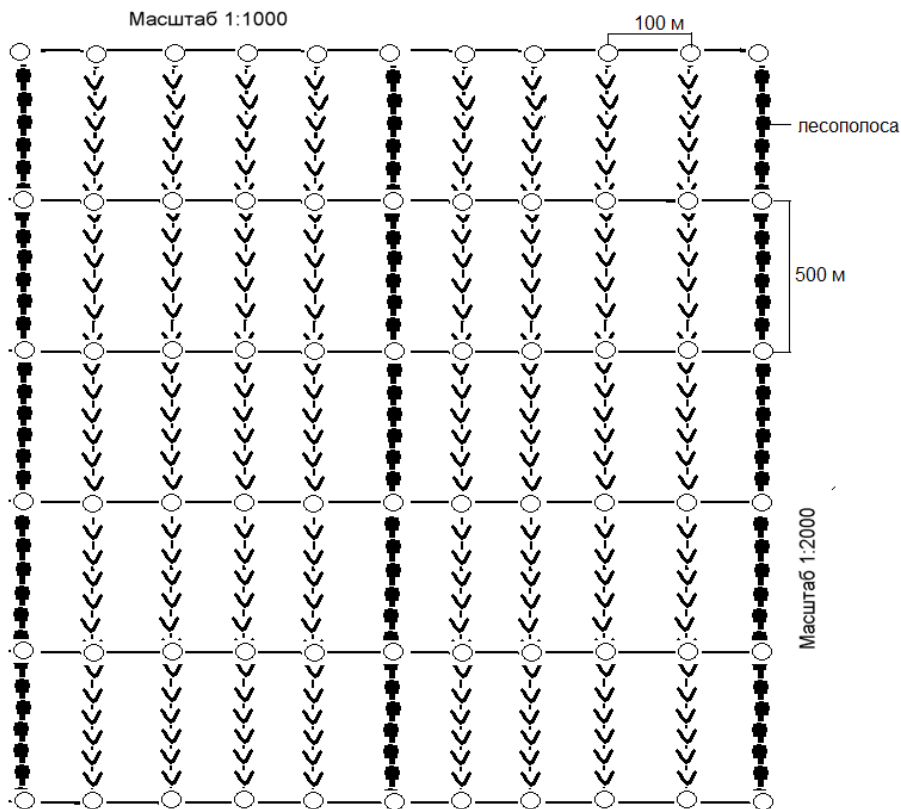


Рис. 8. Схема полигона по изучению уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и пестицидами: по горизонтали – трансекты с расстояниями между площадками отбора проб 100 м, по вертикали – отбор проб производился через 500 м.

Помимо прямых оценок содержания ТМ, пестицидов и других загрязнителей, для оценки состояния почв можно использовать ферментативные показатели, определяющие биохимическую активность почв. Например, весьма информативна активность дегидрогеназы (из оксидоредуктаз), поскольку она прямо связана с активностью про-

цессов азотфиксации, нитрификации, дыхания и поглощения кислорода. Используются также оценки активности уреазы и фосфатазы (из гидролаз), а по выделению CO_2 характеризуют интенсивность почвенного дыхания. Химическое состояние загрязненных почв оценивается по содержанию в них углерода, водорастворимого органического вещества, подвижного фосфора, аммонийного и нитратного азота, обменных сульфатов.

Трансформация загрязнителей в почве, корреляция между их выбросами и уровнем загрязнения окружающей среды, а также оценка загрязнения отдельных природных блоков с учетом возможных последствий изучается на основе количественных моделей миграции и поведения загрязнителей в различных условиях, в результате чего устанавливаются константы, характеризующие параметры состояния экологических систем. Весь комплекс взаимодействующих факторов и связей в экосистеме с учетом влияния загрязнителей расчетным путем определить невозможно, и потому еще долго будут применяться различные подходы к оценке состояния почвы.

Исследованиями установлено, что, например, концентрация свинца и цинка только через 50 лет начинает сокращаться в верхних горизонтах почвы, переместившись в элювиальную часть почвенного профиля при сохранении иллювиального максимума. Из этого опыта видно, что даже при кислой реакции, при которой миграция металлов повышена, самоочищение почв очень слабое. Высокую стабильность загрязнения почв металлами демонстрирует их содержание в неиспользуемых почвах вблизи предприятий – загрязнителей. На территориях, уже давно не эксплуатируемых заводов, известны данные высокого содержания Cu , As , Pb , Zn с превышением ПДК или фоновых концентраций в несколько раз.

8. Ландшафтно-геохимический мониторинг. Основой такого мониторинга является: 1) определение техногенных потоков загрязнителей и анализ их динамики, 2) реакция почв и ландшафтов геохимических систем на техногенное воздействие, 3) влияние загрязняющих веществ на почву и на процессы трансформации загрязнителей в них, 4) установление индикаторов оценки загрязнения почв, 5) разработка мероприятий по снижению негативного воздействия загрязнения почв на основе моделирования и прогноза.

В процессе создания экологических моделей прогноза загрязнения природных систем используются два подхода: 1) эмпириче-

ский, который базируется на основе информации загрязнения всех блоков системы с установлением корреляций между уровнями загрязнения её составляющих; 2) полуэмпирический метод, основанный на результатах исследований поведения загрязнителей в природных блоках системы и создании физических и химических моделей с применением балансовых расчетов объемов выбросов и их распространения. В модель экосистемы в этом случае вводятся ряд блоков, связи между которыми и анализируются (рис. 9).

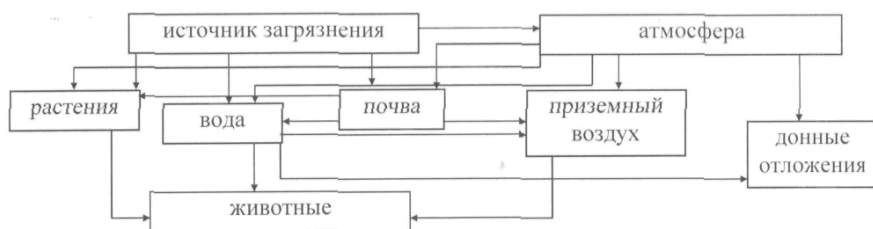


Рис. 9. Блок-схема модели экосистемы при изучении её загрязнения.

Использование методов моделирования в системе мониторинга состояния почв позволяет решать её отдельные проблемы: проводить оценку загрязнения почв в связи с выбросами конкретных предприятий, устанавливать влияние способов использования земель на эрозионные процессы и т.д. Ряд проблем, связанных с поступлением загрязнителей в почву, их удалением с поверхности почвы водным стоком и перемещением по профилям и выносом с урожаем, сказывается на содержании загрязнителей в верхнем слое почвы, можно решить с помощью эколого-математического моделирования.

Эффективность математического моделирования достаточно высока в случае изучения стойкости пестицидов в почве. Например, уравнение регрессии для определения периода полураспада пестицида линдана было построено с учетом влияющих факторов и интенсивности его потерь из почвы. Основные пути вывода пестицидов из почвы (сорбция, испарение, транслокация, деструкция, микробиологические превращения, вынос с урожаем растений) определяют их концентрацию в конкретный период времени. Среди воздействующих факторов, определяющих начальную концентрацию

пестицида в почве, являются: состав пестицида, его физические свойства, условия применения, тип почвы, климатические параметры, покровная культура.

Возможности различных методов почвенного мониторинга постепенно расширяются. Например, развитие дистанционных методов космического мониторинга с использованием самолетных лабораторий, космических аппаратов с подключением визуальных, спектрометрических, телевизионных и фотографических методов дает возможность выявить локальные территории максимального загрязнения и оценить уровень непосредственных наземных измерений. Эти методы позволяют автоматически сравнить и сопоставить повторные съемки любого участка земли через определенные промежутки времени.

Периодичность оценки состояния почв отдельных местообитаний и в целом экосистем позволяет создавать прогностические математические модели определенного процесса. Например, можно проанализировать процессы опустынивания при разрушении почвенного и растительного покрова выпасом, строительством, дорогами, распашкой и т.д. Получение снимков загрязненных районов – задача решаемая, но их расшифровка затрудняется экранированностью поверхности почвы растительностью, потому их интерпретация в смысле оценки загрязнения почв, например, металлами, и сегодня мало информативна.

9. Управление состоянием почв. Экологический мониторинг состояния загрязненности почв реально не дает прямой возможности управления этим процессом, но он создает основу для разработки мероприятий, направленных на снижение давления конкретных загрязнителей. Среди таких мероприятий, в первую очередь, следует рассматривать: 1) целесообразность замены технологий производства основной продукции, 2) очистка отходов и промышленных стоков, 3) перевод промышленного производства на малоотходное. В числе технологий, направленных на снижение загрязнения почв, можно выделить: 1) химические, 2) агротехнические, 3) механические.

Химические подходы по дезактивации загрязнителей в почве базируются на их переводе в малоподвижные. Например, ограничение подвижности и снижение токсичности ряда тяжелых металлов (Cd, Ni, Cu, Mn, Co, Pb, Zn, As) на растения вполне реально при из-

вестковании кислых почв. Так, в вегетационных опытах при внесении на кислой почве (рН 5,2) извести в дозе 5 мг/кг содержание кадмия в растениях ячменя существенно понизилось (Первухина и др., 1985). Подвижность кадмия, никеля и кобальта снижается при запашке в почву органических веществ – зеленого удобрения, навоза, компостов и т.д. Промывка почв разбавленной соляной кислотой с последующим внесением фосфорно-магниевого удобрения и силиката кальция также снижает загрязнение почв тяжелыми металлами в зоне выбросов промышленных предприятий и т.д.

К агротехническим мероприятиям следует отнести внесение минеральных удобрений, оптимизирующих условия вегетации растений и снижающих давление на них и почву ряда загрязнителей. На землях, в которых концентрация загрязнителей высокая, целесообразно культивировать устойчивые к поллютантам культуры (например, картофель), а также растения, у которых в пищу используются плоды, накапливающие мало токсикантов из-за сокращенного времени их роста по сравнению с вегетативными органами. Необходимо также вести селекцию сортов культурных растений, устойчивых к загрязнению почв отдельными токсикантами.

К механическим мероприятиям относят удаление и захоронение наиболее загрязненного верхнего слоя почвы, завоз чистой плодородной почвы и её размещение слоем до 12–15 см на поверхность загрязненной, что может быть весьма эффективным приемом в условиях промывного режима. При выпадении небольшого количества осадков закрытие чистой почвой загрязненной территории дает эффект первые 4–5 лет, а затем наблюдается загрязнение этого слоя металлами. Формирование двухслойного покрова на загрязненном участке слоем до 15 см оказывает благоприятное влияние на развитие растительности.

10. Мониторинг почв Западного Предкавказья. Для этого района свойственна высокая активность ветровой эрозии, наносящая в отдельные годы весьма значительный урон плодородию почв. Например, весной 1969 г. активно проявился такой очаг дефляции, как "Армавирский коридор", обусловивший разрушение почвы на глубину до 6 см (Данилевич, 1978). Содержание гумуса за 15 лет сельскохозяйственного использования земель снизилось на 13–16% от фонового уровня (Васильев, Мамаева, 1978). Падение плодородия земель (снижение гумусового слоя в среднем на 1% в год) обу-

словлено: 1) экстенсификацией земледелия на основе пропашной системы, 2) структуроразрушающими обработками почвы, 3) повышенным выносом питательных веществ из почвы с урожаем, 4) ухудшением физических и химических свойств почв, обуславливающих усиление минерализации органического вещества и 5) потерями последнего с развитием эрозионных процессов. Подтверждением тому может служить падение доли гумуса в приазовском черноземе Ростовской области через 50 лет после распашки в среднем на 18,5% (Жуков, Попов, 1988).

Важными приемами борьбы с дефляцией почв и сокращением накопления гумуса в ней являются: 1) сокращение до минимума площади под пропашными культурами, 2) повышение в севообороте доли многолетних культур, на склонах – многолетних пастбищ; 3) посадка и развитие лесозащитного лесоводства, эффективность которого возрастает с оптимизацией организации территории, соотношения структуры угодий, созданием узких лесных полос с ажурной конструкцией перпендикулярно направлению ветров и т.д. В таких лесоаграрных ландшафтах при проявлении ветровой эрозии почв преобладает абиотическая аккумуляция органических и минеральных веществ, представляющая собой эоловый перенос мелкозема с открытого пространства межполосной середины поля и его отложение в лесополосах и вблизи них с увеличением почвенной толщи и изменением формы рельефа (Кретинин и др., 1988).

Основная масса мелкозема, переносимого зимними ветрами, представлена агрегатами в 1 мм, которые через 6 мес. способны увеличиваться в размере в 2–3 раза. В лесополосе эоловые наносы пронизаны корнями деревьев и трав, обогащены опадом, в них много видов мезофауны, что способствует развитию биологической аккумуляции гумуса и биофильных элементов в погребенном генетическом и наносном слоях. В лесополосах поступающие в почву отмершие растения и животные попадают в благоприятные условия гумификации: почва лишена прямой солнечной инсоляции, что способствует умеренной минерализации в ней органических веществ. Это объясняет более высокий уровень гумификации органического вещества в лесных полосах по сравнению с нетронутой степью и пашней.

Кафедра общей биологии и экологии Кубанского госагроуниверситета исследовала агроландшафты Ейского, Ленинградского и

Новопокровского районов, лесистость которых составила 2,9; 3,8 и 5,1% соответственно; средний возраст этих посадок 50–60 лет с преобладанием ажурной и плотной конструкции, составленных из робинии, ясеня, гледичии, аморфы и других видов, высота которых достигает 6–8 м. Почвенный покров в этих районах сравнительно однородный и представлен в основном черноземами предкавказскими, мощными и среднemocными глубококарбонатными слабогумусными глинистыми на карбонатных лессовидных суглинках. В Новопокровском районе в метровом слое почвы содержание гумуса под лесополосой 50-летнего возраста выше, чем на распаханном поле на 1,9% и на 0,4% – для целинных степей. В Ейском районе в золых наносах в акациевых лесополосах гумуса было на 0,1% меньше, чем на пашне, что, очевидно, связано с относительной их "молодостью" и сравнительно невысоким накоплением в них органического вещества вследствие незначительного количества осадков в этой зоне, слабого развития травяного покрова и небольшой листовой массы, поступающей на почву от деревьев и кустарников.

Глава 13. Загрязнение почвы и воды нефтепродуктами

1. Причины нефтяного загрязнения. Добыча нефти, её транспортировка, переработка и использование сопровождаются значительными потерями и заметно влияют на экологическое состояние многих регионов нашей страны, поскольку масштабы этого производства весьма велики. Сейчас в мире добывается и используется ежегодно около 3 млрд т. сырой нефти; столько же её формировалось примерно за 1000 лет. Спрос на нефть и нефтепродукты ежегодно возрастает на 10%, а рост её добычи не превышает 5%. К этому следует добавить потери при транспортировке, переработке и использовании, в результате которых ежегодно в мире теряется около 50 млн т нефти и нефтепродуктов. В числе причин таких потерь можно выделить следующие: 1) разливы нефти из-за повреждения трубопроводов (коррозия, самовольное врезание, производственные разливы), 2) технические аварии на нефтепроводах и трубопроводах, 3) мелкие и крупные поломки резервуаров, 4) непредвиденные аварии при железнодорожных и морских перевозках. Авария на одном трубопроводе на суше может оказаться причиной загрязнения почвы нефтью на площади до 1 га и больше. При технических разливах под давлением нефть проникает в почву глубоко (вплоть до грунтовой воды), оказывает катастрофическое влияние на биоту почвы (сообщества грибов, бактерий, актиномицетов, животных, растений), загрязняет поверхностные и подземные воды, является причиной невозможности использования питьевых источников, вызывает гибель многих представителей флоры и фауны в поверхностных водах, а саму почву лишает свободного кислорода и свободной воды, разрушает почвенную структуру, уничтожает её плодородие и делает непригодной для выращивания растений.

2. Влияние нефтепродуктов на плодородие почв. Многие ценные физико-химические и биологические свойства почвы при загрязнении её нефтью теряются. Среди них следует выделить: нарушение экологического равновесия в подсистеме почвы, изменение

морфологических, физических, физико-химических и химических характеристик различных её слоев, нарушение в ней соотношения между органическими фракциями, возможность проникновения нефти в грунтовые воды, снижение почвенного плодородия, возможность формирования в почве токсически опасных соединений. Поскольку реакция различных типов и подтипов почв на нефтяные загрязнения значительно варьирует в разных природных зонах и даже в пределах сопряженных ландшафтов, возможности выработки единых критериев по оценке нефтезагрязнения почв и методов для их рекультивации пока весьма проблематичны.

При загрязнении нефтепродуктами верхнего слоя почвы отмечается увеличение массы подвижных форм марганца, кобальта, меди и цинка, что, очевидно, связано с понижением окислительно-восстановительного потенциала. Отмечено заметное варьирование в загрязненной почве подвижных форм питательных веществ в сторону снижения, в следствие чего растения испытывают их недостаток. Загрязнение почвы нефтепродуктами заметно подавляет её нитрификационную способность. При содержании в почве нефтепродуктов свыше 25000 мг/кг заметно меняются её морфологические свойства: верхняя часть принимает темную смолистую окраску в результате склеивания её агрегатов, что, естественно, снижает водопроницаемость субстрата. Вода осадков стекает по склонам или заливается на поверхности, в почву не впитывается, и поэтому влажность загрязненной почвы заметно ниже контроля. Продуктивность почвы резко падает, а агрегированность весьма заметно изменяется в сторону её снижения.

Количество органического вещества в верхнем слое почвы при загрязнении нефтепродуктами повышается, и существенно возрастает соотношение C:N; гранулометрический состав почвы меняется слабо. В целом в загрязненной нефтепродуктами почве её состав и свойства заметно ухудшаются. Почвенные капилляры закрываются распавшимися отходами нефтепродуктов, аэрация почвы снижается, и в ней возникают анаэробные условия. В составе почвенного воздуха значительное место занимают весьма токсичные для микроорганизмов, животных и растений выделения легких фракций нефтепродуктов.

При загрязнении в почве недостает кислорода в связи с вытеснением выделениями нефтепродуктов почвенного воздуха и уплот-

нением верхнего слоя на основе склеивания различных агрегатов, а повышение количества Na^+ способствует подщелачиванию почвенного раствора. Почвенные агрегаты покрываются нефтяной пленкой и теряют способность впитывать и удерживать влагу: снижается уровень гигроскопической влажности, влагоемкости и водопроницаемости почвы. Влажность верхнего слоя почвы (0–20 см) снижается, а подпочвы (21–40 см) – повышается из-за снижения испарения воды через загрязненный слой, отличающийся значительными гидрофобными свойствами.

Загрязнение почвы нефтепродуктами влияет на содержание в ней гумуса и на его состав и повышает содержание органического углерода: снижается концентрация гуминовых кислот и фульвокислот, увеличивается негидролизуемый остаток и содержание органического углерода (на порядок и больше в сравнении с контролем). При загрязнении нефтепродуктами резко ухудшается пищевой режим почв: снижается емкость их поглощения в связи с обволакиванием коллоидов почвы нефтяной пленкой, подает ферментативная активность почв, что связано с содержанием в нефти весьма токсичных тяжелых металлов, а также ПАУ и высоким соотношением C:N.

Загрязнение почвы нефтепродуктами замедляет углеродный обмен через накопление в ней органического вещества и снижает трансформацию растительных отходов, что сокращает нитрификацию и азотфиксацию в почве и, в конечном итоге, вызывает азотное голодание растений и снижает дыхание почвы.

Направление рекультивации земель определяется последующим их использованием на базе комплексного учета: 1) погодных условий; 2) состояния загрязненных земель на период их рекультивации, 3) гранулометрического и валового состава почвы; 4) физических и агрохимических свойств почв, 5) гидрологических условий, 6) хозяйственных и санитарных условий.

При разливе нефтепродуктов биологическая активность почвы существенно подавлена в связи с острым токсическим воздействием низкомолекулярных соединений загрязнителя на живые организмы. Рыхление почвы после её загрязнения будет способствовать физической и химической деградации нефтепродуктов и удалению его газообразных компонентов, снижению доли легких и окислению восстановленных фракций загрязнителя. Такая работа проводится в течение

3–4 месяцев, и её завершение можно контролировать особенностями прорастания семян чувствительной к этому загрязнению культуры.

