

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Международный государственный экологический
университет имени А. Д. Сахарова»



Кафедра экологического мониторинга, менеджмента и аудита

Н. В. Гончарова

БИОМОНИТОРИНГ

**учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-33 01 04
«экологического мониторинга, менеджмента и аудита»**

Минск
2011

УДК 502/504 (075.32)
ББК 20.18я722
Г65

*Рекомендовано к изданию Советом УМО вузов Республики Беларусь
по экологическому образованию
(протокол № 1 от 27 октября 2010 г.)*

Автор:

Н. В. Гончарова, к. б. н., доцент

Рецензенты:

зав. лабораторией прикладной биофизики и биохимии ГНУ «Институт биофизики
клеточной инженерии» НАН Беларуси, доцент, д. б. н. *Кабашикова Л. Ф.*;

зав. кафедрой экологической и молекулярной генетики МГЭУ им. А. Д. Сахарова,
профессор, д. б. н. *Мельнов С. Б.*

Гончарова, Н. В.

Г65 Биомониторинг : учеб.-метод. пос. / Н. В. Гончарова. – Минск :
МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 60 с.

ISBN 978-985-551-023-0

В пособии рассматриваются теоретические вопросы мониторинга окружающей среды, место биомониторинга в системе мониторинга, принципы и методы биотестирования и биоиндикации. Пособие также содержит лабораторные работы, способствующие экспериментальному закреплению теоретического материала.

УДК 502/504 (075.32)
ББК 20.18я722

ISBN 978-985-551-023-0

© Гончарова Н. В., 2011
© Международный государственный
экологический университет имени
А. Д. Сахарова, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ И ВИДЫ МОНИТОРИНГА.....	5
2. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА В БЕЛАРУСИ.....	11
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА.....	17
4. БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, НЕКОТОРЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ	21
5. БИОМОНИТОРИНГ	30
6. МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	31
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	55
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	59

ВВЕДЕНИЕ

В ходе наблюдений за состоянием окружающей среды, реакцией живых организмов на ее изменение можно обнаружить опасные для всего живого, в том числе и для человека, тенденции, происходящие под влиянием природных и антропогенных факторов. Выявить эти факторы и по возможности принять меры для их устранения – одна из основных задач современной экологии.

Наиболее простым примером экстремальной реакции живого на сильное воздействие вредных факторов является массовая гибель животных и растений. Если в природной среде наблюдается массовая гибель насекомых, животных, рыб или растений, значит на данной территории существует фактор, вызвавший это явление. О данном случае необходимо информировать соответствующие службы, следует принять меры к его устранению.

Другой вид реакции живых организмов на менее сильное воздействие вредных факторов проявляется в их угнетенном состоянии, замедлении роста, аномалиях развития. Так, например, при попадании избытка микро- или макроэлементов в почву, листья растений могут приобретать неестественную окраску (от бледно-желтой до красно-фиолетовой).

Наиболее чувствительны к тем или иным изменениям внешних воздействий на окружающую среду так наз. индикаторные виды. Эти виды очень чувствительны к определенным факторам и четко реагируют на их изменения, даже если остальные менее чувствительные к данному фактору виды легко такие изменения переносят.

Как и всякий вид деятельности, биологический мониторинг требует определенной суммы знаний, затрат времени и труда на его проведение. При долговременном и постоянном проведении биологический мониторинг позволяет регистрировать малейшие изменения и опасные тенденции в состоянии окружающей среды.

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ И ВИДЫ МОНИТОРИНГА

Вторая половина XX в. ознаменовалась осознанием человечеством того, что необходимо создание системы слежения за состоянием и изменением природной среды на планете Земля. Впервые вопрос о Международной программе глобальных наблюдений за изменением в биосфере был рассмотрен в 1971 г. Научным комитетом по проблемам окружающей среды (СКОПЕ). При подготовке к конференции ООН по охране окружающей среды специалистами проводилось довольно серьезное обсуждение вопросов, связанных с созданием глобальной системы мониторинга. Под мониторингом было решено понимать систему непрерывного наблюдения, измерения и оценки состояния окружающей среды. В ходе работы конференции была выработана рекомендация по разработке и принято решение по созданию ГСМОС – глобальной системы мониторинга окружающей среды (Global Environmental Monitoring Systems – GEMS).

В дальнейшем понятие мониторинга несколько расширилось, в связи с чем его можно определить как **систему наблюдений и контроля за состоянием окружающей человека природной среды с целью разработки мероприятий по ее охране, рационального использования природных ресурсов и предупреждения о критических ситуациях, вредных для существования живых организмов** (рис. 1) [1].