С удалением низкомолекулярных соединений нефтепродуктов в почве остаются их ароматические соединения и соединения с длинной цепью свыше C^{20} , используемые углеродооксилирующими микроорганизмами, которые поступают в почву с навозом или осадками сточных вод. Улучшение работы микроорганизмов осуществляется посредством внесения навоза, рыхления почвы и при возможности полива смывной водой свиноводческих ферм, а также при внесении минеральных удобрений с высоким содержанием азотных соединений. Развитие микробиологического периода длится 2–3 месяца, в течение которых усиливаются темпы минерализации нефти. В течение 3–4 месяцев заметно восстанавливаются и физические, и химические свойства почвы и, прежде всего, её кислотность. Внесение фосфогипса с навозом и опилками (или с осадками сточных вод) заметно улучшает в почве биологические процессы, усиливающие разложение полициклических ароматических соединений нефтепродуктов. Важным приемом восстановления почвы является посев распространенных в данном районе трав, устойчивых к нефтяному загрязнению.

Влияние нефтепродуктов на состояние почв определяется уровнем концентрации. Низкие уровни концентрации нефтепродуктов ($<1 \text{ кг/м}^2$) мало влияют на почвенную биоту, поскольку для некоторых организмов в низкой концентрации нефть может выступать энергетическим субстратом и даже стимулятором роста растений. Аварийное поступление нефтепродуктов (свыше 1 кг/м^2) угнетает растения. В загрязненных нефтепродуктами почвах установлено размножение азотфиксирующих, денитрифицирующих и сульфатвосстанавливающих бактерий, использующих загрязнитель в качестве источника энергии.

Основными причинами медленного развития и даже гибели растений при значительном загрязнении нефтепродуктами ($>10 \text{ кг/м}^2$) являются: нарушение поступления свободной воды и подвижных питательных веществ, а также проявление кислородного голодания в связи с окислением свободного кислорода. Нефтепродукты негативно влияют на жизнедеятельность целлюлозоразрушающих и нитрифицирующих бактерий, актиномицетов, а также диатомовых водорослей, снижают концентрацию в почве азота, фосфора и в целом уменьшают питательную ценность почв, но усиливают долю денит-

рификаторов и углеродооксиляющих микробов; последние активны в расщеплении продуктов нефти и детоксикации почвы. Наименее чувствительны к нефти *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.* и др.

Таким образом, нефтяные загрязнения почвы вызывают изменения физических, химических и биологических свойств, обуславливая если не полную, то весьма заметную потерю плодородия. Необходимо отметить, что углеводороды нефти в почве трансформируются с образованием токсических соединений, выделяющихся следующими особенностями: 1) стойкостью к микробиологическому расщеплению, 2) высокой канцерогенностью, 3) способностью переходить в растения и снижать качество их продукции, используемой животными организмами в пищу. Все вышесказанное не может не вызывать беспокойства специалистов здоровьем населения и животных в районах разливов нефти и нефтепродуктов. Кроме того, земельные угодья в мире весьма ограничены, и, естественно, возникает проблема возврата загрязненных нефтью земель в сельскохозяйственное производство.

3. Перспективы рекультивации почв при загрязнении нефтепродуктами. Восстановление загрязненных нефтепродуктами почвенных и водных систем сегодня является весьма важной проблемой, которая может решаться исключительно методами рекультивации конкретных территорий с целью вернуть им аналогичные с природными комплексами свойства. Рекультивация земель представляет собой выполнение комплекса работ по их очистке от загрязнителя (подготовительных, технологических, биологических).

Подготовительный этап представляет собой изучение земель с точки зрения оценки их разрушения и поиска методов технической и биологической рекультивации. Техническая часть работы включает определение методов технологических мероприятий (обработка почвы, внесение конкретных мелиорантов – их норма, сроки и последовательность внесения и т.д.). Биологическая рекультивация включает фитомелиоративные мероприятия, обеспечивающие восстановление флоры и фауны на загрязненной территории.

Выполнение работ по рекультивации нефтезагрязненных земель невозможно без сведений о размерах таких территорий, сроках и степени их загрязнения и без разработки методики научных исследований по обнаружению и оценке степени нефтезагрязнения в конкретных природно-климатических условиях. Критерии уровня за-

грязнения почв нефтью и методы их рекультивации пока еще разработаны недостаточно.

Реакция почв и вод на нефтезагрязнения в большой степени зависит от климатических и почвенных особенностей (осадки, температура, доля гумуса, рН, гранулометрический состав почвы и их засоление и т.д.). За нижний предел содержания нефтяных продуктов в почве, не оказывающего губительного воздействия на почву и живые организмы в ней, принимается количество до 1,0 г/кг (1000 мг/кг). Оценка нефтяного загрязнения почвы и его последствий проводится вблизи конкретного места загрязнения, а основными задачами контроля являются: 1) установление источника в центре разлива нефти, 2) определение массы и направления потока нефти по площади, глубине почвенного профиля и возможного ареала загрязнения, 3) оценка продуктов загрязнения, 4) установление возможных сопутствующих загрязнителей почв (минеральные соли, токсичные ТМ, канцерогенные вещества), 5) установление степени и характера трансформации почв, растительности, загрязнения вод, 6) оценка возможности самоочищения почв и эффективности мероприятий по ликвидации последствий их загрязнения, 7) биологическая и экономическая оценка нанесенного ущерба отдельным объектам.

Большую роль в ликвидации нефтяного загрязнения играют микроорганизмы. Так, на водной поверхности Северной станции Ленинграда в результате аварии образовалась "корка" нефтепродуктов толщиной около 50 см и площадью 1200 м² (Чугунов и др., 1994). Для разрушения корки использовали несколько бактериальных препаратов, отличающихся высокой нефтеокисляющей и биоэмульгирующей активностью из родов *Mycobacterium*, *Acinetobacter*, *Nocardia*. В условиях аварии при подкормке N и P происходило образование тонкой эмульсии (масло в воде) и возросла интенсивность биодegradации углеводородов отдельными штаммами и их ассоциациями (до 50%). За три недели в модельных опытах корка толщиной 3 см была полностью ликвидирована, а твердые включения в корке выпали в осадок.

Микробиологическая очистка загрязненных нефтью территорий является весьма перспективным направлением. Для очистки сильно загрязненного нефтью водоема площадью 0,5 га, использовали препараты на основе штаммов *Mycobacterium flavescens* EX-91 и *Acinetobacter sp.* НБ-1, жидкий состав которых нанесли на водную

поверхность из расчета 6×10^6 кл/см². Через 2 месяца уровень нефтяного загрязнения снизился в 400 раз, а еще через 2 месяца концентрация нефтяных углеводородов упала фактически до нуля; нефтеокислительная активность микроорганизмов оказалась весьма высокой.

Для очистки почв сильно загрязненных мазутом, на территории нефтебазы и котельной, использовали препараты на основе *Pseudomonas pseudoalcaligenus* KB-4 и *Ps. putida* – 9 в начальной концентрации 10^7 кл/см². Почву для поддержания высокого уровня биодеградации регулярно орошали водой и вносили нитроаммофоску (как источник N и P). Через 3 недели после обработки почти полностью очистили от мазута участки, где толщина загрязненного слоя не превысила 2–3 см (Холоденко и др., 1994). Для очистки грунтов и водоемов от нефтяных загрязнений рекомендуется применение штаммов *Rhodococcus sp. (R. ruber)* 1418 и *Rhodococcus sp. (R. erythropolis)* 1715 (Мац и др., 1994), которые используют углеводородсодержащие субстраты, включая нефть и её тяжелые фракции (смолы, мазут, асфальтены) в качестве источника углерода и энергии.

Определение уровня загрязненности почв нефтью начинается с изучения морфологии и агрономической оценки почвенного профиля и определения количества нефти в образцах почвы и воды. Методы количественной оценки наличия нефтепродуктов и их качественного состава в почвах разработаны еще слабо. Во всех методиках производится извлечение нефти из проб почвы органическими растворителями, а оценка растворов – инструментальными методами. Абсолютной уверенности в полной экстракции нефти из почвы нет.

Нефть извлекается из почвы различными растворителями – петролейным эфиром, гексаном, бензолом, спиртобензолом, хлороформом, хлористым метиленом, четыреххлористым углеродом. Поскольку используется большое количество растворителей, то возможности сравнения полученных данных весьма ограничены. Кроме того, при использовании разных растворителей переход отдельных групп нефтяных соединений в экстракт специфичен. При проведении массовых анализов необходимо пользоваться одним растворителем, хотя не исключены трудности подбора пригодного для всех типов почв единого растворителя. Следует стандартизировать определенные растворители для сходных типов почв.

Важнейшим свойством растворителя является его способность диссоциировать все группы углеводов и его низкая способность растворять другие группы органических веществ в составе гумуса (гумины, углеводы, полипептиды, аминокислоты). Растворитель должен быть безопасным для человека, невзрывоопасным, дешевым и инертным к основным компонентам почвы – солям, окислам, специфическим и неспецифическим компонентам гумуса. Углеводородную часть нефти и её продукты хорошо растворяют гексан и петролейный эфир, которые также частично растворяют низкомолекулярные смолы и их соединения, но не растворяют высокомолекулярные полярные компоненты нефти.

Большинство используемых растворителей химически весьма активны и частично растворяют нативные органические соединения почвы, извлекают некоторые неорганические соединения, что снижает точность оценки количественного содержания нефтепродуктов. Большинство исследователей лучшим растворителем считают гексан, химические свойства которого благоприятствуют количественной оценке нефтезагрязнения в отобранных образцах почвы, представляющих собой полидисперсные и многокомпонентные системы с динамичными показателями кислотно-основных и окислительно-восстановительных режимов, динамики температуры по сезонам и слоям, осадков, продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и животных и т.д.

Гексан был использован для разработки ускоренных вариантов метода оценки загрязнения почв нефтью учеными МГУ (Орлов, Амосова, 1994), определявшими содержание нефтепродуктов в почве на основе их экстракции из почвы при концентрации кипящего гексана в аппарате Сокслета. Аппарат имеет защитный металлический кожух, в котором расположена система алюминиевых стаканчиков для растворителя, обратных холодильников и стаканчиков из оргстекла с впаянными пористыми фильтрами. В кожух вмонтирована система обогрева водой. Дистанционный генератор тепла обеспечивает безопасность эксплуатации прибора. Доля нефтепродуктов в экстрактах определяется после отгонки растворителя весовым методом.

4. Поведение углеводов в загрязненных почвах. В нефтезагрязненных серо-бурых почвах содержание углеводов снижается по прошествии времени и с глубиной горизонтов. В загрязненной 100 лет назад почве содержание углеводов колеблется от 3,6

на глубине до 7 см в верхнем слое до 0,29% на глубине 69–100 см; на контроле (фон) доля углеводов по профилю доходит до 0,03%. В почве, загрязненной 40 лет назад, содержание углеводов составляет 5,01 в верхнем горизонте и до 3,34% на глубине 60–80 см, а в фоновой почве на тех же глубинах – 1,79 и 0,03% соответственно. В почве, недавно загрязненной, содержание углеводов доходит до 12,38% на глубине до 16 см и до 1,47% на глубине 165–200 см (на фоновом участке выход углеводов не превышает сотых долей процента в верхнем горизонте).

Продолжительность пребывания нефти в почве связана с её химическим составом (например, в Бакинской нефти низкое содержание – всего 1% – легко деструктурируемых бактериями нормальных алканов и высокая доля слабо подверженных разложению высокомолекулярных изопреноидных алканов и циклоалканов) и её дозами, попавшими в почву. Роль важного фактора играет и сухость или влажность климата (сухость ограничивает деятельность микрофлоры).

Быстрое самоочищение темно-серой лесной почвы в сравнении с серо-бурой объясняется другим составом тюменской нефти (доля алканов в ней 25–40%) и более благоприятными условиями для деятельности микроорганизмов. При загрязнении темно-серой почвы в модельных опытах тюменской нефтью в дозе 8, 16 и 25 л/м² доля экстрагируемых углеводов повышается от 2,2 в варианте 8 л/м² до 4% в варианте 25 л/м². Через 4 года экстракция углеводов в 1,5 раза ниже по сравнению с вариантом 2-го года загрязнения. Быстрое самоочищение темно-серой лесной почвы в сравнении с серо-бурыми объясняется другим химическим составом нефти и более благоприятным режимом для жизнедеятельности микроорганизмов.

При внесении органических и минеральных удобрений отмечена активизация микроорганизмов; усиливается интенсивность трансформации органических веществ нефти, и их доля в удобренных почвах ниже, чем в неувобренных. Внесение 140 т/га органических и минеральных ($N_{120}P_{180}K_{180}$) удобрений обусловило самое низкое содержание в почве углеводов. Определение содержания нефтепродуктов в почве через их экстракцию в силу её сложности и ненадежности усложняет получение быстрой и точной информации для оценки степени и площади загрязнения почв, что особенно важно в аварийных ситуациях и при обследовании больших площадей.

5. Определение нефтепродуктов в почве. Навеску помещают в патрон из фильтровальной бумаги загрязненной почвы для экстрагирования углеводов. Для изготовления патрона из фильтровальной бумаги вырезают прямоугольник 17×8 см и свертывают в виде цилиндра, нижние края которого осторожно загибают навстречу друг другу до образования доньшка, на которое укладывают кружок из фильтровальной бумаги, а затем тонкий слой ваты и сверху снова кружок из фильтровальной бумаги. Навеску почвы помещают в патрон и закрывают её кружочком фильтровальной бумаги, края патрона сгибают, а сам патрон помещают в аппарат Сокслета. В алюминиевые стаканчики для растворителя наливают по 70 мл гексана (C_6H_{14}). На приборе с помощью регулятора устанавливается температура кипения гексана 69°C. Трехчасовая экстракция вполне достаточна для экстрагирования нефти из почвы. По окончании экстрагирования аппарат выключается, а экстракт из алюминиевых стаканчиков переносится в предварительно взвешенные бюксы. Стаканчики обмываются несколько раз порциями чистого гексана, который затем испаряют в вытяжном шкафу, а уже потом бюксы с нефтепродуктами сушат в сушильном шкафу при 70°C до постоянного веса. Данный метод определения нефтепродуктов в почве характеризуется следующими показателями: среднее арифметическое $\bar{X} - 4,24$; среднее квадратическое отклонение $S - 0,23$; ошибка среднего $S_x - 0,0288$; коэффициент вариации $V, \% - 5,38$; объем выборки $n - 64$.

Полнота экстракции нефтепродуктов была изучена в модельных опытах в зависимости от времени пребывания нефти в почве: в пробы трех типов почв внесли различные количества сырой нефти с последующим её экстрагированием гексаном. Установлено, что за первый день экстрагируется до 75% внесенной нефти с постепенным снижением экстрагирования в последующие дни.

Определенный интерес представляет оценка выхода веществ из почвы, загрязненной в прошлом, в сравнении с гексановым экстрактом. Опыт провели в 4-кратной повторности. Из загрязненной 40 лет назад почвы и в последнее десятилетие хлороформ выделяет лишь немного больше веществ по сравнению с гексаном. Из загрязненной 100 лет назад почвы гексан извлекает 3,63%, а хлороформ – 18,68% различных соединений, что объясняется переходом многих соединений нефти в другие вещества, и хлороформ кроме нефти из-

влекает из почвы также продукты их преобразования. Сравнение полученных экстрактов показало, что компоненты экстрактов C_6H_{14} , $CHCl_3$, CCl_4 , характеризуются аналогичными полосами поглощения, но в ИК-спектре вещества в гексановых экстрактах имеют наиболее четкие линии поглощения. ИК-спектры веществ, экстрагируемых хлороформом и четыреххлористым углеродом, отличаются размытым характером и, прежде всего, в области $1450-1750\text{ см}^{-1}$, что указывает на наличие в экстрактах сложной смеси компонентов.

6. Другие методы оценки загрязнения почв. Практикуются дистанционные методы определения загрязненности почв нефтепродуктами с использованием, например, спектров отражения, особенности которых обусловлены содержанием в почве органических веществ. В районе нефтепромыслов Апшеронского полуострова было отобрано свыше 100 образцов серо-бурых почв, в разной степени загрязненных нефтью. Серо-бурые почвы разделяли на супесчаные, легко- и среднесуглинистые, и съемку их спектров отражения проводили в лабораторных условиях на спектрофотометре СФ-14 в видимом диапазоне $400-750\text{ нм}$. Почва была тщательно измельчена до размера частиц $0,1\text{ мм}$ в воздушно-сухом состоянии. Незагрязненные нефтью почвы отличаются пологой кривой отражения по направлению к красной области спектра. Коэффициент отражения в синефиолетовой части спектра доходит до $32-35\%$, а интегральное отражение составляет $27-30\%$, что характерно для кривых спектрального отражения почв аридной зоны.

Загрязнение почв нефтью снижает их отражательную способность: при сильном загрязнении кривые спектрального отражения во всем диапазоне длин волн почти горизонтальные и даже отмечается их падение к красной части спектра, интегральное отражение сильно загрязненных почв составляет $10-12\%$. При изучении серо-бурых почв определена обратная зависимость между уровнем загрязнения (рассчитано по выходу экстракции гексаном) и отражательной способностью почв. Корреляция между интегральным отражением и содержанием углеводородов нефти составила от минус $0,85$ – до минус $0,89$ при уровне вероятности $P=0,95$.

Экспериментальные материалы позволяют построить графики зависимости величины интегрального отражения от количества углеводородов нефти, описываемой уравнением

$$P_{\Sigma} = ac - k_{\text{ж}} + p_{\text{ж}}$$

(P_{Σ} – интегральный коэффициент отражения, V_b – содержание углеводов нефти, $P_{y\theta}$ – минимальный коэффициент отражения сильно загрязненной нефтью почвы; a и k – коэффициенты, C – концентрация V_b). Расчет параметров уравнения для разных типов почв можно описать на основе экспериментальных данных.

Первый этап исследования по диагностике загрязнения почв связан с выявлением различий в спектральной отражательной способности незагрязненных и в разной степени загрязненных нефтью субстратов. Выделены следующие степени нефтяного загрязнения серо-бурых почв, характеризующихся определенными величинами интегрального отражения (P_{Σ} , %): незагрязненные >27%, слабозагрязненные – 27–22, среднезагрязненные – 22–14, сильнозагрязненные – <14%. Оперативная оценка состояния почв в районах добычи и транспортировки нефтепродуктов через изменения отражательной способности дает возможность реагировать быстро и эффективно.

Дистанционный метод оценки загрязнения почв весьма прост и экономически выгоден, особенно при изучении больших территорий, а выявленные закономерности влияния нефтяного загрязнения на отражательную способность почв можно использовать для аэрокосмического мониторинга. Однако развитие методов дистанционной оценки загрязнения почв с целью получения объективной информации о состоянии экосистем нуждается в большом объеме экспериментальных сведений по оценке отражательной способности почв, загрязненных нефтью, что позволит определить статистические зависимости для внесения корректив в дистанционные аэрокосмические методы исследования почв и природных систем. В почвах разных типов поведение углеводов различное, что необходимо учитывать при составлении прогнозов изменения загрязненности почв и при разработке методов их оценки или рекультивации применительно к различным группам почв и различным типам нефти. Вследствие этого возникает необходимость подбора дифференцированных по группам почв и качеству нефти поправочных коэффициентов на неполноту экстракции гексана углеводов из незагрязненных почв.

Глава 14. Фоновый мониторинг

1. Основы организации фонового мониторинга. Фоновый мониторинг отслеживает состояние природной среды и является основной системы глобального мониторинга; его важнейшие принципы определены Стокгольмской конференцией ООН по окружающей среде в 1972 г. (Израэль, 1984). В программу фонового мониторинга включаются наблюдения за следующими параметрами:

1. Характер, состав, круговорот и миграция загрязнителей.
2. Геофизические и физико-географические наблюдения за состоянием среды.
3. Измерение концентраций оксидов серы (SO_2 и SO_3), оксидов углерода (CO , CO_2), оксидов азота (NO , NO_2), озона, углеводов, ртути, хлора.

Фоновый контроль состояния природы входит в комплекс глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) и базируется на сети глобальных фоновых станций, в программу которых входят: биологические, геофизические и физико-географические наблюдения состояния природных объектов (особое внимание обращается на реакцию биоты на уровне популяций и экосистем на различные загрязнения), отслеживание особенностей состава круговорота и миграции загрязнителей.

Первоначально было принято, что на фоновых станциях в атмосфере будут измерять из 20 веществ всего 5 – сернистый газ, взвешенные частицы, озон, двуокись углерода; в воде морей – углеводороды; на региональных станциях – 8 веществ в живых организмах (включая человека): радионуклиды, ДДТ и другая хлорорганика, свинец, микотоксины, микробные загрязнения; в воде – углеводороды нефти и ртуть; в атмосфере – сернистый газ и взвешенные частицы, свинец; на импактных станциях – 18 веществ: в атмосфере – указанные выше (кроме CO_2), оксиды азота и оксид углерода, ас-

бест, реакционноспособные углеводороды; в воде – кадмий и его производные, нитраты, нитриты, ртуть, фториды, мышьяк; в живых организмах и продуктах – радионуклиды, ДДТ, кадмий, нитраты, нитриты, ртуть, свинец, микотоксины, микробные загрязнения. Отсюда следует, что основную работу должны выполнять импактные станции, т.е. находящиеся в наиболее опасных зонах.

В нашей стране в программу фоновых наблюдений включено определение следующих загрязнителей: в атмосфере – сернистый газ, аэрозоли, оксиды азота и углерода, озон, реакционноспособные углеводороды, ртуть, свинец, мышьяк, кадмий, ДДТ, бенз(а)пирен, сульфат-ионы, ионы натрия и хлора; в атмосферных выпадениях (сухие и влажные осадки, снег) – ДДТ, другая хлорорганика (ПХБ), кадмий, ртуть, свинец, мышьяк, бенз(а)пирен; сульфат (SO_4^{2-}), хлорид (Cl^-), нитрат (NO_3^-) анионы; катионы аммония NH_4^+ , кальция Ca^{2+} ; электропроводность и рН (как интегральные характеристики состояния атмосферных осадков); в водах морей и рек – ртуть и её соединения, мышьяк, кадмий, свинец, ДДТ, ПХБ, бенз(а)пирен, нефтепродукты, биогены; в почве – ртуть, свинец, кальций, мышьяк, ДДТ, ПХБ, бенз(а)пирен, биогены; в пищевых продуктах – ДДТ, ПХБ, бенз(а)пирен, кадмий, ртуть, мышьяк.

В системе мониторинга не последнее место должен занимать биологический блок наблюдений, включающий не менее 11 параметров. В Программе он представлен лишь частично: определение бенз(а)пирена, ДДТ, ПХБ и ТМ в продуктах. Эти соединения необходимо определять в фитопланктоне, рыбах, животных, грибах, ягодах, овощах, фруктах. Для оценки реакции биоты на загрязнение можно использовать такие показатели, как число особей в популяциях и число видов в экосистеме, пространственное размещение популяций, энергообмен, круговорот веществ, баланс биомассы, скорость роста особей, развитие, генетические изменения, частота заболеваний и состояние здоровья населения, миграции, рождаемость и смертность, биохимические и физические процессы и т.д. К сожалению, пока что биологический блок в системе мониторинга весьма ограничен из-за недостатка стандартных методик. Необходимо вести также наблюдения за метеорологическими (t^0 , осадки, влажность), геофизическими (солнечная радиация, прозрачность

атмосферы), гидрологическими (водный баланс, режим стока) режимами среды и т.д.

Важное значение в качестве стандарта сравнения имеет анализ на загрязнение музейных экспонатов: например, содержания ртути в перьях птиц прошлого века; анализ донных отложений, соответствующих различным эпохам, годовых колец и т.д. Важной частью программы мониторинга является организация наблюдений в биосферных заповедниках, которые позволят помимо тех сведений, которые упомянуты выше, дать информацию о миграции, круговороте и балансе контролируемых веществ.

Очень важно правильно выбрать полигон наблюдения с учетом внутриландшафтных миграционных связей, миграции веществ из атмосферы на поверхность почвы, миграции в системе почва – водоем, почва – грунтовые воды, почва – растение. В этих системах необходимо развернуть работы биолого-экологических исследований и изучение реакции биоты на антропогенный прессинг.

Особой частью фонового мониторинга является изучение стратосферы и, прежде всего, наблюдение за стабильностью озонового слоя. Пока в природе существует относительное равновесие между процессами фотохимического образования и распада озона, то поступление в этот слой оксидов азота, хлора или фторуглеродов весьма негативно влияет на это равновесие. Иными словами, фоновому мониторингу необходимо уделять столь же пристальное внимание, как и импактному, региональному и другим видам мониторинга.

Программы фоновых наблюдений осуществляются сетью специальных (базовых и региональных) фоновых станций. В местах расположения базовых станций, отслеживающих информацию об исходном состоянии биосферы, полностью исключается антропогенное влияние в течение последних ближайших по крайней мере 50 лет. На всем пространстве нашей планеты планировалось создать до 40 сухопутных и около 10 морских (океанических) базовых станций, составной частью которых должны были стать также станции фонового мониторинга некогда очень большого по территории (1/6 часть суши) Советского Союза.

Региональные станции выявляют причины негативных последствий в состоянии биосферы. Они являются в определенной степени моделью базовых, и на них быстрее выявляются в заметных пределах

негативные воздействия загрязнения. Ввиду этого программа наблюдений на региональных станциях шире, чем на базовых, и она является основой корректировки Программы базовых станций и национальных Программ фонового наблюдения за загрязнениями биосферы.

В процессе организации сбора, обработки, хранения и обобщения сведений по фоновому состоянию биосферы широко используются существующие источники информации из различных центров хранения данных. Макромасштабное загрязнение окружающей среды определяется атмосферным переносом поллютантов в другие среды – в почву, воду, биоту. Столь глобальную роль выполняет весьма ограниченное число веществ. Масштабы загрязнения окружающей среды отдельными загрязнителями зависят от стойкости вещества или продуктов его распада, от возможности синтеза и степени накопления их в природных средах, от их токсичности и биологической активности.

При переносе загрязнителей скорость распределения воздушных потоков колеблется от сотен до тысяч км/сутки, что и выступает ограничивающим фактором переноса на большие расстояния веществ с продолжительностью существования менее 0,5 суток. Заметное поступление в почву и воду загрязнителей из атмосферы наблюдается в том случае, если время их присутствия в этих средах составляет не менее года.

При больших выбросах загрязнителей проявляется часто отрицательное их влияние на биоту, в следствие их накопления здесь в значительных количествах и с высокой концентрацией. Такая ситуация наблюдается при выбросах загрязнителей в количестве десятков и сотен миллионов т/год, хотя заметные эффекты токсичности могут проявляться и при меньших выбросах.

Выделяют две группы токсикантов по продолжительности их активности в атмосфере:

1) вещества с периодом жизни до года и больше – их концентрация в атмосфере мало зависит от распределения источников загрязнения на нашей планете,

2) вещества с периодом жизни до 10 суток – их концентрация в атмосфере тесно связана с пространственным размещением источников выбросов, и их количество широко варьирует от промышленных до фоновых районов в пределах нескольких порядков.

К первой группе следует отнести диоксид углерода (CO_2) и фреоны. Концентрация последних составляет $4 \times 10^{-8}\%$, их основные источники находятся в северном полушарии, где их концентрация выше на 10%. В конце XIX в. концентрация углекислого газа в воздухе при незначительном его влиянии на человека составляла 0,029%, а в конце 70-х годов XX века уже поднялась до 0,034%.

Ко второй группе относятся двуокись серы (SO_2) и оксиды азота (NO , NO_2), которые отличаются заметными колебаниями содержания в воздухе, что в известной степени определяется метеоусловиями и пространственным размещением источников их выбросов. Содержание диоксида серы, например, в промышленных зонах достигает $0,1 \text{ мг/м}^3$, в сельских районах в несколько раз меньше, а над океаном – на один-два порядка ниже. Содержание NO и NO_2 в промышленных районах составляет $0,30\text{--}0,40 \text{ мкг/м}^3$, а в сельских районах доходят до 2 мкг/м^3 .

2. Роль трансграничного переноса в загрязнении природной среды. Причины огромных выбросов загрязняющих атмосферу веществ и осложнение экологической проблемы переносом загрязнителей на большие расстояния обусловлены ростом объемов используемого ископаемого сырья на различные нужды, что особенно характерно для развитых стран Европы и Америки, начиная с 60-х годов XX столетия (рис. 10). В виде летучих соединений выбрасывается сера, оксиды азота, а также другие вредные вещества. Наибольший и трудно измеримый экологический ущерб, вызванный трансграничным переносом, наносится России, Канаде, Скандинавским странам. Так в 80-е годы перенос серы ежегодно на территорию СССР составлял 2,5 млн т, а из СССР на другие страны не превышал 0,2 млн т.

Создана автоматизированная информационная система расчета трансграничного переноса (АИСРТП). Первая очередь этой системы начала работать в 1982 г., обеспечивая выдачу оперативной и сводной информации о трансграничных потоках соединений серы в обоих направлениях через западную границу СССР. Расчеты показали возможность построения моделей распределения потоков загрязнителей в атмосфере с их верификацией по данным периодических измерений с самолета и некоторых измерительных станций на контрольных участках границы.

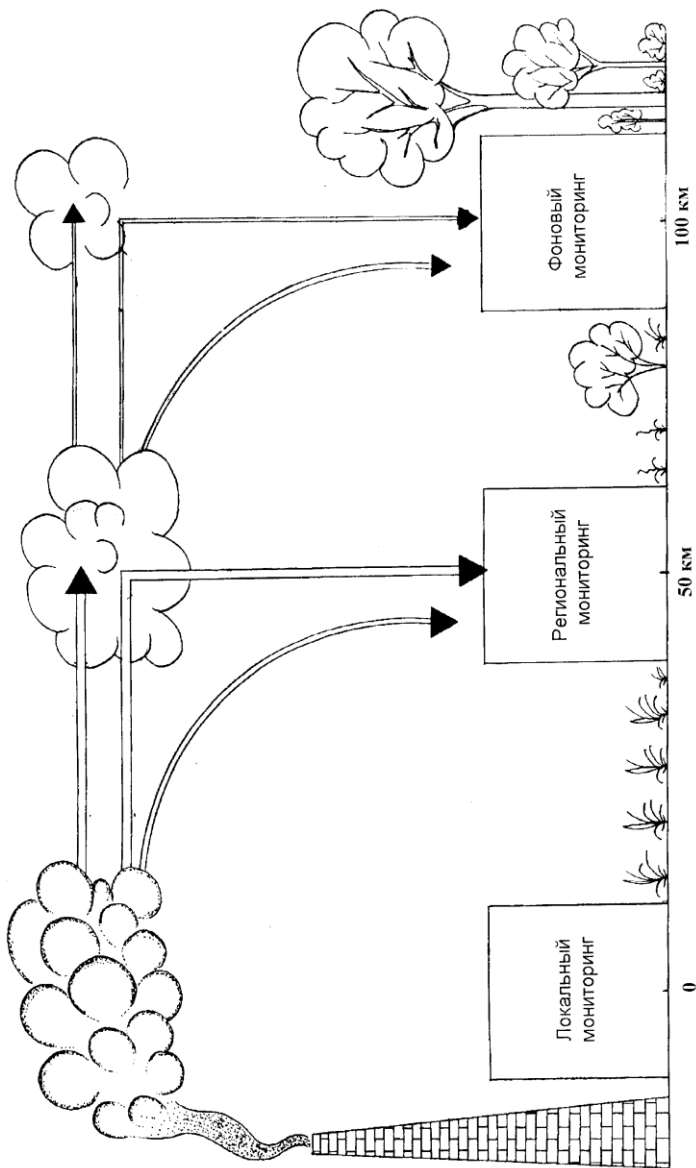


Рис. 19. Пространственное размещение локальных, региональных и фоновых полигонов по изучению влияния промышленных газообразных выбросов в атмосферу

АИСРТП включает следующие блоки: информации об источниках выброса, метеоситуации; оперативного расчета потоков; контроля и распределения выходной информации потребителям; обобщения информации и верификации моделей. Расчеты потоков осуществляются за 6-часовой период, а данные обобщают за неделю, декаду, месяц, год. Математическое моделирование динамики потоков выполняется блоком оперативного расчета и основано на моделях сухого и влажного выпадения соединений серы; их результаты подвергаются автоматическому анализу и проходят проверку при поступлении данных натурных измерений.

Верификация данных моделирования с измерениями наземными и полученными с носителей авиационного базирования показала расхождение по потокам SO_2 и сульфатов за интервал в 6 часов в 2–3 раза. Необходимо подчеркнуть, что ошибки измерений натурных потоков при концентрации в мкг/м^3 находятся примерно в тех же пределах, что и подтверждается оценкой трансграничного переноса (по авиаизмерениям).

Замеры вертикальных переносов загрязнителей (сернистого газа и сульфатов), полученных с авианосителей, достаточно эффективны при оценке переноса химических соединений через границу. Эти данные также важны с точки зрения использования их при калибровке моделей, используемых для определения потоков расчетным методом. Совершенствование авиаизмерений, их увеличение и уточнение постоянных, используемых в расчетных соотношениях, дает возможность повысить точность расчетов.

Глава 15. Региональный мониторинги и управление природно-хозяйственными системами

1. Природные условия. В качестве примера организации регионального мониторинга основное внимание обратим на условия Краснодарского края, который расположен в южной части России и занимает западную часть Кавказа и Предкавказья. Близость Главного Кавказского хребта, Черного и Азовского морей и некоторая защищенность территории от ветров с севера и востока определяют специфичность и разнообразие его природно-климатических условий (Белюченко, 2005). Климат равнинной части края характеризуется как умеренно теплый с неустойчивым увлажнением: продолжительность солнечного освещения доходит до 2400 часов в год, суммарное количество солнечной радиации, поступающей на поверхность почвы, составляет около 120 ккал/см², а сумма эффективных температур (>10°C) - около 3500°; безморозный период колеблется по годам и в среднем составляет 270-300 дней; относительная влажность воздуха широко варьирует в течение года (наименьшее значение отмечено в июле-августе - 60-75%, а в отдельные дни на некоторых территориях опускается до 30, и наибольшее осенью и ранней весной - до 90% и выше); южная часть края занята северными и южными окраинами Главного Кавказского хребта и его отрогами (от г. Анапы на западе до горы Фишт на востоке) (Белюченко, 2010).

По физико-географическому районированию край относится к Крымско-Кавказской стране горной области Большого Кавказа, отличающейся активным динамометаморфизмом, обусловленным крупными тектоническими движениями, проявляющимися временами и в настоящее время. Климат побережья и среднегорий края средиземноморский: теплая зима со средней температурой выше 0°C; зимой часто наблюдаются сильные северные ветры; лето жаркое, температура июля составляет +24°C (максимум до +35°C); зима

дождливая, лето умеренно дождливое; осадков выпадает в среднем по краю от 600 до 800 мм в год (больше на юге, меньше на севере). Для высокогорной зоны характерно преобладание западно-восточного переноса атмосферных масс; равномерное выпадение осадков в течение года отмечается только в горной зоне.

Равнины края заняты в основном обыкновенными черноземами, содержащими свыше 3 % гумуса и сформированными на лессовидных суглинках. В среднегорной провинции распространены дерново-карбонатные горно-лесные бурые почвы; растительность представлена фитоценозами с весьма широким спектром видового разнообразия - от степных на севере до горно-лесных на юге, от плавневолиторальных на западе до степных и лесостепных на востоке. Все зоны края достаточно специфичны в формировании растительных группировок. Например, Восточное Приазовье, представляющее собой плавнево-литоральный ландшафт, образует уникальную природную экосистему, где функционирует гиперпространство экологических факторов - от полупустынь до переувлажненных территорий, от солончаков до хорошо промытых речных грунтов. Растительный покров насчитывает свыше 1300 видов, относящихся к 115 семействам высших споровых, голо- и покрытосеменных растений нативной флоры, основанием формирования которых является флористический комплекс, включающий псаммофиты, степную и луговую растительность, в составе которой выделяется около 60 эндемиков. Плавнево-литоральные ландшафты испытывают сильнейший антропогенный прессинг, вызванный загрязнением акваторий обоих Кавказских морей, развитием рисоводства, зарегулированием водных систем и т.д. (Белюченко, Мельник, 2010)

В последние годы в морских экосистемах (например, Черного моря) отчетливо просматривается предкризисная ситуация, что заставляет относиться с большим вниманием к изменениям, происходящим в них. К сожалению, ведущиеся исследования Черного моря до сих пор мало скоординированы единой программой. Международная Программа по защите Черного моря, в которой участвует и Россия, является первой попыткой действенного объединения усилий многих государств по мониторингу и охране бассейна Черного моря.

2. Атмосфера. Наблюдения за состоянием атмосферного бассейна основных городов края показали, что такие загрязнители, как пыль, оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, фенолы, фор-

мальдегид, бенз(а)пирен и некоторые тяжелые металлы, суммарно существенно превышают норму. Весьма серьезная обстановка складывается в г. Краснодаре (особенно в летний период) в связи с повышенным содержанием в воздухе формальдегида, пыли, фенола и бенз(а)пирена, что обуславливается большими выбросами автотранспорта, ТЭЦ, котельных, мясокомбината и т.д. и приведут к загрязнению атмосферы со значительным превышением допустимых норм времени в 25 и оксидом азота - в 17 раз. Общий уровень загрязнения атмосферы в Краснодаре временами в 2-3 раза превышает норму. Основным загрязнителем атмосферы города является транспорт (на его долю приходится до 3/4 всего загрязнения). В последние годы в атмосфере города повышается содержание диоксидов азота и серы, оксида углерода, сероводорода и формальдегида, что связано с увеличением эмиссии вредных веществ в основном от передвижных источников (авто- и железнодорожный транспорт). Свою лепту в загрязнение города вносят наряду с автотранспортом "Роснефть", ТЭЦ, ДСК и другие предприятия.

Поэтому наиболее уязвимым блоком ландшафта является атмосферный воздух, накапливающий газообразные загрязнения в результате сбросов и выбросов всей наземной, морской и воздушной техники; многие загрязнители под действием ветров и воды переносятся с воздушными массами и потоками воды на большие расстояния. Некоторые химические реагенты, производимые человеком, существенно изменяют химизм атмосферы (Белюченко, 2005).

Атмосферный воздух края загрязнен сернистым газом: его минимальные концентрации в пределах 0,01-0,7 мг/м³ зафиксированы даже в атмосферном воздухе высокогорной лесной зоны края; в равнинных районах и в городах его содержание доходит до 8-10 мг/м³. Заметно варьируют концентрации окислов азота в атмосферном воздухе: в сельскохозяйственных районах их уровень колеблется в пределах 0,04-0,07 мг/м³, а вблизи Краснодара (Ростовское шоссе) – 0,06-6,0 мг/м³.

Разовые оценки содержания в атмосферном воздухе и в выпадающих осадках тяжелых металлов (кадмия, ртути и свинца) и мышьяка показали их существенные концентрации. Основная масса тяжелых металлов представлена подвижными формами, которые легко адсорбируются растениями. В воздухе обнаружены пестициды (хлорорганика) и бенз(а)пирен. Уровень ДДТ и его метаболитов на

территории края колеблется в воздухе от 0,1 до 1,1 нг/м³. Весьма распространен в воздухе бенз(а)пирен – от 0,1 до 0,4 нг/м³, осаждаемый практически полностью на поверхности ландшафта; его запасы в атмосфере пополняются в результате сгорания различных видов органического вещества - леса, стерни, отходов. На поверхность суши оседает и попадает с осадками от 50 до 80% всех загрязнителей, образовавшихся в результате пожаров и попадающих в основном в речные системы.