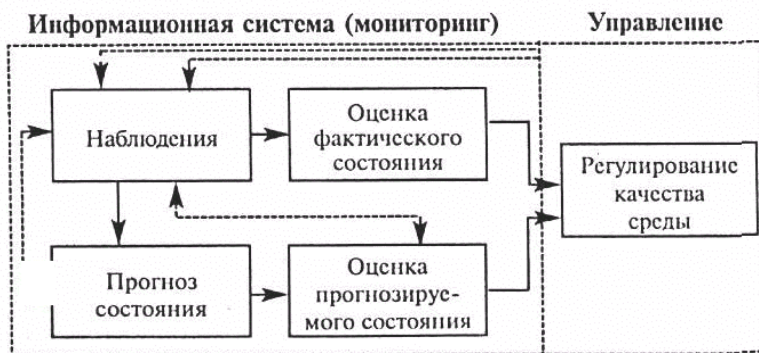


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга

Термин «мониторинг» появился перед проведением Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. Под мониторингом было решено понимать систему непрерывного наблюдения, измерения и оценки состояния окружающей среды.

С самого начала в трактовке мониторинга проявились две точки зрения. Многие зарубежные исследователи предлагали осуществлять систему непрерывных наблюдений одного или нескольких компонентов окружающей среды с заданной целью и по специально разработанной программе. Другая точка зрения предлагала понимать под мониторингом только такую систему наблюдений, которая позволяет выделить изменения состояния биосферы под влиянием антропогенной деятельности (т. е. мониторинг только антропогенных изменений окружающей природной среды).

В конечном счете, появилось мнение, что объектом общего мониторинга является многокомпонентная совокупность природных явлений, подверженная многообразным естественным динамическим изменениям и испытывающая разнообразные воздействия и преобразования ее человеком.

Мониторинг окружающей среды – это комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды, включающая в себя регулярные, выполняемые по единообразной заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Таким образом, **экологический мониторинг** – организованный мониторинг окружающей природной среды, при котором:

1) обеспечивается постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем;

2) создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Структура мониторинга показана в табл. 1.

Таблица 1

Структура мониторинга

Мониторинг		
Наблюдение	Оценка	Прогноз
за состоянием окружающей среды и за факторами, на нее воздействующими	фактического состояния окружающей среды	состояния окружающей среды

При дальнейшей детализации экологического мониторинга выявляются цели и задачи мониторинга (табл. 2).

Таблица 2

Цели и задачи мониторинга состояния окружающей среды

Цели		Задачи		
Оценка	Прогноз	Наблюдение	Выявление	Анализ
состояния окружающей среды	предполагаемых изменений состояния окружающей среды	за состоянием окружающей среды	изменений окружающей среды, связанных с деятельностью человека	наблюдаемых изменений

К целям мониторинга относятся: оценка наблюдаемых изменений и выявление эффекта деятельности человека, прогноз предполагаемых изменений состояния окружающей среды, а также принятие решений для предотвращения отрицательных последствий деятельности человека и разработка стратегии оптимального отношения общества к окружающей среде. Задачами мониторинга окружающей среды являются: наблюдение за состоянием и изменением природной среды, выявление причин, вызывающих изменения последней.

В настоящее время мониторинг окружающей среды осуществляется прежде всего с целью контроля антропогенного воздействия на биосферу.

Поскольку окружающая среда включает в себя большое количество факторов, способных оказывать влияние на состояние биотической и абиотической компонент биосферы, то мониторинг состояния окружающей среды должен базироваться на следующих независимых элементах: мониторинг окружающей природной среды, мониторинг преобразованной и искусственной окружающей среды, а также мониторинг антропосферы. В свою очередь, каждый из этих элементов подразделяется на некоторое число характерных для него составляющих.

В зависимости от размера охватываемого наблюдениями пространства различают следующие типы мониторинга – глобальный (биосферный или фоновый), региональный и локальный.

Глобальный (фоновый) мониторинг предполагает контроль за общепланетарными изменениями в биосфере, которые связаны с деятельностью человека. Он обеспечивает наблюдение, контроль и прогноз возможных изменений в отношении биосферы как среды для всего человечества и ее изменений, вызванных деятельностью общества.

Основными принципами концепции фонового мониторинга являются комплексность наблюдений и междисциплинарный подход. Программа комплексного мониторинга предусматривает два основных взаимосвязанных блока: мониторинг загрязнения элементов экосистем и мониторинг экологических последствий.