В настоящий период в атмосфере региона отмечается нарастание концентрации углекислого газа, пыли, общего микробного числа микроорганизмов и других загрязнителей, чему способствует сжигание большого количества органического топлива. За последнее столетие доля CO₂ в атмосфере заметно увеличилась. Поскольку углекислый газ отличается прозрачностью и не задерживает коротковолновую радиацию, а длинноволновую, наоборот, активно концентрирует, его влияние на особенности климата в региональном масштабе проявляется весьма существенно. В атмосфере также накапливаются во все увеличивающихся количествах оксид углерода, метан и другие газы, которые способны на единицу объема сохранять тепло в 50 раз больше, чем CO₂, и, естественно, тоже вносят свою долю в изменение температурного режима. Лесные и торфяные пожары, горение свалочного субстрата и сопутствующих газов при добыче нефти, сжигание самой нефти при её разливах, сжигание соломы, стерни и органического мусора, а также пыльные бури способствуют изменению органического и минерального состава атмосферы и т.д. Все это благоприятствует развитию в атмосфере большой массы бактерий и грибов. Эволюционно температурный и водный режим и микробиологический состав атмосферы не рассчитаны на такое мощное антропогенное давление (Горелик, Конопелько, 1992; Белюченко, 2001; 2006; Муравьев, 2010).

В качестве примера рассмотрим влияние химического производства «ЕвроХим-БМУ» на состояние атмосферного воздуха в районе города Белореченска.

Данное предприятие относится к 1 классу опасности по выделению токсичных веществ, поскольку производит серную кислоту, экстракционную фосфорную кислоту, сложные минеральные удобрения: аммофос, жидкие комплексные удобрения, кормовые обесфторенные фосфаты. К поступающим в атмосферу токсикантам сле-

дует отнести органические растворители, сернистые соединения, соединения фосфора, фториды, амины, альдегиды, оксиды азота, углерода, углеводороды, металлоорганические соединения, взвешенные вещества (пыль) и т.д. В атмосфере города идут процессы постепенного самоочищения в результате: седиментации (осаждение) выбросов с низкой реакционной способностью (твёрдых частиц, аэрозолей) под действием сил тяжести; нейтрализации и связывания газообразных выбросов в открытой атмосфере под действием солнечной радиации или компонентами биоты; поглощения химическими элементами и соединениями, содержащимися в атмосфере, части соединений серы, азота, углерода.

Отбор проб воздуха в зоне влияния химзавода проводился под факелом, на различном удалении от завода (500-4000 м, по преобладающему направлению ветра); по периметру завода на расстоянии около 500 м для выявления диффузного распространения как организованных, так и неорганизованных выбросов. В число анализируемых компонентов включались углеводороды (предельные, непредельные, ароматические), аммиак, ортофосфорная кислота и фосфорный ангидрид, серная кислота и сульфаты, ртуть, микробиологические показатели (ОМЧ КОЕ; бактерии, КОЕ; грибы, КОЕ).

Численность микроорганизмов в атмосфере завода варьирует в течение дня; отмечены полуденный максимум и вечерний спад. Среди колоний микроорганизмов, по сравнению с «ночными» пробами, высеянных из дневных проб, отмечено большее количество пигментированных форм таких родов, как *Micrococcus*, *Staphylococcus*. Темноокрашенные грибы - это многочисленная и разнообразная в систематическом отношении группа, содержащая в мицелии и спорах черный пигмент сложной полимерной структуры, который на основании исследований последних лет можно отнести к меланинам. Наличие черного пигмента типа меланинов определяет защитные свойства грибов против облучения и дает возможность существовать им в воздухе в условиях повышенной радиации.

Наиболее часто в воздухе прилегающих к заводу территорий встречались бактерии родов *Micrococcus* и *Bacillus*. При повышении влажности воздуха увеличение численности бактерий идет быстрее, чем численности микромицетов. Максимальное количество микроорганизмов отмечено вблизи дорог и автобусных остановок. Наличие влаги в атмосфере сильно влияет на морфогенез грибов, степень их

ветвления, интенсивность споруляции, репродукции и т.д. Влажность окружающей среды имеет большое значение непосредственно для прорастания спор, минимальные значения находятся в пределах от 0,7 до 0,9 показателя активности воды, а некоторые грибы (*Fusarium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*) способны прорасти и при высокой активности воды 0,9. В весенний период в микробоценозах были выделены представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*. При исследовании воздуха в летний период было отмечено доминирование темноокрашенных грибов *Fusarium*, *Alternaria*, что, возможно, связано с защитной функцией микромицетов от солнечной радиации.

В целом воздушный бассейн в зоне влияния Белореченского химзавода характеризуется разной концентрацией минеральных (пыль, угарный газ, аммиак), органических (различные группы углеводородов и т.д.) и биологических (грибы, бактерии) загрязнителей. Проведенные исследования по состоянию воздушного бассейна завода весьма четко обозначили существование таких различий.

На загрязнение воздушного бассейна города сильное влияние оказывает автотранспорт. В состав выхлопных газов входит более 200 компонентов, тогда как нормируются лишь немногие (оксиды углерода, азота, серы, углеводороды, взвешенные вещества и др.) (Орлов и др., 1989). Выхлопы автотранспорта остаются в приземном слое атмосферы, что затрудняет их рассеивание. С другой стороны, город Белореченск отличается невысокими застройками, и это способствует быстрому рассеиванию загрязняющих атмосферу веществ.

Особенно опасными компонентами-загрязнителями воздуха являются углеводороды (УВ), оксиды азота (NO и NO₂), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO₂), которые считаются весьма токсичными соединениями, и пыль, которая имеет большую суммарную поверхность и, как следствие, высокую биологическую и химическую активность. Некоторые вещества приобретают новые, иногда опасные свойства, связываясь с частицами пыли, и их активность возрастает в несколько раз. Запылённая атмосфера плохо пропускает ультрафиолетовую радиацию, обладающую бактерицидными свойствами, препятствует самоочищению воздушного пространства, нарушает у растений процесс фотосинтеза.

Весьма существенным фактором влияния на атмосферу края являются поступления в её состав оксидов азота и серы и других

элементов, формирующих в воздухе соответствующие сухие или в виде тумана кислотные соединения, оказывающие негативное влияние на дыхательные системы животных и человека. При выпадении кислотных осадков на почву, растительный покров и водные системы существенно ухудшаются условия функционирования последних. Источник кислотных соединений - это выбросы автомобильного и других видов транспорта, промышленных предприятий, сжигание различных органических материалов.

Под действием весьма активных в химическом отношении промышленных выбросов таких веществ, как хлор, оксиды азота и других веществ, в атмосфере весьма активно происходит разрушение озонового слоя. Поскольку в атмосфере снижается концентрация озонового слоя, защищающего все живое на Земле, усиливается губительный поток на Землю ультрафиолетового излучения Солнца. Снижению в атмосфере плотности озонового слоя способствует также накопление в приземном воздухе различных углеводородов, окислов азота, хлористых соединений и т.д., усиливающих фотохимические реакции по разложению этого окислителя. Можно допустить, что именно разрушение тропосферного озона является одной из причин гибели в последние десятилетия многих лесов в Западной Европе и Северной Америке.

Газовый состав и химизм атмосферы определенно влияют на её оптические и электрические свойства, что, естественно, сказывается на составе воды океанов, морей и речных систем и на их состоянии, а также на изменении в круговоротах доли минеральных биогенных элементов. Кроме того, изменение химизма атмосферы является одной из причин увеличения различных аварий в воздухе (самолетов в различных частях мира, включая и Россию), на земле (Чернобыль, аварии на химических заводах во многих странах мира), в океанах и на суше (в районе Новороссийска в 1991 г., в Малайзии и Таиланде в 2004 г.) и т.д. Аварии во всех частях биосферы способствуют химическому и радиоактивному загрязнению последней.

Условия формирования воздушного бассейна Кубани и влияние на него внешних факторов (выбросы машин, пароходов, ТЭЦ, заводов и т.д.) предопределяют проведение непрерывных наблюдений за особенностями метеорологических условий, а также отслеживание критического состояния конкретных ландшафтов, что поможет вовремя принять меры по предотвращению ущерба здоровью населения

края и его природе. Для организации мониторинга состояния атмосферы нужна следующая информация: эталоны качества воздушного бассейна (нормы ПДК) и показатели его реального состояния (характеристики загрязнения воздуха) за отдельные промежутки времени, уровни выбросов вредных веществ в атмосферу и её загрязнения с учетом прогноза погоды, изменения условий климата и специфики выбросов.

Наземные службы наблюдения ведут непрерывный контроль за загрязнением атмосферы отдельными источниками выбросов вредных веществ и метеоусловиями в крае и его отдельных районах; оценивают степень загрязнения атмосферы, включая аварийные залповые выбросы с учетом метеоусловий, и на этой основе разрабатывают прогноз загрязнения атмосферы с использованием климатических характеристик. В этом же комплексе ведется разработка мероприятий по улучшению состояния атмосферы в различные периоды года и оценка проводимых воздухоохраных мероприятий, программ, проектов, направленных на улучшение состояния воздушного пространства. Важными объектами подсистемы мониторинга атмосферы являются источники вредных выбросов в атмосферу (стационарные и передвижные). Источники выбросов в крае распределены неравномерно и заметно различаются по объему и характеру производственных мощностей предприятий (высота, скорость выхода и температура выбрасываемых газов). Датчики автоматического контроля выбросов, которые могут поставлять сведения непосредственно в центр сбора и обработки информации целесообразно установить на крупных трубах.

При организации системы мониторинга воздушного бассейна предусматривается создание банка информации о всех отходах, куда заносятся сведения об основных источниках и нормативах выбросов, сбросов и образовании твердых отходов и материалы их аналитического контроля, включая физические, химические и биологические свойства. Загрязнение атмосферы в пределах территории промышленных предприятий и их санитарно-защитных зон в основном оценивается сегодня по выбросам неорганизованных источников (автомобильный транспорт, аварии и т.д.). Сохранение чистоты атмосферного воздуха на самом предприятии является прямой обязанностью его руководства, поскольку именно оно обеспечивает экологическую

безопасность условий труда своих сотрудников при надлежащем контроле и профессиональной помощи государственных служб.

Уровень загрязнения атмосферы в крае зависит от территориального размещения источников выбросов и сбросов отдельных предприятий, а также особенностей подстилающей поверхности. Например, при расчетах степени загрязнения отдельных районов края необходимо выделять долю промышленных и сельскохозяйственных территорий, а в городах дополнительно - промышленной и жилой зон, плотность и этажность застройки, площадь зеленых насаждений и т.д. Лесопарковые и зеленые зоны активно улучшают состояние атмосферы. Сеть мониторинга атмосферы включает: пункты наблюдений, стационарные и передвижные посты, стационарные и передвижные лаборатории для анализа проб атмосферного воздуха, центры сбора и обработки информации об экологическом состоянии отдельных территорий.

В конкретных пунктах наблюдений по разработанной программе систематически проводится оценка состояния атмосферы и забор проб воздуха для последующего определения содержания в них загрязняющих веществ. Стационарные посты ведут наблюдения за загрязнением атмосферы в конкретных регионах. В настоящее время организуются посты автоматических наблюдений в г. Краснодаре. Передвижные средства наблюдения некоторых лабораторий пытаются контролировать выбросы вредных веществ в атмосферу. Стационарные лаборатории по изучению атмосферы постепенно будут оснащаться современной аппаратурой для определения содержания загрязняющих атмосферу примесей. В будущем, очевидно, возникнет необходимость организации центра по сбору и обработке информации, в котором будут анализироваться материалы по источникам выбросов вредных веществ в атмосферу, обобщаться и анализироваться сведения о состоянии загрязнения атмосферы с учетом метеорологических и климатических характеристик территорий края.

Путем постоянного отбора проб воздуха в соответствующих местах и их анализа оценивается атмосфера. Размещение стационарных постов осуществляется совместно с Гидрометом на основании изучения плана города и всего региона, полей концентрации отдельных загрязнителей и метеорологических особенностей конкретных территорий. Стационарный пост, отслеживающий загрязнение атмосферы, располагается на открытой проветриваемой площадке с не-

пылящим покрытием (газон, асфальт, твердый грунт) и должен отражать реальное состояние воздушной среды конкретного района. Посты контроля располагаются также в жилых районах и в местах, наиболее подверженных накоплению вредных веществ. Повышение концентрации загрязняющих веществ нередко отмечается возле неорганизованных источников и в радиусе от них от 10 до 40 высот промышленных труб, поэтому посты контроля населенных пунктов максимально оснащаются автоматизированными системами. В процессе продолжительного мониторинга за состоянием атмосферы выделяются группы постов с близкими значениями концентраций поллютантов, и только затем в каждой группе оставляется по одному наиболее репрезентативному посту.

Стационарные посты в городе дают объективную информацию о загрязнении атмосферы, используемую для оперативного обслуживания природоохранных органов, а также других заинтересованных организаций. Объективное состояние атмосферы города, зависимое от турбулентной диффузии поступающих различных примесей, дает постоянная работа сети постов. Размещение сети наземных стационарных постов для наблюдения за поведением в атмосфере города отдельных загрязнителей основывается на изучении экологических и архитектурных особенностей кварталов с учетом опыта размещения таких объектов у нас и за рубежом. Весьма проблемные вопросы охраны атмосферного воздуха в регионах, упомянутые выше, не обошли и Кубань. В настоящее время в крае делаются определенные шаги для охраны окружающей среды: приняты природоохранные законы, разработана и обсуждается Программа экологической безопасности, а при финансовой поддержке администрации края изучаются наиболее острые экологические проблемы.

Качество атмосферного воздуха на территории края регулярно отслеживают стационарные посты и передвижные лаборатории: в Краснодаре по 19 загрязнителям, в Новороссийске - по 17, в Сочи - по 6, в Белореченске оценка ведется по 7 загрязнителям, в Туапсе - по 4, в Армавире - по 5.

3. Почвы. Непомерные потребительские интересы человека в прошлом и настоящем явились основной причиной чрезвычайно разрушительных процессов в природной среде во всем мире и прежде всего – разрушения почвенного покрова. В степной зоне Краснодарского края в связи с распашкой земель (практически сплошной)

резко сократился в наземных системах видовой и популяционный состав птиц, природных млекопитающих, нативных видов и популяций растений, а в почве резко изменилось соотношение различных групп водорослей, бактериальной флоры и грибов, особенно актиномицетов, сообществ микро- и мезофауны, а в нетронутых природных анклавах (участки речных пойм, склоновые территории и т.д.) остались в основном малопродуктивные высшие растения, грызуны, насекомые; ценные продуценты на таких территориях практически отсутствуют.

Литосфера заметно разрушалась в прошлом под влиянием природных катастроф, но в настоящее время в связи с антропогенным давлением её разрушение ускорилось в тысячи раз. К сожалению, весьма отчетливо протекают явные процессы опустынивания земель в пределах практически всех районов Южного Федерального округа, включая и Краснодарский край. Процессы такого рода включают заметные потери почвами гумуса в связи с развитием эрозионных явлений (водных и ветровых), а постоянное внесение больших доз минеральных удобрений, ускоряющих минерализацию органического вещества, сокращает толщину гумусового горизонта, активно нарушает в нем соотношение C:N, усиливает процессы нитрификации и денитрификации, является причиной сокращения разнообразия и обилия микробных сообществ, ускоряют разрушение глинисто-гумусовых комплексов, выветривание мелкодисперсных глинистых структур, распыление и уплотнение верхнего слоя почвы. Примером ухудшения физико-химических свойств почвы (например, в степной зоне края) является снижение ими инфильтрационного стока дождевой воды и её застаивание на поверхности практически сразу после начала выпадения осадков (Белюченко, 1997; 1998; 2005).

Большие площади земель нарушаются при взрывах породы с целью получения сырья для строительной промышленности (добыча мела, глины, камня и т.д.). После завершения добычи ископаемого сырья проводится рекультивация нарушенной территории, которая по своему качеству обычно не достигает и 10% от изначального состояния. Извлекаемая в крае горная порода (в основном на строительство) составляет миллионы тонн, что в несколько раз превышает массу соответствующих веществ, принимающих участие в естественном круговороте, с одной стороны, а с другой - весьма активно нарушаются естественные круговороты химических элементов, а в

экосистемах также потоки энергии по количеству и направлениям их движения.

Почвы Краснодарского края загрязняются также различными отходами быта и производства в форме организованных и особенно неорганизованных свалок. Экспедициями кафедры общей биологии и экологии КубГАУ установлено в 10 северных районах края до 50 неорганизованных крупных свалок твердых бытовых отходов, строительного и промышленного мусора, занимающих площадь свыше 20 га. В связи с этим в местах нахождения свалок отходов мониторинг почв такой территории включает определение содержания в почве тяжелых металлов, пестицидов, ПАВ, нефти, бензапирен, гелиминтов, микроорганизмов. По уровню содержания этих загрязнителей большая часть почв Кубани пока не представляет опасности для здоровья населения (Белюченко, 2005). Мало исследованы в крае загрязнение ртутью районов бывшей добычи и переработки ртутных руд. Проведенные нами локальные исследования показывают, что отдельные точки в этих районах загрязнены ртутью до 2 и более ПДК (ПДК ртути в почве 2,1 мг/кг). Следует иметь также в виду, что многие загрязнители имеют тенденцию накапливаться в почве, в речных илах.

Таким образом, важнейшим объектом среди всех перечисленных по необходимости рекультивации и сдерживанию загрязнения являются почвы, а разработка мероприятий по поддержанию их экологической чистоты будет основой сохранения здоровья человека через чистоту атмосферы, водных систем и всей биосферы в целом.

4. Поверхностные воды. Мониторинг водных систем выделяется в автономный объект, целью которого является информационное обеспечение управления качеством поверхностных вод края и его отдельных районов. Проектирование мониторинга водных систем основано на принципе единства природных вод, что обуславливает организацию сети наблюдений за их атмосферными, поверхностными и подземными источниками. Объектами мониторинга являются те водные системы, которые имеют большое значение для населения или развития промышленности конкретного города или района. Географически мониторинг водных систем обычно охватывает не только территорию Краснодарского края, но и выходит за его пределы. Большинство водных систем края (степные реки и озера Азовского бассейна и горные реки Черноморского бассейна) достаточно самостоятельны и целостны, и потому каждая из них может рассматри-

ваться как самостоятельная единица. Многие из систем включают источники водоснабжения и станции водоподготовки, системы подачи и распределения воды, водоотведения, канализационные насосные станции, станции очистки сточных вод, системы сбора и отвода поверхностных вод, морские воды (Абакумов, Сушения, 1991).

Наиболее крупным водным объектом в крае является река Кубань с её левосторонними горными притоками, представляющая собой сложный природно-технический комплекс. В крае работает ряд организаций, занимающихся изучением состояния загрязнения её воды и донных отложений в пределах различных городов и станиц. Пункты наблюдений за экологическим состоянием реки представляют собой своего рода кластеры, где систематически осуществляется отбор проб воды для последующей оценки показателей качества природных и искусственных источников, качества пригодности воды для питьевых или для технических целей. В качестве постов наблюдений можно использовать существующие и строящиеся гидрометеорологические посты или станции и посты наблюдения за окружающей средой. Передвижные средства наблюдений представляют собой исследовательские лаборатории, оснащенные современным оборудованием для оценки состояния водных систем экспрессными (например, полевая лаборатория «НКВ»), дистанционными или автоматизированными комплексами; на отдельных участках рек и озер и её водохранилищ для отбора проб применяются различные плавсредства.

Автономные пункты наблюдений представляют собой станции контроля качества воды, выполняющие работу эффективными методами при проведении исследований по Программе мониторинга и при изучении местной специфики состояния водных систем.

Региональная станция осуществляет обработку данных наблюдений за состоянием водной системы в соответствии с Программой локального мониторинга; она оснащена современными лабораториями (гидрохимическими и гидробиологическими) и методами для выполнения комплексных оценок экологического состояния воды и ила конкретных бассейнов. Внедряются также автоматизированные методы отбора проб воды и ила и определения степени их загрязнения. Такие станции ведут также обработку данных соседних пунктов наблюдения, собирают, анализируют и обобщают полученные данные самой станции и относящиеся к ней части сети локальных наблюде-

ний. Станции обеспечивают передачу информации в региональный центр организации мониторинга.