Фоновый мониторинг проводится в соответствии с Глобальной системой мониторинга окружающей среды, Международной программой «Наблюдения за планетой», Программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Программой ООН по окружающей среде ЮНЕП, Программой СЭВ в области комплексного фонового мониторинга и т. д.

Его задачи определены в одном из разделов Международной программы «Человек и биосфера». Среди них следует отметить такие, как:

- установление взаимосвязи между загрязнением, структурой и функционированием экосистем, их звеньев, популяций или отдельных организмов;
- определение перечня тех показателей и измерений, которые необходимы для наблюдения и оценки существующего состояния экосистемы и прогноза изменения его в будущем;
- анализ путей и скоростей преобразования загрязняющих веществ в экосистеме;
- определение критических уровней показателей окружающей среды.

Основной задачей глобального мониторинга являются наблюдения за главными параметрами современной биосферы с целью отслеживания периодических и направленных изменений, оценки экологических значений этих изменений, прежде всего, для существования и жизнедеятельности человека и выявления их причин.

В число параметров, оцениваемых в соответствии с программой глобального мониторинга входят следующие:

- геофизические характеристики (солнечная радиация);
- содержание в атмосфере озона, парниковых газов, аэрозолей;
- мировой водный баланс и глобальный круговорот воды;
- радиоактивность и трансграничные переносы загрязняющих веществ.

Глобальный мониторинг осуществляется на станциях фонового мониторинга, расположенных в биосферных заповедниках. Именно здесь осуществляются наблюдения за состоянием тех параметров, которые характеризуют современное состояние биосферы и ее антропогенные изменения. Задачами станций является также проведение исследований с целью выработки научно обоснованных нормативных параметров для контроля состояния окружающей среды. данные, получаемые на станциях фонового мониторинга позволяют также разрабатывать научные основы природопользования.

Станции фонового мониторинга существуют во всем мире. На территории стран бывшего СЭВ еще с 1976 г. действовала интегрированная система комплексного фонового мониторинга, которая давала информа-

цию о реальном фоновом загрязнении природной среды, складывавшемся не только под влиянием местных условий, но и в результате трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ.

В бывшем СССР такая работа проводилась в биосферных заповедниках на всей территории страны: Березинском, Приокско-террасном, Центральном лесном, Кавказском, Астраханском, Сихотэ-Алинском, Баргузинском, Сары-Челекском, Чаткальском, Репетекском, Кроноцком и других, а также на леднике Абрамова и в некоторых других местах. Программа предусматривала слежение за следующими показателями:

- в атмосфере – взвешенные частицы, мутность, озон, диоксиды серы и углерода, оксиды азота, углеводороды, бенз(а)пирен, сульфаты, ДДТ;
- в атмосферных выпадениях – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, бенз(а)пирен, кислотность;
- в поверхностных и подземных водах, в донных отложениях и почвах – свинец, ртуть и метилртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, бенз(а)пирен, биогенные элементы.

Региональный мониторинг (геоэкологический, геосистемный, природно-хозяйственный) дает оценку антропогенного влияния на природную среду в ходе обычной хозяйственной деятельности человека, которая обязательно предполагает тот или иной вид взаимодействия с природой (градоостроительство, сельское хозяйство, промышленность, энергетика, лесное хозяйство и т. д.). При региональном мониторинге оценивают взаимодействие человека и природы во всех проявлениях, дают характеристику общего нарушения природной среды, привноса и выноса из природных систем вещества и энергии. Основные цели мониторинга данного типа – изучить естественные ресурсы окружающей среды, используемые в хозяйственной деятельности; оценить происхождение и взаимосвязи процессов и явлений в окружающей среде; предсказать неблагоприятные для людей и биоты изменения окружающей среды.

Региональный мониторинг базируется на геофизических, гео- и биохимических и биологических методах наблюдений. В его систему входит сеть тестовых полигонов, на которых отрабатываются геосистемные тесты типа ПДК, БПЭ (биологическая продуктивность природных экосистем), ЕСО (естественная способность природной среды к самоочистке) и др. Кроме того, система данного мониторинга использует сеть станций локального (биоэкологического) мониторинга, в процессе осуществления которого дается оценка влияния окружающей среды на состояние здоровья человека и всего населения в целом.

Региональный мониторинг проводят агро-, гидрометеорологическая, лесохозяйственная, сейсмологическая и иные службы.