Важнейшей частью регионального мониторинга является полигон наблюдений или отбора проб, где ведутся постоянные периодические измерения количественных и качественных характеристик состояния водных систем. Кафедрой общей биологии и экологии Кубанского госагроуниверситета с 1997 г. по настоящее время проводятся постоянные наблюдения за состоянием воды в реке Кубань в черте города Краснодара, где на семи пунктах наблюдений ежемесячно отбираются пробы воды и ила и один раз в году оценивается состояние растений, животных; в пробах определяется содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов, а также ряда биогенов, включая азот и фосфор.

Качество природных поверхностных вод отслеживается на постоянных створах, где учитывается до 21 гидрохимического показателя. Морская среда по 16 загрязняющим примесям отслеживается на станциях в районах портов Анапа, Геленджик, Новороссийск, Темрюк, Туапсе, Сочи. В г. Темрюке и заливе, а также в гирлях крупных лиманов и взморьях рек Кубани и Протоки оценка воды ведется на ряде станций по 18 показателям.

5. Ландшафтные системы. Наши исследования состояния атмосферного воздуха, воды, почв и растительности в отдельных пунктах края указывают на неравномерность загрязнения его территории различными поллютантами (Белюченко, 2005; 2010). Наибольшие концентрации загрязнителей приурочены к северо-восточным и восточным районам края, что, очевидно, связано с преобладанием ветров этих направлений и основным размещением важнейших источников загрязнения в Волгоградской области, Ставропольском (Невинномысский химзавод) и Краснодарском краях (Белореченский химзавод). Судя по всему, загрязнение воздуха над Кубанью формируется за счет воздушных потоков, перемещающихся в основном в западном направлении в зимний период и в восточном и северо-восточном – весной и летом.

Загрязнение воздушного бассейна Кубани меняется во времени и в пространстве и отличается циклическим ходом концентрации отдельных поллютантов. Если основным источником загрязнителей является энергетическое производство, то максимум их отмечается зимой, а летом – минимум. Бенз(а)пирен и сернистый газ весьма чет-

ко проявляют сезонный характер годовой динамики. По-своему ведут себя тяжелые металлы: при низкой концентрации (например, свинец до 10-12 нг/м³) сезонный ход отсутствует, а при его уровне свыше 30 нг/м³ доля антропогенного загрязнения начинает преобладать. Минимумы и максимумы загрязнителей (например, пыли) связаны с орографией территории и характером подстилающей породы и т.д. Объективная оценка продолжительности временных изменений загрязнителей имеет большое практическое значение. В качестве примера можно взять динамику углекислого газа в атмосфере, где его количество последние 40-50 лет постоянно нарастает.

Хотя промышленность в крае практически замерла и выбросы и сбросы промышленных загрязнителей резко сократились, тем не менее в общем это не снизило загрязнения как атмосферного воздуха, так и растительности, водных систем суши и морских территорий. Объективно санитарно-экологическое состояние как степных, так и притернопорских рек не только не улучшилось, но и ухудшилось (в верховьях горных рек вырублены леса, в бассейнах степных рек распаханы пойменные земли, местами встречаются свалки мусора, многие мелкие производства сбрасывают свои отходы без всякой очистки в степные реки, их притоки и сухие балки).

Почва, как основной мощный динамический и весьма устойчивый компонент ландшафтов, в целом выполняет очень важные функции в развитии биосферы. К сожалению, далеко не всегда в крае удобрения на сельскохозяйственные поля вносятся с учетом потенциальных возможностей устойчивости конкретных почв, их флористических и фаунистических сообществ, способности использования энергии (режим работы оборудования) и сырья (нормы и виды удобрений), что могло бы обеспечить получение в течение многих десятков лет качественного урожая, оптимизировать (а не максимализировать) функционирование почв.

Как показывают исследования состояния почв в степной зоне края, содержание гумуса в верхнем слое снижается ежегодно примерно на 0,1%, или 400 кг/га (Гукалов, 2000). Кроме того, водная и ветровая эрозия уменьшают верхний слой почвы на 0,6 и до 3,0 см ежегодно (до 300 т/га), особенно активно это происходит на склоновых участках и в посевах пропашных культур (подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла). Основными причинами разрушения сельскохозяйственных земель в крае являются: неправильное применение

удобрений, несоответствие технологий выращивания продовольственных и технических культур, направленных на максимальный урожай, что обуславливает падение его качества, а в почвах ускоряются процессы минерализации органического вещества и нитрификации азота, практически минуя их использование беспозвоночными (особенно дождевыми червями), способными переводить часть органического вещества в глинисто-гумусовые комплексы. Иными словами, внесение в почву высоких доз химических ингредиентов способствует усилению их деградации, а не защите. Великий русский агроном А.Т. Болотов еще два столетия назад (во второй половине 18-го века) сформировал основные положения теории минерального питания сельскохозяйственных культур в условиях Европейской России. Знает ли кто из ныне управляющих агрономов об этом учении А.Т. Болотова, разработавшего свои идеи задолго до немецкого химика Либиха?

Агрономам хорошо известно, что в зерне (особенно пшеницы) много фосфора, а в соломе – калия; зерно потребляется в больших городах, а солома после уборки сразу возвращается в почву; нарастание таким образом городского населения нарушает обмен веществ между бытом людей и сельскохозяйственными землями: фосфор с отбросами идет в канализацию, на поле не возвращается, и потому почва от его недостатка истощается. Такая же ситуация складывается с калием и кальцием при выращивании сахарной свеклы и картофеля и т.д. Высокие цены на химические анализы в последние годы резко снизили объективность рекомендаций соответствующих лабораторий. Именно поэтому удобрения, сходные по составу, вносятся на всех площадях. Сюда следует добавить низкий процент бобовых и высокую долю однолетних культур в севообороте, что способствует развитию эрозионных процессов, нарушению соответствия условий среды практикуемых севооборотов, включая создание лесополос, ландшафтное обустройство территорий и т.д. Все это не исчерпывает перечень локальных проблем в пределах Краснодарского края, вызванных хозяйствованием человека в 19 и 20-м веках и особенно за последние 20 лет. Деградация почв и загрязнение рек являются наиболее проблемными в степной зоне края; вырубка лесов в верховьях горных рек и разрушение их русел в низовьях особо обострили проблемы Черноморского побережья.

В лесной зоне края в последние 20 лет идет неприемлемое ни для науки, ни для нормальной практики истребление ценных пород леса, вызывающее изменение гидрологии больших территорий, эрозию почвенного покрова, смену растительности, осыпи, оползни, обвалы, загрязнение горных рек, уничтожение животного мира и т.д.. Спасти леса края – это спасти красоту и богатство Кубани (Белюченко, 2005). В приморской природоохранной зоне строительство курортных атрибутов (гостиниц, ресторанов, кафе и др.) от уреза воды ведет к уничтожению растительности и природных местообитаний животных, развитию эрозионных процессов, осыпей, оползней, обвалов, усилению давления морских волн на береговую часть суши и т.д.

Речные системы всех зон края находятся под постоянным давлением хозяйственной деятельности человека: частые плотины на степных реках, нарушение в их бассейнах водоохранных зон, распашка речных пойм и долин, разрушение берегов, отсутствие прирусловых лесополос и многие другие факторы давления практически привели их к гибели и превратили поймы в болота, заросшие тростником, рогозом, осоками и формациями других растительных видов, по большей части заиленные, консервирующие в иле нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды и многие другие загрязнители. Спасение степных рек – это сохранение почвенного плодородия степной зоны, а спасение горных рек – спасение рекреационной зоны края. Все эти проблемы являются объектами регионального мониторинга.

Большую опасность представляет загрязнение атмосферного воздуха в промышленных городах края – Краснодаре, Новороссийске, Белореченске, Тихорецке и др. Во многих из них в отдельные периоды года концентрация ряда токсикантов превышает установленные санитарные нормы ПДК (Белюченко, 2005). Хотя в последние 20 лет в связи с уничтожением промышленности выбросы в воздух от стационарных источников резко сократились, но зато резко возросли выбросы автотранспорта. Мощными источниками загрязнения являются также предприятия нефтегазодобывающего и нефтехимического комплексов, производство удобрений, энергетика, строительство.

Правовой механизм регуляции экологических проблем в крае совершенствуется (например, все строительные и другие производства проходят экологическую экспертизу, а многие производства, загрязняющие атмосферу, штрафуются), но совершенно отсутствует работа по исправлению экологической ситуации. Однако еще многое

необходимо сделать, чтобы в этой области произошли серьезные сдвиги в сторону улучшения качества воздушного бассейна отдельных территорий.

Создается такое впечатление, что природоохранные органы края призваны выполнять только фискальные функции, а конкретные проблемы изменения среды обитания человека через снижение давления на природную среду их не интересуют. Это вариант тупиковой ситуации.

В целом в крае сложилась тяжелая ситуация с питьевой водой. В реки, водохранилища и озера постоянно сбрасывается большое количество неочищенных стоков, с которыми в водоемы попадают десятки тысяч тонн вредных веществ. Немало небольших рек и балок превращены в сточные каналы. Особенно это свойственно местам размещения свиноводческих ферм, а в некоторых случаях - и свалок. Непрофессиональное, неграмотное хозяйствование проявляется в широком спектре человеческой деятельности – от распашки земель и неправильного применения удобрений и пестицидов до полной безответственности (распашка вдоль склонов, что способствует выносу в речные системы органических веществ, наилка, пестицидов, тяжелых металлов, минеральных веществ и т.д.). Возросшее водопотребление речной воды в степной зоне края существенно повлияло на химизм воды Азовского моря в сторону его рассоления. Однако сохранение природных систем морей и крупных рек, к сожалению, выходит за пределы компетентности края, поскольку затрагивает интересы соседних государств. Требуется также объединение усилий края с другими субъектами федерации, чтобы сохранить чистоту поверхностных водных систем в крае.

6. Отходы производства и потребления. На Кубани для их хранения осваиваются все новые и новые территории, которые занимают окраины городов, станиц, поселков, берега рек и т.д. Некоторые отходы содержат элементы или вещества, являющиеся весьма опасными для живых организмов и загрязняющие основные объекты биосферы - воду, воздух, почву. К сожалению, серьезного внимания этой проблеме в крае долгое время не уделялось, а потому и не велось основательных исследований в этой области. Отходы концентрируются как на суше, так и в водных системах, куда попадают бытовые стоки и атмосферные осадки.

В последние десятилетия в стране освоен ряд технологий по преобразованию отходов (их сжигание, компостирование, получение биогаза и т.д.), но в целом проблема, особенно в крае, остается нерешенной. Некоторые исследования в этом плане велись и в нашем регионе. Например, весьма перспективны результаты опытов в Воронежской области и Ставропольском крае по использованию в сельском хозяйстве отходов фосфорной промышленности в качестве мелиоранта.

Исследователи нашего Университета, изучив физические и химические свойства ряда отходов производства и потребления в лабораторных и вегетационных опытах, доказали возможность их использования для получения агрономически ценных компостов, кардинально улучшающих физические (особенно водные) и химические свойства почвы: обогащают почву полуторными окислами, серой, кальцием, кремнием, повышают ЕКО почвы, улучшают соотношение в ней минеральных и органическую коллоидных частиц, способствуют повышению её плодородия, урожая сельскохозяйственных культур и его качества (повышают содержание белка, фосфора, кальция, микроэлементов, витаминов и т.д.).

Оптимизация физического состояния почв на основе использования промышленных и бытовых отходов может оказаться одним из важных направлений научных и практических разработок их применения в сельском хозяйстве, что будет надежным рычагом улучшения продукции сельскохозяйственных культур, рекультивации территорий, занятых отходами, облагораживания лугов, лесов, рек и в целом биосферы.

Постоянное формирование экологического подхода в развитии земледелия (создание почв с определенными физико-химическими параметрами для организации устойчивого земледелия, ослабление антропогенного давления на биосферу, научные и практические поиски конкретных путей уменьшения влияния человека на почву и водные системы и т.д.) должно стать сегодня одной из приоритетных задач в сельском хозяйстве (Трубилин, 2010).

Среди многочисленных промышленных отходов в нашем крае особый интерес представляет отход Белореченского химзавода фосфогипс, который целесообразно использовать в качестве мелиоранта других отходов. Ученые нашего Университета представили ряд инновационных проектов по использованию отходов различного на-

правления с участием в их составе фосфогипса, включающего практически всю таблицу Д.И. Менделеева; этот отход весьма специфичный в физическом отношении и достаточно активный в химических взаимодействиях с различными субстратами и особенно с почвой.

Немаловажный интерес представляют исследования по преобразованию осадков сточных вод. Если производственные исследования подтвердят результаты лабораторных и вегетационных опытов, то эти осадки на какое-то время заменят недостаток органических удобрений в связи с потерей свиноводства и других направлений в животноводстве. Большой интерес представляют опыты по ускорению подготовки органических отходов животноводства для внесения в почву (не годы, а месяцы), указывающие на возможность сохранения органического вещества и азотных соединений и снижения денитрификации последних.

Проведенные Всероссийские научные Конференции по рекультивации отходов (Краснодар, 2009, 2010) показали большой интерес научной общественности к этой проблеме, послужили организующим началом по объединению усилий ученых в разработке различных направлений рециклинга столь емкой побочной продукции.

7. Основные задачи регионального мониторинга. Современная концепция комплексного мониторинга понимается как система наблюдений за экологическим состоянием ландшафтов, разрушение которых обусловлено сегодня в основном причинами антропогенного характера, а также как система их оценки и прогноза и выработки на этой основе рекомендаций по смягчению давления на отдельные территории завтра и в будущем. Программа регионального мониторинга включает наблюдения за уровнем фонового загрязнения окружающей среды и оценку ответных реакций биологических сообществ и абиотического блока на эти загрязнения (Бондур, Савин, 1992; Белюченко, 1994; 2006).

Организация регионального мониторинга совсем непростая и прежде всего в части её биотической составляющей. Поскольку ландшафты представляют собой сложный комплекс взаимоотношений абиотических и биотических составляющих, то при разработке системы мониторинга для определенных территорий необходимо будет установить четкие критерии, свойственные именно условиям района проведения наблюдений. В абиотическом блоке мониторинга для контроля выделяются приоритетные загрязнители, важные для

конкретной зоны. В перечень загрязнителей включаются для наблюдения такие, которые дадут весомую и в то же время не очень дорогую информацию. Например, потоки приоритетных загрязнителей антропогенного происхождения соизмеримы по массе с геохимическими (природными) или их превышают, и в таком случае эти соединения с сильным воздействием на экологические системы, а также вещества, включающиеся в региональные миграционные потоки объединяют в единую систему наблюдения. Наряду с оценкой количества изучаемых веществ необходимо оценить параметры их миграции по средам (почва – вода).

Обязательным условием работы регионального мониторинга по оценке загрязнения окружающей среды является организация стационарных и экспрессных измерений в конкретных объектах на единой методической основе. В *почве, воде и донных отложениях* некоторых степных рек кафедра общей биологии и экологии нашего Университета ежегодно проводит оценку содержания ряда веществ весной и осенью; в *атмосферных осадках* оценивается степень кислотности, а также некоторые гидрохимические показатели

Важным элементом регионального мониторинга является оценка долговременности возможных изменений в состоянии биотического блока, что определяет продолжительность его ведения. Система мониторинга в крае, на наш взгляд, должна включать следующие основные направления со специализированной программой: сухопутное степное, сухопутное горное, пресноводных систем и рекреационной зоны. В качестве фоновой территории следует выделить Кавказский государственный биосферный заповедник, где мониторинг осуществляется по полной программе, включая основные составляющие ландшафтов. Координатором по проведению мониторинга края, пока не организована более действенная система контроля окружающей среды, должна выступать лаборатория мониторинга природной среды, в обязанности которой входит выпуск (посезонных, полугодовых или годовых) бюллетеней или информационных листов о состоянии природной среды в регионе. Завершением определенного этапа мониторинга территории является экологический проект, ежегодно корректируемый с учетом результатов моделирования и прогноза развития системы. В этой связи важной частью регионального мониторинга является именно блок моделирования и прогноза экологического развития отдельных ландшафтов.

8. Формирование и оценка результатов информации. Качество аналитической информации непосредственно зависит от правильности выбранных методов наблюдений, контроля и организации модели той или другой системы, а также степени профессионализма выполнения всех уровней работ, завершающих Программу экологического мониторинга и составляющих основу для принятия составляющих решений. При выборе методов исследования (особенно наблюдения и контроля) особое внимание обращается на реальные возможности коллектива и адекватность выбираемых методов, цели и задач исследования, что обеспечивает получение объективной и достоверной информации.

Выделяют два типа информации экологического мониторинга: первичную и вторичную. К первичной информации относят количественные материалы прямых и косвенных наблюдений, составляющих банк данных, количественно оценивающих экосистему или её отдельные блоки. Ко вторичной информации относятся расчетные данные, вытекающие из математического анализа первичной информации. Бесспорно то, что допущенные ошибки при формировании первичной информации не могут быть скорректированы в процессе обработки вторичной информации и сказываются на качестве последней.

При контроле качества полученной информации анализируют чувствительность и предел нарушения аналитических методов, правильность измерений и их воспроизводимость. Чувствительность методов определяется способностью приборов реагировать на определенные невысокие концентрации того или другого элемента в анализируемой пробе. Точность методов анализов адекватна пониманию точности в метрологии и включает правильность и воспроизводимость результатов, чувствительность прибора и предел обнаружения им различных элементов, оцениваемых средней выборочной и выборочным средним квадратических отклонений.

Предел обнаружения представляет собой надежно определяемое наименьшее значение концентрации элемента. Правильность измерений оценивается близостью полученного среднего и настоящего показателя исследуемого параметра (погрешность измерений приближается к нулю). Воспроизводимость представляет собой степень близости параллельных определений искомого параметра, оцениваемой величиной случайной погрешности.

Все используемые методы анализа проходят метрологическую аттестацию. При игнорировании этого правила разные аналитические лаборатории в разных местах края и страны будут получать совершенно несопоставимые количественные данные, что практически исключает возможность сопоставления и объективного анализа, а также, что самое важное, принятие ответственных решений практического плана и использование обобщенных данных для построения моделей и разработки прогноза.

Для оценки объективности какого-либо этапа исследований при организации и проведении экологического мониторинга используют методы описательной статистики (вычисления средней выборочной, выборочного среднего квадратического отклонения), дисперсионный и регрессионный анализы. Последние используются чаще при статистически малом отклонении в распределении ошибок от нормального закона распределения, проверяемого с помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса, и критерия Пирсона, приведенных во многих руководствах по статистике. Если количество измерений менее 30, самым надежным критерием соответствия распределения нормальному закону служит критерий Уилкса и Шапиро.

Воспроизводимость результатов любых методов анализа оценивается по варьированию параллельных определений, ограничением для которого являются материалы о природном варьировании количественных показателей отдельных свойств какого-либо блока экосистемы. При определении показателей широко варьирующих природных условий можно подобрать методы, которые позволяют свести среднее квадратическое отклонение к половине (1/2) варьирования природного показателя. Выборочное среднее квадратическое отклонение, указывающее на случайный разброс параллельных определений, рассчитывается по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{x_i - x}{n - 1}},$$

где x_i – единичный результат; x – средний результат, n – число определений.

Метрологический контроль качества контрольных образцов ведется на основе использования государственных (ГСО) и отраслевых (ОСО) стандартных образцов, прочитываемых и аттестуемых по оп-

ределенному ГОСТу с указанием истинных значений показателей общего содержания химических элементов или их соединений.

Внутрилабораторный контроль осуществляется через регулярный повторный анализ ранее проанализированных в лаборатории образцов с определенными средними значениями показателей (x_i), а относительное среднеквадратическое отклонение результатов в % определяется формулой $S_r = \frac{S}{x} 100\%$.

Различие результатов двух параллельных анализов не может превышать удвоенную среднеквадратическую ошибку расхождения данных ($2S_r$), что и является уровнем допустимых расхождений при контроле качества анализов. Варьирование данных любого метода не является величиной постоянной в диапазоне определяемых показателей (чем ниже значение показателя, тем сильнее его варьирование).

Выборка (число проб) объективно характеризует контролируемую партию во всем диапазоне изучаемых показателей и влияющих на них факторов. Действительное расхождение между двумя параллельными данными (первичным и контролем) в относительных единицах можно определить по уравнению $D = \frac{C_1 - C_2}{C_{cp}} 100\%$ (C_1 – больший

результат, C_2 – меньший результат, C_{cp} – средний результат). Величину реального расхождения сравнивают с допустимым уровнем. Проверка будет удовлетворительной при отклонении от допустимых показателей не выше 7% от количества проанализированных проб.

Большинство изменений в химических анализах считаются косвенными, т.е. непосредственно измеряемой величиной в анализе является аналитический сигнал (y) (например, оптическая плотность в колориметрическом анализе, интенсивность спектральной линии в эмиссионном анализе полярографической волны). Концентрацию химического вещества (x) определяют по аналитическому сигналу и показателям концентрации, которые обуславливаются математической зависимостью, именуемой градуировочной функцией: $y = f(x)$, первой производной которой является чувствительность, устанавливающая связь между аналитическим сигналом и концентрацией вещества.

Большим разнообразием отличается вторичная информация, в которую включаются результаты сопоставления исходных и измененных в процессе антропогенного воздействия данных (удобрения, орошение, засоление, загрязнение воздуха, почв и воды). Сопоставления сводятся к оценке разности сравниваемых величин и оценке их статистической значимости. Ко вторичной информации можно отнести связи между изучаемыми показателями с целью установления зависимости между ними и возможными изменениями прогноза, что определяется корреляционным, регрессионным и другими формами анализов. Однако, наибольшими возможностями в обобщении и анализе полученных данных обладает математическое моделирование природных процессов различного уровня, что имеет чрезвычайно важное значение для развития экологического мониторинга.

9. Моделирование развития ландшафта. Разработка модели экосистемы преследует, с одной стороны, прогностические цели, диктуемые практической значимостью конкретного объекта, а с другой, - познавательные. Понять закономерность функционирования такой сложной системы, как, например, агроландшафт в северной зоне края, без построения и исследования серии моделей нельзя. Создание модели конкретной системы позволит исследовать влияние на экосистемы разных уровней токсичных соединений и изменений погодных условий в вегетационный период. Нагрузки токсичных соединений, превышающие ПДК, нередко приводят к снижению качества продукции и к повышению заболеваемости людей. Поэтому разработка модели конкретной системы должна базироваться на её экологической основе.

Разрабатываемая модель представляет собой определенное упрощение и схематизацию оригинала. Крайне важно при интерпретации полученных результатов иметь в виду степень упрощений и связей между составляющими ландшафта. Модель агроландшафта учитывает только самые крупные составляющие, не обращая особого внимания на микробное население почв, пресных водоемов, бентос и фитопланктон последних и т.д. Такое допущение может быть оправданным в первом приближении, поскольку роль исключенных составляющих агроландшафта в формировании биомассы не определяется. Пространственная сетка модели по горизонтали такова, что по деталям она превосходит сетку ведущихся производственных испы-

таний. Более густая сетка не позволит верифицировать модель (Гильманов, Базилевич, 1983).

Модель рассчитана на воспроизведение только тех эффектов и только тех масштабов природных явлений, которые реально наблюдаются существующими полигонами полевых и лабораторных исследований. Исходя из такого подхода в модели не рассматриваются: суточный ход изменений биотических и абиотических составляющих агроландшафта, локальные неоднородности содержания органического вещества, концентрации тяжелых металлов и других загрязнителей. Неполнота и неравномерность наблюдений за экологическим состоянием ландшафта заставляет отказаться от воспроизведения в модели тех явлений, которые связаны с изменениями погодных условий (например, влияние ветра на состояние растительности), и использовать только усредненные величины с учетом их сезонного хода.

В составе модели детальное описание диктуется необходимостью получения информации о специфичности формирования и роли отдельных групп организмов в трансформации экосистемы. Существующие сведения о зоо- и микробоценозе включаются в модель зооценоза в этой зоне, но в общей модели они представлены общей массой в виде единого целого, что определяется необходимостью поддержать баланс точностей отдельных компонентов модели. Бессмысленно подробно описывать одну часть модели общей системы при схематичном описании другой. Абиотическая часть модели обязательно включает азотный и фосфорный баланс и баланс органического вещества и увлажнения и соотношение C:N, поскольку в настоящее время развитие агроландшафта лимитируется именно этими составляющими.

Основу практической модели и прогноза развития ландшафта составляет её математическая формулировка. В этой связи в модели учитываются следующие процессы, имеющие конкретные количественные характеристики: гумусонакопление, трансформация органического вещества, динамика азота и углерода, накопление ТМ, пестицидов и т.д. Состояние ландшафта для всех временных периодов описывается полями концентраций N, P, K, фитомассы естественных угодий, агроценозов, гумуса в почве, биомассы и т.д. Все процессы описываются с помощью системы уравнений частных производных. Воспроизведение процессов формирования биомассы в агроланд-

шафте рассматривается в общем плане как результат его функционирования. Воспроизведение в модели трансформации веществ в системе в виде схемы указывает на основные их направления в перемещении и малых круговоротах отдельных веществ и элементов. Проверка модели по результатам наблюдений осуществляется путем верификации через сверку модели с реальными данными.

Экологические катастрофы характерны для всей истории развития биосферы Земли (землетрясения, извержения вулканов, опускания и поднятия суши и т.д.). Если в прошлом они носили в основном абиотический характер, то в настоящее время нередко переходят на биотический уровень глобального плана. Современный мир, как никогда, с тем уровнем загрязнения биосферы, который ей свойственен сегодня, весьма активно приближается к экологической катастрофе на биотическом уровне не только регионального, но и глобального масштаба. Именно в таком плане, исходя из уже известных фактов, имевших место в прошлом (30-е годы XX века) и настоящем (2002, 2010 гг.), и следует рассматривать завтрашний день любого крупного региона, включая и Краснодарский край. Многие экологические проблемы и обусловливаемые ими катастрофы имеют всеобщий характер и потому не стоит так уж печся о сохранении природы на уровне региона. Региональные катастрофы закладывают проблемы глобального уровня, ускоряя и усиливая развитие глубинных процессов. Остановимся на наиболее важных экологических проблемах края, управление которыми невозможно осуществлять без организации реального регионального мониторинга, объективных критериев и механизмов его осуществления.

Оценка эффективности и социально-экономических последствий реализации Программы регионального мониторинга производится на основе системы критериев, которые представляют собой качественные характеристики и описание основных особенностей экологического неблагополучия (табл. 8).

Выделенные признаки позволяют рассматривать экологически неблагоприятную ситуацию на территориях как свершившееся бедствие, либо как надвигающуюся угрозу экологического кризиса; в обоих случаях имеются в виду лишь такие территории, где воздействие антропогенных факторов имеет хронический характер с периодом воздействия не менее одного года. Анализ системы критериев обеспечит мониторинг реальной динамики изменений состояния

ландшафтных систем за оцениваемый период с целью уточнения или корректировки в методах и способах выполнения поставленных задач. Оценка реализации регионального мониторинга производится исполнителями мероприятий ежегодно с представлением информации о достигнутых результатах координатору Проекта и корректировкой последнего с целью стабилизации функционирования системы.

Таблица 8. Критерии экологического состояния агроландшафта

Показатель	Экологическое неблагополучие:	
	экологическое бедствие	экологический кризис
Изменение окружающей среды	Глубокое необратимое	Устойчивое отрицательное
Состояние природных ландшафтов	Разрушение ландшафтов (нарушение природного равновесия, деградация флоры и фауны, нарушение генофонда, потеря плодородия почвы, загрязнение поверхностных водных систем)	Необратимое изменение ландшафтов (уменьшение видового разнообразия, исчезновение отдельных видов растений и животных, потеря генофонда, развитие эрозии почв и их опустынивание, заболачивание речных систем)
Качество сельскохозяйственной продукции	Содержание витаминов и микроэлементов в продуктах на 25-30 % ниже нормы	Содержание белков, витаминов и микроэлементов в продуктах составляют ниже 50 % от нормы
Здоровье населения	Ухудшение здоровья населения	Угроза жизни для населения

Исполнители первоочередных мероприятий системы мониторинга, финансирование которых осуществляется краевыми и местными бюджетами, а также за счет внебюджетных источников, определяются на тендерной основе на срок от трех до пяти лет. План осуществления отдельных разделов мониторинга должен включать следующие информационные материалы и виды контроля, проводимые ежегодно:

- бумажный и электронный варианты отчета о результатах годичного мониторинга в целом по региону, обобщающие результаты работы отдельных исполнителей;
- ежегодное подведение итогов мониторинга;

- ежегодная оценка научных и практических результатов выполнения Программы мониторинга;
- корректировка экологических проектов выполнения работ на следующий год;
- экологический аудит выполнения годовых планов мониторинга и их всесторонняя оценка (экологическая, экономическая, социальная и т.д.);
- публикация результатов годичного мониторинга и их широкое обсуждение как форма конкретного участия общественности в выполнении региональной Программы мониторинга.

Успех реализации Программы регионального мониторинга зависит от поддержки её мероприятий населением, что будет определяться полнотой и качеством проводимой информационно-разъяснительной работы через печатные и электронные средства массовой информации, а также путем проведения научно-практических конференций и семинаров.

10. Экологическое управление ландшафтными системами.

В условиях урбанизации проблемы взаимодействия человека и окружающей среды заметно обостряются. Для успешного решения этих проблем необходимо создание специальной системы экологического управления регионом. В крае ведутся работы по организации регионального и местных центров экологического мониторинга. Наблюдения за состоянием природной среды в крае проводятся подведомственными системами экологического мониторинга. Оценка экологической ситуации в крае осуществляется путем сбора, накопления, обработки и обобщения информации, получаемой в рамках регионального мониторинга, проводимого отдельными организациями и предприятиями (Белюченко, 1994).

Анализируя специфику мониторинга в крае, можно заключить, что созданная система управления за состоянием окружающей среды в реальном времени, включая почву, водный и воздушный бассейны, преследует две цели: 1) поддержание на определенном уровне состояния окружающей среды и 2) создание экологической обстановки, благоприятствующей здоровью населения. Общую структуру системы экологического управления регионом можно условно разделить на три блока по специфике основных сред - воздух, вода, почва. Координатором и руководителем складывающейся системы управления по идее выступает Департамент экологии края.

Экологическое управление окружающей средой в крае осуществляется через воздействие на предприятия таким образом, чтобы характеристики качества сред, которые они эксплуатируют (изымают), приближались бы к эталону. Экологическое управление окружающей средой осуществляется через изменение системы управления (совершенствование технологического процесса производства, качества сырья, контролируемых загрязнителей и т.д.), а также системы взаимодействия отдельных объектов в процессе их функционирования.

С целью выработки системы экологического управления необходима информация по характеристике эталонов среды за конкретный отрезок времени, а также описание основных объектов (их пространственно-временные экологические характеристики, специфика связей и т.д.). Корректировка экологической системы управления окружающей средой базируется на основе результатов регионального мониторинга и прежде всего сети наземных измерений, основная часть которых формировалась и работала в прошлом под эгидой Гидромета.

Наблюдения за загрязнением атмосферы и водных систем имеют единую информационную базу, которая составляет основу экологического управления блоками данных в режиме реального времени. Самым достоверным источником информации о состоянии окружающей среды и выбросов предприятий являются инструментальные средства. Поскольку нереально установить датчики на все источники выбросов (особенно автотранспорт), то при оценке загрязнения региона осуществляется сочетание инструментальных, аналитических и экспрессных способов мониторинга.

Мониторинг источников выбросов и среды, испытывающей их давление, строится по централизованному и региональному принципам. Централизованное проведение мониторинга всего края предусматривает обработку информации для мониторинга окружающей среды и источников загрязнения. Региональный мониторинг предполагает обработку информации региональными отделами Департамента охраны природы. Высокая стоимость обработки материала, нехватка квалифицированных кадров для обработки данных, для разработки моделей и прогнозов, выработки предложений и рекомендаций обязывают вести централизованную систему сети наземного контроля. Целесообразность создания различных центров обработки ин-

формации для окружающей среды и выбросов предприятий следует из необходимости взаимного контроля результатов наблюдения с целью поддержания надежности системы мониторинга.

Сеть наземных измерений является важным звеном системы экологического управления состоянием окружающей среды. Эта сеть служит основой для получения сведений о качестве среды и связей объектов и состоит из блоков наблюдения и контроля (мониторинг среды) и оценки уровней связи (мониторинг выбросов), для которых предусматриваются стационарные и передвижные инструментальные средства и, безусловно, обрабатывающий центр. На определенный временной период определяется сеть регионального мониторинга на 4-5 лет и организуется его качественное выполнение с ежегодным анализом полученных результатов (табл. 9).

Таблица 9. Предложения по реализации Программы
регионального мониторинга

Наименование мероприятий	Ожидаемые результаты
Мониторинг состояния бассейна реки Кубань	Снижение антропогенного давления на ландшафты реки Кубань
Формирование сети гидрохимических наблюдений и проведение мониторинга рек степной зоны края	Снижение загрязнения природных водных систем степной зоны.
Оценка влияния горной реки на прибрежную рекреационную зону Черного моря (на примере реки)	Снижение загрязнения рекреационной зоны и выработка мероприятий по снижению её эвтрофикации
Мониторинг состояния атмосферного воздуха в городах: Краснодар, Сочи, Туапсе, Новороссийск	Состояние атмосферного воздуха в промышленных городах и выработка рекомендаций по снижению его загрязнения
Мониторинг мест размещения свалок отходов на Черноморском побережье	Оценка давления свалок на поверхностные и грунтовые воды, почвы и подстилающие породы, атмосферный воздух и растения побережья
Мониторинг развития оползневых процессов (Апшеронский район)	Поддержание устойчивости ландшафтов
Мониторинг состояния почв богарной зоны развития агроландшафтов	Поиски путей снижения загрязнения почв и повышение их продуктивности
Расширение площадей полезащитных лесных насаждений в севооборотах	Защита почв от ветровой эрозии; оптимизация состава лесных полос
Залесение прибрежных полос рек степной зоны	Снижение заиления, эвтрофикации и загрязнения рек

Осуществление регионального мониторинга предусматривает сочетание инструментальных и аналитических методов контроля. К сожалению, на Кубани точки измерения уровней загрязнения и выбросов размещены неравномерно, а состав измеряемых параметров и частота их измерения изменяются в пространстве и времени; исполнители не всегда добросовестны и не всегда пользуются аттестованными методиками, и поэтому далеко не всегда их данные могут быть корректными и достоверными.

Сегодня уже в пути XXI век, но сколько-нибудь существенной подвижки в лучшую сторону в отношениях человека и природы пока не просматривается. Идут активные дискуссии по поводу развития промышленности, научно-технического прогресса, что остановить практически невозможно. Складывается такое впечатление, что человек на этом свете живет последний день и поэтому старается взять от природы все и ничего не оставить ей. Тезисно система регионального экологического мониторинга должна помочь человеку выйти из столь нелегкой ситуации в охране окружающей среды через решение следующих задач:

1. Промышленность в крае необходимо развивать, но только при соблюдении интересов природы и человека.
2. Разумно распределять по территориям региона новые производства, избегая их концентрации в одном месте.
3. Содействовать разработке малоотходных и безотходных производств.
4. Экономически заинтересовать промышленность в природоохранной деятельности.
5. Поднять экологическую и производственную ответственность пользователей природных ресурсов.
6. Поднять качество всех видов хозяйственной деятельности.
7. Организовать систему регионального мониторинга ландшафтных систем как средство оптимизации взаимодействия человека и природной среды.
8. Вести активную разъяснительную работу среди населения во всех СМИ о необходимости ежедневной защиты природы каждым человеком.

Таковы общие проблемы организации и ведения регионального мониторинга, включающего принципы глобального мониторинга, а также оценке основных составляющих ландшафтных систем.

Глава 16. Мониторинг Краснодара и Краснодарского края

1. Общая характеристика региона. В качестве примера практического использования мониторинга на муниципальном и региональном уровнях остановимся на практических подходах его осуществления на примере Краснодара и Краснодарского края. Кубань является одним из крупнейших урбанизированных регионов страны. Здесь на площади, занимающей всего 0,3% территории страны, проживает каждый тридцатый гражданин России – свыше 5 млн человек.

Краснодарский край расположен в южной части России, занимая западную часть Кавказа и Предкавказья. Близость Главного Кавказского хребта, Черного и Азовского морей и незащищенность территории края от ветров с востока определяют специфичность и разнообразие его условий.

Климат равнинной части Краснодарского края характеризуется как умеренно теплый с неустойчивым увлажнением. Продолжительность солнечного освещения доходит до 2400 часов в год, суммарное количество солнечной радиации, поступающей на поверхность почвы составляет около 120 ккал/см², а сумма эффективных температур (>10°С) – около 3500°. Продолжительность безморозного периода колеблется по годам и в среднем составляет 270–300 дней. Относительная влажность воздуха широко варьирует в течение года: наименьшее её значение отмечено в июле–августе (60–75%), а в отдельные дни влажность опускается до 20%, а наибольшее её значение приходится на осень и раннюю весну (до 90% и выше).

Южная часть Краснодарского края занята северными и южными окраинами Главного Кавказского хребта и его отрогами (от г. Анапы до горы Фишт). По физико-географическому районированию регион относится к Крымско-Кавказской стране горной области

Большого Кавказа. Главный Кавказский хребет располагается в зоне огромного динамометаморфизма, обусловленного крупными тектоническими движениями, которые временами проявляются и в настоящее время. Климат побережья и среднегорной части этого района средиземноморский (теплая зима с положительными температурами. Зимой часто наблюдаются сильные северные ветры; лето жаркое, температура июля составляет +24°C (максимум до +35°C). Зима дождливая, лето – умеренно дождливое. Осадков выпадает в среднем по краю от 600 до 800 мм в год (больше на юге, меньше на севере). Для высокогорной зоны характерно очевидное преобладание западно-восточного переноса атмосферных масс. Равномерное выпадение осадков в течение года отмечается в горной зоне.

Почвы представлены в равнинной части выщелоченными черноземами, содержащими около 3% гумуса, сформированными на лессовидных суглинках. В среднегорной провинции распространены дерново-карбонатные горнолесные бурые почвы. В степной зоне преобладают черноземы обыкновенные.

Растительность края представлена фитоценозами с весьма широким спектром видового разнообразия – от степных на севере до горнолесных на юге, от плавнево-литоральных на западе до степных и лесостепных на востоке. Каждый район края достаточно специфичен в формировании растительных группировок. Например, Восточное Приазовье, представляющее собой плавнево-литоральный ландшафт, образует уникальную природную экосистему, где функционирует гиперпространство экологических факторов – от полупустынь до переувлажненных территорий, от солончаков до хорошо промытых речных грунтов. Растительный покров насчитывает свыше 3300 видов, относящихся к 115 семействам высших споровых, голо- и покрытосеменных растений нативной флоры, узловым формированием которой является флористический комплекс, включающий псаммофиты, степную и луговую растительность, в составе которой около 60 эндемиков. Плавнево-литоральные ландшафты испытывают сильнейший антропогенный прессинг, вызванный загрязнением акваторий обоих Кавказских морей, развитием рисоводства, зарегулированием водных систем и т.д.

В последние годы просматривается предкризисная ситуация в экосистеме Черного моря, что заставляет отнестись с большим вниманием к изменениям, происходящим здесь. К сожалению, ведущие

ся исследования Черного моря до сих пор мало скоординированы единой Программой. Международная Программа по защите Черного моря, в которой участвует и Россия, является первой попыткой действенного объединения усилий по мониторингу и охране Черного моря.

Согласно данным Государственного Комитета по охране окружающей среды Краснодарского края в настоящее время в атмосферу региона ежегодно выбрасывается свыше 200 тыс. т вредных веществ (1990 г. в атмосферу было выброшено около 280 тыс. т загрязнителей). В Краснодаре выявлено около 10 зон экологического риска, где загрязненность воздуха токсичными веществами существенно превышает уровни ПДК.

Весьма серьезная обстановка складывается в Краснодаре (особенно в летний период) в связи с повышенным содержанием в воздухе формальдегида, пыли, фенола и бенз(а)пирена, что обуславливается большими выбросами автотранспорта, ТЭЦ, мясокомбината и т.д.