Локальный мониторинг (импактный, биоэкологический) предполагает контроль за содержанием токсичных для человека химических веществ в атмосфере, природных водах, растительности, почве, подверженных воздействию конкретных источников загрязнения. При этом выявляют как сами источники загрязнения, так и степень загрязнения природной среды. При локальном мониторинге состояние окружающей среды оценивают с точки зрения здоровья человека, что служит наиболее емким, важным и комплексным показателем состояния окружающей среды.

Одной из компонент мониторинга окружающей природной среды является биологический мониторинг.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ – система наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биоте, вызванных факторами антропогенного происхождения. Структура биологического мониторинга довольно сложна. Он строится из отдельных подпрограмм исходя из принципа, основанного на уровнях организации биологических систем. Так, генетический мониторинг соответствует субклеточному уровню организации, экологический мониторинг – популяционному и биоэкологическому уровням. Каждому уровню соответствует свой набор биологических переменных.

Первоочередная задача биологического мониторинга заключается в наблюдении за уровнем загрязнения биоты. Отклики или биологические последствия, связанные с воздействием загрязнений, регистрируются в рамках специальных подпрограмм. Биологический мониторинг призван расширять и углублять систему знаний и методов о наблюдении, оценке и прогноза состояния биотической составляющей биосферы в целях создания основы для управления качеством окружающей среды. В его состав входят: разработка систем раннего оповещения, диагностика и прогнозирование. Главными этапами деятельности при разработке систем раннего оповещения являются отбор подходящих организмов и создание автоматизированных систем, способных с достаточно большой точностью выделять сигналы «отклика». Диагностика подразумевает обнаружение, идентификацию и определение концентрации загрязняющих веществ в биотической составляющей на основе широкого использования организмов-мониторов (индикаторов). Прогноз состояния биотической составляющей окружающей среды может осуществляться на основе биотестирования и экотоксикологии

2. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА В БЕЛАРУСИ

Общие сведения

Развитие системы мониторинга в Республике Беларусь было обусловлено требованием «Закона об охране окружающей среды», принятого в 1992 г. В ст. 22 «Мониторинг окружающей среды» сказано: «Мониторинг окружающей среды представляет собой систему наблюдений за состоянием окружающей среды для своевременной оценки возможных изменений физических, химических и биологических процессов, уровня загрязнений атмосферного воздуха, почв, воды и других природных объектов, предупреждения и устранения негативных явлений, а также обеспечения заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией об окружающей среде и прогнозирования ее состояния». На основании этого Закона в 1993 г. (20.04) было принято Постановление 247 «О создании национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС)». В период 1994–1995 гг. были сформированы рабочие группы, а в 1995–1997 гг. был подготовлен технический проект НСМОС.

Практическое значение национальной системы мониторинга окружающей среды заключается в следующем:

- получение и сведение воедино информации об экологическом состоянии компонентов природной среды;
- создание и ведение Банка данных НСМОС;
- оценка и прогнозирование экологического состояния окружающей среды;
- предоставление достоверной экологической информации органам власти и управления, научным учреждениям, общественным организациям, средствам массовой информации и физическим лицам;
- подготовка и издание информации о состоянии окружающей среды Республики Беларусь.

Кроме того, она призвана на основе проведения регулярных наблюдений и оценки фактического состояния природных экосистем выявлять критические ситуации и источники экологической опасности, а также оповещать о катастрофах, стихийных бедствиях, экологически опасных явлениях.

Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь включает в себя 13 отдельных видов мониторинга, объединенных общностью решаемых задач, назначением, реализуемыми функциями и информационным взаимодействием.

1 медицинский мониторинг

2 мониторинг окружающей среды

- 2.1 мониторинг атмосферного воздуха;
- 2.2 мониторинг гидросферы;
- 2.3 мониторинг земель (почв);
- 2.4 мониторинг общего содержания атмосферного озона;
- 2.5 сейсмический мониторинг;
- 2.6 мониторинг физических явлений (факторов);
- 2.7 радиационный мониторинг;
- 2.8 комплексный экологический мониторинг;

3 биологический мониторинг

- 3.1 мониторинг растительности;
- 3.2 мониторинг животного мира;

4 импактный мониторинг

- 4.1 мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- 4.2 локальный мониторинг.

Координация деятельности по Программе НСМОС осуществляется Межведомственным координационным советом по реализации Программы НСМОС. Центральным звеном, объединяющим информационные системы отдельных видов мониторинга в единую интегрированную систему, является Главный информационно-аналитический центр НСМОС (ГИАЦ НСМОС), созданный в БелНИЦ «Экология».