Наблюдения за состоянием атмосферного бассейна основных городов края показали, что суммарное содержание таких загрязнителей, как пыль, оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, фенолы, формальдегид, бенз(а)пирен и некоторые тяжелые металлы, суммарно превышает норму в 4 раза (1996 г). Диоксид азота, формальдегид, пыль, бенз(а)пирен загрязняют атмосферу Краснодара со значительным превышением норм. Разовые выбросы пыли и оксида азота превышают в 25 и 17 раз допустимые нормы. Основным загрязнителем атмосферы города является транспорт (на его долю приходится до 3/4 всего загрязнения). В последние годы в атмосфере города отмечается повышенное содержание диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, сероводорода и формальдегида, что связано с увеличением эмиссии вредных веществ в основном от передвижных источников (авто- и железнодорожный транспорт). Уровень загрязнения атмосферы в Краснодаре временами в 2–3 раза превышает норму. Свою лепту в загрязнение города вносят, наряду с автотранспортом "Роснефть", ТЭЦ, ДСК и другие предприятия.

2. Организация мониторинга. Как видим, в городах края (на примере Краснодара) проблемы взаимодействия человека и окружающей среды заметно обостряются. Для успешного решения этих проблем необходимо создание специальной системы управления. В крае ведутся работы по организации регионального и местных цен-

тров экологического мониторинга. Наблюдения за состоянием среды в крае осуществляются его подведомственными системами. Оценка экологической ситуации в крае осуществляется путем сбора, накопления, обработки и обобщения информации, получаемой в рамках экологического мониторинга организациями и предприятиями.

Качество атмосферного воздуха на территории края регулярно отслеживают: в Краснодаре два стационарных поста (оценка ведется по девятнадцати загрязнителям), в Новороссийске три поста наблюдения (по семнадцати загрязнителям), в Сочи два поста (по шести загрязнителям), в Белореченске один пост (по семи загрязнителям), в Туапсе один пост (по четырем загрязнителям), в Армавире один пост (по пяти загрязнителям).

Качество поверхностных вод контролируют на 23 природных объектах в 43 постоянных створах (31 наблюдение), на которых учитывается до 21 гидрохимического показателя.

Морская среда по 16 загрязняющим примесям оценивается на 29 станциях в районах портов Анапа, Геленджик, Новороссийск, Темрюк, Туапсе, Сочи. В г. Темрюке и заливе, а также в гирлях крупных лиманов и взморьях рек Кубани и Протоки оценка воды ведется по 18 показателям на восемнадцати станциях.

Контроль естественной радиоактивности осуществляют 32 метеостанции, кислотность осадков отслеживается в девяти населенных пунктах, Кавказский биосферный заповедник осуществляет программу комплексного фонового мониторинга. Состояние земельных ресурсов контролирует Комитет по земельным ресурсам и землеустройству. Остаточные количества пестицидов, тяжелых металлов и радиоактивных веществ определяются на реперных площадках в 10 районах центральной и южной зон края при экологической оценке земель; применение минеральных удобрений контролируется Государственным центром агрохимической службы "Краснодарский". Учет ежегодного применения пестицидов по районам края (формы и количество) ведет Краевая станция защиты растений "Краснодарская". Состояние пляжей и коренного берега отслеживают семь региональных контрольно-эксплуатационных станций СПНО "Краснодарберегозащита". Службы государственного санитарно-эпидемиологического надзора постоянно отслеживают качество питьевой воды, поверхностных вод (в местах водосбора и общественного водопользования), пищевых продуктов, атмосферы, уровней

шума, вибрации, активности электромагнитных и иных видов излучения (эти наблюдения не постоянные и в основном не регламентированные). Кубанское бассейновое водохозяйственное управление ведет учет и оценку состояния малых рек, наводнений, подтоплений и водной эрозии в крае. Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора осуществляет наблюдения, анализ и оценку по медико-демографическим показателям состояния здоровья населения. Управление "Кубаньрыбвод" и АзНИИРХ ведут учет запасов и вылова промысловой рыбы по видам.

Кубанская госкомпания минеральных ресурсов и геологии ведет учет запасов и добычи полезных ископаемых в крае. Краснодарское управление лесами осуществляет учет лесного фонда, лесовосстановления и облесения прибрежных полос малых рек, оценку состояния лесов края.

Анализируя систему мониторинга в крае, можно заключить, что созданная система управления состоянием окружающей среды в реальном времени, включая почву, водный и воздушный бассейны, преследует две цели: 1) поддержание на некотором стабильном уровне состояния окружающей среды; 2) создание экологической обстановки, благоприятствующей здоровью населения. Общая структура системы управления делится соответственно по трем блокам среды – воздух, вода, почва. Координатором и руководителем складывающейся системы управления выступает Департамент экологии. На объектах первого типа предусматривается изъятие воздуха и почвы из окружающей среды, использование их в технологических процессах и затем возврат в окружающую среду с количественными и качественными изменениями (промышленные и бытовые предприятия, теплоэлектростанции, урбозастройки).

Объекты второго типа (гидроэлектростанции, городские свалки и т.д.) частично изымают ресурсы из среды, но объемы ресурсов в сравнении с первой группой незначительны. Однако возвращаемые в среду ресурсы (например, отравление воздуха испарениями свалок) сильно влияют на ее качество.

В плане воздействия на предприятия управление окружающей средой в крае осуществляется таким образом, чтобы характеристики качества сред, которые они эксплуатируют (изымают) приближались бы к эталону. Управление окружающей средой осуществляется через изменение структуры объекта управления (изменение технологиче-

ского процесса объекта, его географического положения, сокращение и добавление объектов), изменение характеристик связи объектов.

С целью выработки системы управления необходима следующая информация: характеристика эталонов среды за некоторый период времени и описание объектов (пространственно-временные характеристики, характеристики связей, экономические показатели и т.д.).

Корректировка Программ управления окружающей средой базируется на системе экологического мониторинга и, прежде всего, на сети наземных измерений, основная часть которых формировалась и работала под эгидой Гидромета. Наблюдения за загрязнением атмосферы и водных объектов должны иметь единую информационную систему, которая составила бы основу системы управления базами данных в режиме реального времени.

Как было отмечено ранее, сеть наземных измерений является важным звеном системы управления окружающей средой. Эта сеть служит основой для получения сведений о качестве среды и связей объектов и состоит из пунктов наблюдения и контроля сред (мониторинг среды – МС) и оценки уровней связи (мониторинг выбросов – МВ).

Самым достоверным источником информации о состоянии окружающей среды и выбросах являются инструментальные средства. Поскольку нереально установить датчики на все источники выбросов (особенно автотранспорт), при оценке загрязнения региона осуществляется сочетание инструментальных и аналитических средств мониторинга.

Мониторинг источников выбросов и среды, испытывающей давление выбросов, строится по централизованному и региональному принципам. Централизованное проведение мониторинга всего края предусматривает обработку информации для мониторинга среды и выбросов Росприроднадзором и Ростехнадзором. Региональный мониторинг предполагает обработку информации региональными комитетами охраны природы. Высокая стоимость обработки материала, нехватка высококвалифицированных кадров для обработки данных и разработки моделей и прогнозов и т.д. обуславливают введение централизованной системы наземного контроля. Необходимость создания различных центров обработки информации для среды и выбросов

следует из необходимости взаимного контроля результатов наблюдения с целью поддержания надежности системы мониторинга.

Сеть наземных измерений включает мониторинг среды и выбросов, для которых предусматриваются стационарные и передвижные инструментальные средства и, безусловно, обрабатывающий центр. Проведение мониторинга предусматривает сочетание инструментальных и аналитических методов измерения. К сожалению, на Кубани точки измерения уровней загрязнения и выбросов размещены неравномерно, а число измеряемых параметров и частота их измерения изменяются в пространстве и времени.

3. Наблюдение за атмосферой. Система мониторинга атмосферы Кубани определяет проведение непрерывных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и за метеорологическими условиями; предусматривается также санитарно-гигиеническая оценка качества воздуха, чтобы принять меры по предотвращению ущерба здоровью населения края и его природе. Для мониторинга атмосферы нужна следующая информация: эталоны качества воздушного бассейна (нормы ПДК), состояние воздушного бассейна (включая метеорологические характеристики и характеристики загрязнения воздуха на территории края) за отдельные промежутки времени, уровни выбросов вредных веществ в атмосферу, и степени загрязнения воздуха с учетом прогноза погоды, изменения условий климата и специфики выбросов.

Среди задач, выполняемых наземными наблюдениями, следует выделить: непрерывные наблюдения за загрязнением атмосферы источниками выбросов вредных веществ и метеоусловиями в крае и отдельных регионах; контроль состояния атмосферы, включая аварийные залповые выбросы и учет метеоусловий; прогнозирование состояния загрязнения атмосферы с учетом прогноза климатических характеристик и выбросов вредных веществ; выработка рекомендаций по улучшению состояния атмосферы в различные периоды, оценка проводимых воздухоохраных мероприятий, программ, проектов, направленных на улучшение состояния атмосферы.

Важными объектами подсистемы мониторинга атмосферы являются источники вредных выбросов (стационарные и передвижные), качество воздуха в различных районах края и промышленных городах. Источники выбросов в крае распределены неравномерно, и они заметно различаются по объему и характеру выбросов (высота,

скорость выхода и температура выбрасываемых газов). На крупных дымовых трубах необходимо установить датчики автоматического контроля выбросов, которые могут поставлять сведения непосредственно в центр сбора и обработки информации.

Система мониторинга предусматривает организацию банка информации о выбросах, куда необходимо заносить сведения об источниках и нормативах для каждого из них, а также материалы инструментального контроля выбросов. Краевой комитет накопил опыт организации такого банка сведений. Загрязнение атмосферы на территории промышленных предприятий и в их санитарно-защитной зоне оценивается в основном по выбросам низких и неорганизованных источников. Контроль загрязнения атмосферы воздуха на территории самого предприятия является заботой его руководства, поскольку оно обязано обеспечить безопасные условия труда своих работников при постоянном контроле санитарно-эпидемиологической службы (СЭС).

Степень загрязнения атмосферы края зависит от расположения источников выбросов и характеристики почвенного и растительного покрова. Например, при расчетах уровня загрязнений районов края следует выделять промышленные и агроландшафтные зоны, а в городах – промышленную и жилую зоны, учитывать плотность и этажность застройки. Следует учитывать также лесопарковые и зеленые зоны, поскольку они активно улучшают атмосферу.

Таким образом, в состав сети мониторинга атмосферы входят: пункты наблюдений, стационарные и передвижные посты наблюдений, стационарные и передвижные лаборатории для анализа проб атмосферного воздуха, центры сбора и обработки информации о состоянии загрязнения атмосферы.

В пунктах наблюдений по специальной программе систематически проводятся наблюдения за состоянием атмосферы и отбор проб для последующего определения содержания загрязняющих веществ. Стационарные посты осуществляют наблюдения за загрязнением атмосферы в отдельных регионах. Предполагается внедрение и использование автоматических постов наблюдений в г. Краснодаре. Передвижные средства наблюдения контролируют выбросы вредных веществ в атмосферу. Стационарные лаборатории по изучению атмосферы будут оснащаться необходимой аппаратурой для определения загрязняющих воздух примесей. Лаборатории оснащаются хроматографической аппаратурой, атомно-абсорбционной спектроскопией и

другими методами анализа. Основным центром по сбору и обработке информации является Краевой Департамент, где обрабатываются и анализируются материалы по источникам выбросов вредных веществ в атмосферу, обобщаются и анализируются сведения о состоянии загрязнения атмосферы, её метеорологических и климатических характеристиках.

Контроль загрязнения атмосферы, осуществляемый путем наблюдения за её состоянием, определяет порядок размещения стационарных пунктов совместно с Госгидрометом и СЭС на основании изучения генерального плана городов и края, метеорологических особенностей района, полей концентраций и данных по загрязнению.

Станция контроля загрязнения располагается на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке, имеющей непьющее покрытие (газон, асфальт, твердый грунт) и отражающей характерное состояние атмосферы определенного района.

Посты контроля загрязнения располагаются в жилых районах и в местах, наиболее подверженных скоплению вредных примесей. Следует учитывать, что повышение концентрации загрязнителей часто наблюдается возле неорганизованных источников и на расстоянии от них на 10–40 высот труб. Посты контроля в городе следует максимально оснащать автоматическими системами (не менее 100 высот). В процессе работы выявляются группы постов с близкими значениями концентраций, и только уже затем в каждой группе оставляется один наиболее репрезентативный пункт наблюдения.

Стационарные посты в городе дают объективную о загрязнении атмосферы, информацию, используемую для оперативного обслуживания заинтересованных организаций. Сеть постов характеризует общее загрязнение атмосферы города, вызванное турбулентной диффузией примесей. Размещение стационарной сети наземных наблюдений в городе базируется на изучении экологических и архитектурных особенностей его кварталов с учетом опыта размещения таких объектов у нас и за рубежом.

4. Наблюдения за водами и почвами. Мониторинг водных объектов выделяется в автономную систему, целью которой является информационное обеспечение управления качеством окружающей среды края и его районов. Проектирование мониторинга водных систем базируется на принципе единства природных вод, что обуслов-

ливают организацию сети наблюдений за их атмосферными, поверхностными и подземными источниками. Объекты мониторинга выбираются исходя из целесообразности водных объектов для населения или промышленности того или иного города или района. Географически мониторинг воды охватывает не только территорию Краснодарского края, но и выходит за его пределы. Реально большинство объектов достаточно самостоятельны и целостны, и каждый из них может рассматриваться как самостоятельная система. Водные объекты Краснодарского края включают источники водоснабжения и станции водоподготовки, системы подачи и распределения воды, системы водоотведения, канализационные насосные станции, станции очистки сточных вод, системы сбора и отвода поверхностных вод, морские воды.

Основные объекты мониторинга воды представляют собой сложные природно-технические или технические системы. Функционирует ряд организаций, использующих в своей работе данные измерений на водных объектах в городах и станицах края (Управление водоснабжения, Управление канализации, санитарно-эпидемиологическая служба, Гидромет, Департамент по экологии).

Пункты наблюдений представляют собой точки, где систематически осуществляется отбор проб для последующей оценки показателей качества воды природных источников, в частности, для питьевых целей, или сточных вод для технических целей. В качестве постов наблюдений можно использовать существующие и строящиеся гидрометеорологические посты или станции и посты наблюдения за окружающей средой.

Подвижные средства наблюдений представляют собою экспериментальные лаборатории, оснащенные оборудованием для оценки состояния водных систем дистанционными автоматизированными методами; на участках рек, озер и водохранилищ применяются различные плавсредства.

Автономные пункты наблюдений представляют собою автоматические станции контроля качества воды, выполняющие работу в автономном режиме на водных объектах. Такие пункты наблюдения являются весьма эффективными при проведении исследований в структуре водного мониторинга при изучении местной специфики состояния водных систем.

Региональные станции осуществляют наблюдения в соответствии с программой водного мониторинга при стационарных исследованиях. Они оснащены лабораториями (гидрохимические и гидробиологические) для выполнения анализов воды. По возможности внедряются автоматические методы отбора проб и автоматическое определение показателей. Такие станции обеспечивают работу соседних пунктов наблюдения, собирают, анализируют, ведут первичную обработку и обобщение полученных данных самой станции и относящейся к ней части сети наблюдений (пунктов наблюдения). Станции обеспечивают также передачу информации в центр мониторинга.

Мониторинг почв Краснодарского края, выполненный экспедициями НИИ прикладной экологии КубГАУ, включал определение содержания в почве тяжелых металлов и пестицидов. По уровню содержания этих показателей почвы на большей части территории Кубани пока не представляют серьезной опасности для здоровья населения.

5. Моделирование зерновой зоны Кубани. Построение математических моделей экосистем преследует не только прогностические (диктуемые практической значимостью моделируемого объекта), но и познавательные цели. Понять закономерности функционирования такой сложной системы, как экосистема пшеничной зоны севера края, без построения и исследования целой серии математических моделей невозможно. Создание моделей системы позволит исследовать влияние на экосистему разных уровней пестицидной, кислотной, токсической (ТМ) нагрузок и изменения погодных условий в вегетационный период. Нагрузки, превышающие ПДК ТМ, приводят к снижению качества продукции, а пестицидов – к повышению заболеваемости людей.

1. Экологическая формулировка модели. Предполагаемая модель представляет собою определенное упрощение и схематизацию оригинала. Степень упрощений всегда необходимо учитывать, т.к. это крайне важно при интерпретации полученных результатов. Рассматриваемая модель учитывает только самые крупные блоки экосистемы, не учитывая микробное население почв, пресных водоемов, бентос и фитопланктон последних и т.д. Такое допущение может быть оправданным в первом приближении, поскольку их роль в формировании всей биомассы системы минимальна. Пространственная

сетка модели по горизонтали такова, что по подробности она превосходит сетку всех станций, ведущих какие-либо наблюдения в этой зоне. Более густая сетка не позволит верифицировать модель.

Модель рассчитана на воспроизведение только тех эффектов и только тех масштабов природных явлений, которые реально наблюдаются существующими полигонами полевых и лабораторных исследований. Исходя из этого подхода в модели не рассматриваются точные ритмы биотических и абиотических элементов системы, локальные неоднородности концентрации тяжелых металлов, пестицидов и т.д. Неполнота и неравномерность наблюдений над экологической ситуацией района заставляет отказаться от воспроизведения в модели тех явлений, которые связаны с изменениями погодных условий (например, влияние ветра на развитие растительности) и использовать только усредненные величины с учетом сезонного хода.

В составе модели подробное описание диктуется необходимостью с помощью имеющейся информации судить о специфичности формирования и роли отдельных групп организмов в трансформации экосистемы. Существующие сведения о зоо- и микробоценозе включаются в модель зооценоза в этой зоне, но в общей модели он представлен в виде единого целого, что определяется необходимостью выдержать баланс точностей отдельных компонентов модели. Бесмысленно подробно описывать одну часть модели общей системы при схематичном описании другой.

Абиотическая часть модели включает азотный баланс и баланс органического вещества, и это обусловлено тем, что в настоящее время развитие экосистемы лимитируется именно этими процессами, а также осадками.

2. *Математическая формулировка модели.* В модели учитываются следующие процессы: гумусонакопление, трансформация органического вещества, динамика азота, накопление ТМ, пестицидов. Состояние экосистемы для всех моментов времени описывается полями концентраций следующих параметров: N, P, K, фитомассы естественных угодий, агроценозов, гумуса в почве, биомассы и т.д. Все процессы описываются с помощью системы уравнений в частных производных.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Абакумов В.А., Сушеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // В кн.: Экологические модификации и критерии экологического нормирования / Тр. Междунар симпозиума. – Л.: Гидрометиздат, 1991. – С. 41–51.

Алеева А.И. Картографирование и оценка загрязнения поверхностных вод Иркутской области // Геогр. и природ. Ресурсы. 1992. № 2. – С. 43–48.

Акатов В.В., Акатова Г.В. Применяемость метода стандартов для оценки воздействия антропогенных факторов на состояние популяции растений // Бот. журнал. Т. 77. № 2. – С. 103–112.

Арнольд В.И. Теория катастроф. – М., 1990. – 228 с.

Афанасьев Ю.А., Фомин С.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: Учебное пособие. М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. – 208 с.

Бабкина Э.И. Мониторинг пестицидов в почвах Российской Федерации // Метрология и гидрология. 1992. № 8. – С. 116–120.

Бельчанский Г.И. Экологическая ситуация и проблемы создания глобальной космической системы экологического мониторинга // Исследования Земли из космоса. 1992. № 4. – С. 57–65.

Белюченко И.С. Система мониторинга и экологического проектирования. Краснодар: Изд-во КГАУ, 1994. – 64 с.

Белюченко И.С. Антропогенная экология. – Краснодар: Изд-во КГАУ, 1995. – 179 с.

Белюченко И.С. Введение в общую экологию. – Краснодар: Изд-во КГАУ, 1997. – 544 с.

Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (региональная экология). Краснодар, Изд-во КубГАУ, 2010. 354 с.

Белюченко И.С. Мельник О.А. Сельскохозяйственная экология. Краснодар: Изд-во КубГАУ. 2010. 297 с.

Бессонова В.П. Состояние пылицы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. 1992. № 4. – С. 45–50.

Бондур В.Г., Савин А.И. Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях. // Исследования Земли из космоса. 1992. № 6. – С. 70–78.

Брусиловский П.М. Прогнозирование численности популяций. – М.: Знание, 1989. – 54 с.

Буйвалов Ю.А. Накопление в организме лесных птиц стойких хлороорганических соединений как интегральный экологический показатель их нагрузки на лесные экосистемы. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1995. – 20 с.

Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Успехи современной биологии. 2002. Т. 122. № 2. – С. 115–135.

Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 158 с.

Веницианов Е.В., Ершова Е.Ю., Качарян А.Г. Тяжелые металлы в донных отложениях поверхностных вод // Проблема окружающей среды и природных ресурсов. 1994. № 9. – С. 19–50.

Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Э.А. Шишкина. Экосистема Черного моря. – М. Наука, 1992. – 112 с.

Воронков Н.А. Основы общей экологии. – М.: Изд-во «Агар», 1997. – 88 с.

Ганина М.С. Рыбы как объект мониторинга закисления пресноводных экосистем // В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. – СПб: Гидрометеоздат, 1993. Т. XV. – С. 88–95.

Георгиевский В.Б., Сурви А.П., Горшков В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // Итоги науки и техники. Теорет. и общие вопросы географии. Т. 7. – М.: ВИНТИ, 1990. – 238 с.

Гильманов Т.Г., Базилевич Н.И. Концептуальная балансовая модель круговорота органического вещества в экосистеме как теоретическая основа мониторинга // Теоретические основы и опыт экологического мониторинга. – М., 1983. – С. 7–57.

Глушко Е.В. Космический мониторинг современных ландшафтов аридных зон // Исслед. Земли из космоса. 1991. № 4. – С. 111–121.

Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов (аэроаналитические измерения). – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 433 с.

ГОСТ 12.1.014–84 "Воздух рабочей зоны". Методические измерения концентрации вредных веществ индикаторными трубками.

Гришин А.М. Гениальный математический мониторинг лесных фитоценозов в условиях антропогенной нагрузки, природных и техногенных катастроф // Проблемы регион. экологии. 1994. Вып. 3. – С. 53–60.

Гуляева Л.Ф., Гришанова А.Ю., Громова О.А., Слынько Н.Н., Вавилин В.А., Ляхович В.В. Микросомная монооксигеназная система живых организмов в биомониторинге окружающей среды. – Новосибирск, 1994. – 100 с.

Гуськов Е.П., Шкурат Т.П., Вардуни Т.В. Тополь как объект для мониторинга мутагенов в окружающей среде // Цитология и генетика. 1993. Т. 27, № 1. – С. 52–57.

Добровольский Г.В., Розанов Б.Г., Гришина Л.А., Орлов Д.С. Проблемы мониторинга и охраны почв // Докл. VII делегат. Съезда Всесоюз. общ-ва. почвоведов. – Ташкент, 1985. Т. 6. – С. 255–266.

Добрынский В.А., Рогаль И.В. Применение методов математического моделирования к изучению круговорота фосфора в пресноводных экосистемах // Гидробиология, 1993. Т. 29. № 5. – С. 73–97.

Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем / Под ред. О.М. Коржова, Л.Я. Ащепкова. – Новосибирск: Наука, 1988. – 240 с.

Долгилевич М.И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия. – М.: Колос, 1978. – 159 с.

Дрейер О.К., Лось В.А. Экология и устойчивое развитие. – М.: Изд-во УРАО, 1997. – 224 с.

Емельянов А.Г. Комплексный геоэкологический мониторинг. – Тверь: Изд-во ТГУ, 1994. – 88 с.

Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В., Комаров А.С., Ханина П.Г. Мониторинг фитопопуляций // Успехи соврем. биологии / – 1993. Т. 113. Вып.4. – С. 402–414.

Зборищук Ю.Н. Дистанционные методы инвентаризации и мониторинга почвенного покрова. М.: Изд-во МГУ, 1992. – 86 с.

Зейферт Д.В., Рудаков К.М., Петров С.С. Мониторинг качества поверхностных вод в среднем течении реки Белой (Башкирская ССР) по составу высшей водной растительности // В сб.: Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем малых рек. – Краснодар: 1992. Ч. 2. – С. 189.192.

Золотухина Е.Ю., Н.В. Радзинская. Бурая водоросль *Cystoseira crinita* (Desf.) Vory как монитор тяжелых металлов в прибрежных

экосистемах Черного моря // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 16. Биология. 1993. № 4. – С. 52–57.

Изков М.Н., Жуков Б.С. О глобальном спутниковом мониторинге пространственных и временных изменений биоты // Исслед. Земли из космоса, 1992, № 6. – С. 32–43.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984 – 560 с.

Израэль Ю.А., Гасимина Н.К., Ровинский Ф.Я., Филиппова Л.М. Осуществление в СССР системы мониторинга загрязнения природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 117 с.

Израэль Ю.А., Семенов С.М., Хачатурян М.А. Биоклиматические аспекты комплексного глобального мониторинга // В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем., СПб: Гидрометеиздат, 1993. Т. XV. – С. 8–20.

Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. Ч. 1. – М.: Колос, 1982. – С. 22–31.

Кочарян А.Г. Загрязнение и охрана вод суши, морей и океанов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – М., 1993. № 2. – С. 52–72.

Красилов В.А. Всемирная стратегия охраны природы на 90-е годы // Природа. 1992. № 3. – С. 30–31.

Кретинин В.М. Мониторинг плодородия почв биогеоценозов лесоаграрных ландшафтов Западного Предкавказья // Вестник с.-х. науки. 1992. № 3. – С. 29–35.

Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. Акад. наук. 1994. Т. 337, № 2. С. 280–282.

Ляпунов А.А. В чем состоит системный подход к изучению реальных объектов сложной природы // В кн.: Системные исследования. Ежегодник. 1971. – М.: Наука, 1972. – С. 5–12.

Мамай И.И. Динамика ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 168 с.

Марфенина О.Е. Изменение почвенной биоты при антропогенном воздействии. Проблемы почвенного биомониторинга // В кн.: Почвенно-экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 147–158.

Меннинг У. Дж., Федер У. А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. 143 с.

Методические рекомендации по исследованиям систем микроклимата в промышленном животноводстве и птицеводстве. – М., ВИЭСХ, 1977.

Минх А.А. Справочник по санитарно-гигиеническим исследованиям // М., Медицина, 1973. – С. 46–99.

Морозов Н.П. Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях // Биогеохимия океана. – М.: Наука, 1983. – С. 127–164.

Мотузова Г.В. Содержание, задачи и методы почвенно-экологического мониторинга // В кн.: Почвенно-экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 80–104.

Назаров И.М., Николаев А.Н., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 280 с.

Назаров И.М. Оценка трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ по самолетным измерениям // Тр. / ИПГ им. Федорова Е.К. Вып. 62. – М.: Гидрометеиздат, 1985.

Непоминьева Н.И. Об организации биологического мониторинга на охраняемых территориях Коми АССР // В сб.: Влияние антропогенных факторов на флору и растительность Севера. – Сыктывкар, 1990. – С. 100–110.

Никитин Д.И., Никитина Э.С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты бактерий. – М.: Наука, 1978. – 203 с.

Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. – Новосибирск, 1991. – 220 с.

Николаев С.Г., Елисеев Д.А., Смирнова Л.А. Экологический мониторинг малых рек // Инженерная экология. 1995. № 3. – С. 54–61.

Орлов Д.С., Васильева В.Д. (ред.). Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.

Орлов Д.С., Аммосова Я.М. Методы контроля почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 219–231.

Панченко В.И. Закономерности изменения сообществ донных беспозвоночных в условиях загрязнения природной среды // В кн.: Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем / Тр. со-

ветско-французского симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 135–141.

Парк Р. Экологическое моделирование и оценка экологического стресса // В сб.: Восторонний анализ окружающей природной среды. – Л. Гидрометеиздат, 1976. – С. 230–245.

Пачепский Я.Н. Математические модели физико-химических процессов в почвах. – М., Наука, 1990. – 188 с.

Погребов В.Б., Ревков Н.К., Рябушко В.И. Биокартирование сообществ макробентоса Каламитского залива Черного моря: многомерная классификация в целях экологического мониторинга // Вестник С.–Петербур. Ун-та. 1992. С. 3. Вып. 4. – С. 20–26.

Родзин В.И., Семенцов Г.В. Основы экологического мониторинга. – Таганрог, 1988. – 260 с.

Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвенно-экологическом мониторинге // В кн.: Почвенно-экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 244–257.

Свирижев В.И. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. – М.: Наука, 1987. – 366 с.

Слууров А.В., Полищук Л.В. Количественные методы оценки основных популяционных показателей: статистический и динамический аспекты. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 208 с.

Соловьева Н.А. Применение методики биотестирования для мониторинга пресноводных экосистем // В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. – СПб, Гидрометеиздат, 1993. Т. XV. – С. 170–179.

Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы. – Новосибирск, 1995. – 58 с.

Сысуев В.В. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах. – М.: Наука, 1986. – 301 с.

Тальских В.Н. Изучение перифитона водотоков Узбекистана в условиях различной высотной зональности и разного уровня загрязнения. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1987. – 24 с.

Тebleева У.Ц., Грин А.М. Региональный геоэкологический мониторинг // В сб.: Проблемы экологической безопасности региона. – М., 1997. – С. 117–125.

Телицын В.Л. Концептуальные модели агроэкологического мониторинга, его цели и перспективы // Геогр. и природ. ресурсы, 1995. № 3. – С. 32–37.

Трофимов И.А. Мониторинг опустынивания земель с использованием дистанционных материалов // В сб.: Экологическое картографирование на основе материалов космической фотосъемки: геофрфологические аспекты. – М., 1994. Кн. 2. – С. 118–131.

Трофимов А.М., Тикунов В.С., Нургалеев Э.Х. Глобальная система мониторинга и ресурсный баланс данных в Международной программе изучения окружающей среды // Геогр. и природ. ресурсы. 1990. № 2. – С. 27–31.

Тютюнник Ю.Г. Ландшафтный подход к изучению полей атмосферного загрязнения городов тяжелыми металлами // Геогр. и природ. ресурсы, 1993, №1. – С. 54–59.

Федоров В.Д. Проблема предельно допустимых воздействий антропогенного фактора с позиции эколога // В сб.: Всесторонний анализ окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – С. 192–211.

Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга. Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. 1974. № 10. – С. 46–58.

Федоров В.Д. Биологический мониторинг обоснование и опыт организации // Гидробиол. журн. 1975. Т. II. № 5. – С. 14–29.

Федоров В.Д., Капков В.И. Руководство по гидробиологическому контролю качества природных вод. Учебно-методическое пособие. – М.: «Христианское изд-во». 2000. – 120 с. ISBN 5–7820–0076–7.

Фрисман Е.Я. Математическое моделирование динамики численности популяций и оптимальное управление промыслом. Автореф. дис. ... доктора биол. наук. – Красноярск, 1989. – 36 с.

Фурман А.И. Самолет-лаборатория для экологического мониторинга // Метеорология и гидрология. 1994, № 1. – С. 105–107.

Хованский А.Д. Геология и оценка состояния ландшафтов рек и морей. Автореф. дис. ... доктора геогр. наук. – М., 1995. – 38 с.

Хохлов А. Экологический контроль на птицефабрике // Птицеводство, 1994. № 2. – С. 15–16.

Чалышева Л.В. Антропогенные изменения растительного покрова в районах нефтедобычи. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1993. – 19 с.

Чевелев К.В. Математическое моделирование вегетативного размножения в популяции полупогруженных макрофитов. – М., 1988. – 24 с.

Черныш В.И. Введение в экологическую кибернетику. – М.: 1990. 568 с.

Шварц С.С. Теоретические основы экологического прогнозирования // В сб.: Всесторонний анализ окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – С. 181–191.

Швебс Г.И. Концепция комплексного мониторинга окружающей среды // Известия русского геогр. общества, 1993. Т. 125. Вып. 6. – С. 14–21.

Шилов И.А. Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 263 с.

Шилов И.А. Экология. – М.: Высшая школа, 1997. – 512 с.

Шинкин Н.А., Болотов В.П., Куранов Б.Д., Аносова Н.В. Модели в экологии. – Томск: Изд-во ТГУ, 1992. – 78 с.

Burgan R.E., Hartford R.A. Monitoring vegetation greenness with satellite data. Intermountain Res. Station. USA. 1993. – 13 p.

Magill A.W. Monitoring Environmental Change with Color Slides. Yen. Tech. Rep. PSW-117, Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Exper. St., Forest Service. U.S. 1989. – 55 p.

Malingreau J.P. Satellite monitoring of the words forests: a review // Unasylyva, 1993. № 3. – P. 31–37.

Marsden I.E. Standard Protocol for Monitoring and Sampling Lebra Mussels, Illinois Nat. History Survey Biolog. Notes 138, 1992. – 40 p.

Mueggler W.F. Cliff Lake Bench Research natural area: Problems Encountered in Monitoring Vegetation change on Mountain Grasslands. USA, Res. Pap. INT-454. Ogden UT: u.s. Dep. Agr., Forest Serv., Intermountain St., 1992. – 13 p.

Munn P. Global environmental monitoring system // Scope Rep. – Toronto, 1973. – 130 p.

Smelko S. The optimal cluster sampling design for the large-area monitoring of mixed forests in mountain regions // Lesnictvi forestry. 1995. V. 41, № 8. – P. 359–363.

Ferris-Kaan R., Patterson Y.S. Monitoring Vegetation changes in conservation management of Forests. London, Forest. Commis. Bull. 108. 1992. – 31 p.

Innes J.L., Boswell R.C. Monitoring of forest condition in Great Britain // Forestry Commis. Bull. 98. 1991. 54 p.

СОДЕРЖАНИЕ

	с
ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	6
<i>Роль мониторинга в экологическом образовании</i>	6
<i>Сущность мониторинга, его цель и задачи</i>	8
<i>Основные этапы развития мониторинга</i>	9
<i>Техногенное загрязнение ландшафтов</i>	11
<i>Программа мониторинга и управления системой</i>	13
Часть 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА	15
Глава 1. Исторические аспекты развития экологического мониторинга	15
<i>История развития мониторинга</i>	15
<i>Современные задачи мониторинга</i>	18
<i>Уровни мониторинга</i>	21
<i>Основные требования к системе мониторинга</i>	24
<i>Перспективы развития мониторинга</i>	30
<i>Биосферный мониторинг</i>	34
Глава 2. Состояние окружающей среды	36
<i>Практические аспекты контроля</i>	36
<i>Комплексные основы контроля среды</i>	40
<i>Загрязнители сельскохозяйственного производства</i>	42
<i>Управления оценкой состояния среды</i>	45
Глава 3. Информационное обеспечение экологического мониторинга	47
<i>Основы обеспечения организации мониторинга</i>	47
<i>Сбор и обработка информации.</i>	51
Глава 4. Организация экологического мониторинга	54
<i>Цель организации мониторинга</i>	54
<i>Предварительный анализ ситуации</i>	56
<i>Выбор места для проведения наблюдений</i>	58
<i>Закладка постов наблюдения</i>	64
<i>Оборудование и методы анализа</i>	65
<i>Отбор и подготовка проб</i>	67
<i>Ведение документации</i>	68
<i>Анализ и обобщение результатов исследований</i>	69
<i>Обобщение лабораторных материалов</i>	74
<i>Годовой отчет</i>	78
Глава 5. Полевые наблюдения и исследования	81
<i>Полевые методы исследований</i>	81
<i>Методы оценки популяций организмов</i>	87

Глава 6. Экологический контроль	95
<i>Биотическая концепция контроля среды</i>	95
<i>Лабораторный контроль</i>	99
Глава 7. Моделирование в системе экологического мониторинга	102
<i>Основы моделирования</i>	102
<i>Цель и задачи моделирования</i>	104
<i>Развитие моделирования</i>	105
<i>Типы моделей и их характеристика</i>	108
<i>Моделирование экологических процессов</i>	112
Глава 8. Прогнозирование и управление экологическими процессами	120
<i>Прогнозирование в системе мониторинга</i>	120
<i>Специфичность экологического прогнозирования</i>	126
<i>Новые подходы к экологическому прогнозу</i>	128
<i>Управление экологическими системами</i>	131
Часть 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО	
МОНИТОРИНГА	134
Глава 9. Особенности мониторинга биологических систем	134
<i>Общие вопросы мониторинга биологических систем</i>	134
<i>Мониторинг растительных сообществ</i>	136
<i>Особенности мониторинга леса</i>	139
<i>Мониторинг микроорганизмов</i>	142
<i>Изучение влияния удобрений в системе мониторинга</i>	145
<i>Изучение пестицидов в системе мониторинга</i>	147
<i>Кислотные осадки в системе мониторинга</i>	148
<i>Радиация в системе мониторинга</i>	148
<i>Тяжелые металлы в системе мониторинга</i>	149
<i>Роль насекомых в системе биомониторинга</i>	151
<i>Использование морских организмов в системе мониторинга</i>	152
Глава 10. Мониторинг атмосферного воздуха	154
<i>Контроль источников загрязнения</i>	154
<i>Источники выбросов в атмосферу</i>	159
<i>Характеристика основных загрязнителей атмосферы</i>	162
<i>Мониторинг загрязнения атмосферы города</i>	169
Глава 11. Мониторинг состояния воды	177
<i>Мониторинг поверхностных вод суши</i>	177
<i>Оценка качества воды</i>	183
<i>Мониторинг состояния внутренних водоемов суши</i>	185
<i>Мониторинг заповедных озер</i>	188
<i>Мониторинг морской воды</i>	191

Глава 12. Экологическое состояние почв	197
<i>Особенности организации почвенного мониторинга</i>	197
<i>Задачи, методы и Программа почвенного мониторинга</i>	199
<i>Роль почвы в функционировании экосистем</i>	202
<i>Почва и её органическая составляющая</i>	207
<i>Физика почвы и загрязнители</i>	210
<i>Химия почв и загрязнители</i>	213
<i>Выбор участка для проведения мониторинга</i>	215
<i>Ландшафтно-геохимический мониторинг</i>	218
<i>Управление состоянием почв</i>	220
<i>Мониторинг почв Западного Предкавказья</i>	221
Глава 13. Загрязнение почвы и воды нефтепродуктами	224
<i>Причины нефтяного загрязнения</i>	224
<i>Влияние нефтепродуктов на плодородие почв</i>	224
<i>Перспективы рекультивации почв при загрязнении нефтепродуктами</i>	228
<i>Поведение углеводородов в загрязненных почвах</i>	231
<i>Определение нефтепродуктов в почве</i>	233
<i>Другие методы оценки загрязнения почв</i>	234
Глава 14. Фоновый мониторинг	236
<i>Основы организации фонового мониторинга</i>	236
<i>Роль трансграничного переноса в загрязнении природной среды</i>	240
Глава 15. Региональный мониторинги и управление природно-хозяйственными системами	243
<i>Природные условия</i>	243
<i>Атмосфера</i>	244
<i>Почвы</i>	253
<i>Поверхностные воды</i>	254
<i>Ландшафтные системы</i>	256
<i>Отходы производства и потребления</i>	260
<i>Основные задачи регионального мониторинга.</i>	262
<i>Формирование и оценка результатов информации</i>	264
<i>Моделирование развития ландшафта.</i>	267
<i>Экологическое управление ландшафтными системами</i>	271
Глава 16. Мониторинг Краснодара и Краснодарского края	275
<i>Общая характеристика региона.</i>	275
<i>Организация мониторинга</i>	277
<i>Наблюдение за атмосферой</i>	281
<i>Наблюдения за водами и почвами</i>	283
<i>Моделирование зерновой зоны Кубани</i>	285
Использованная литература	287

Научное издание

Белюченко Иван Степанович

Введение в экологический мониторинг

Учебное пособие

Редактор В.В. Корунчикова
Компьютерная верстка Л.С. Новопольцева

Подписано в печать Бумага офсетная, Формат 60×90/16.
Ротапринтная печать. Тираж 500 экз. Усл. печ. л. 21,5.
Заказ №

Редакционный отдел и типография Кубанского государственного
аграрного университета
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