Из тринадцати подсистем мониторинга, входящих в состав НСМОС, достаточно полно осуществляется ведение медицинского мониторинга, мониторинга атмосферного воздуха, гидросферы, радиационного мониторинга, мониторинга общего содержания атмосферного озона и его распределения по высоте, сейсмического мониторинга и мониторинга подземных вод. Из трех подвидов мониторинга земель (почв) в полном объеме в настоящее время ведется лишь мониторинг земельного фонда. В мониторинге растительности в полном объеме осуществляется лесной мониторинг.

Развернуты работы по организации локального мониторинга, чему способствовало принятие 8 февраля 1999 г. Постановления СМ РБ «О локальном мониторинге окружающей среды в Республике Беларусь». Постановление обязало субъекты хозяйствования всех форм собственности и подчиненности, деятельность которых оказывает вредное воздействие на окружающую среду, организовать ведение локального мониторинга, разработать и утвердить инструкции, иные нормативно-технические документы по вопросам организации и ведения локального мониторинга.

НСМОС представляет собой совокупность систем наблюдений, оценок и прогноза состояния природных сред и явлений, а также биологических откликов на изменение окружающей среды под влиянием естественных и техногенных факторов с организацией сбора, обработки и представления мониторинговой информации органам

управления и хозяйствования для решения общегосударственных задач рационального природопользования.

Сбор информации на НСМОС осуществляется специалистами ряда соответствующих министерств и других органов управления.

В выполнении работ по Программе НСМОС принимает участие 22 организации, являющиеся субъектами НСМОС (табл. 3).

Таблица 3

Виды мониторинга и организации ответственные за его ведение
в Республике Беларусь

Вид мониторинга	Ответственные за ведение
Медицинский мониторинг	Минздрав, Республиканский центр гигиены и эпидемиологии, Белорусский научно-исследовательский санитарно-гигиенический институт
Мониторинг атмосферного воздуха	Центр радиационного контроля и мониторинга природной среды Госкомгидромета
Мониторинг гидросферы	Центр радиационного контроля и мониторинга природной среды Госкомгидромета, Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт Минприроды
Мониторинг земель (почв): – мониторинг земельного фонда; – агропочвенный; – агротехногенного загрязнения земель	Госкомзем, Минсельхозпрод, БГУ, Минприроды
Мониторинг общего содержания атмосферного озона	Национальный центр мониторинга озоносферы, Институт физики НАН Беларуси
Сейсмический мониторинг	Институт геологических наук НАН Беларуси
Мониторинг физических явлений (факторов)	Минздрав, Республиканский центр гигиены и эпидемиологии, Белорусский научно-исследовательский санитарно-гигиенический институт (в стадии организации)
Радиационный мониторинг	Центр радиационного контроля и мониторинга природной среды Госкомгидромета
Комплексный экологический мониторинг	Минприроды, БелНИЦ «Экология» (в стадии организации)

Вид мониторинга	Ответственные за ведение
Мониторинг растительности: – лесной мониторинг – мониторинг луговой растительности – мониторинг высшей водной растительности	ГЛПО «Белгослес», «Беллесинвест» Минлесхоза, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, БГУ
Мониторинг животного мира	Институт зоологии НАН Беларуси (в стадии разработки)
Мониторинг чрезвычайных ситуаций	МЧС, Центр радиационного контроля и мониторинга природной среды Госкомгидромета (ведется фрагментарно)
Локальный мониторинг	Минприроды (в стадии развития)

В настоящее время в рамках гранта Международного банка реконструкции и развития выполняется проект «Анализ принятой Национальной системы мониторинга, направленный на разработку Концепции ее оптимизации и реализации», призванный оптимизировать систему мониторинга Беларуси и максимально приблизить ее структуру к международным стандартам.

Мониторинговые наблюдения на отдельных сетях в Республике Беларусь

Как сказано выше, наиболее четко поставлена в республике работа в системе мониторинга атмосферного воздуха и гидросферы Госкомгидромета, медицинского мониторинга и мониторинга лесов.

Основной целью мониторинга атмосферного воздуха в республике является постоянное наблюдение за качеством атмосферы, оценка ее исходного состояния, прогноз и выявление тенденций изменений для предупреждения негативных ситуаций, угрожающих здоровью людей и окружающей природной среде. Этот тип мониторинга представляет собой двухуровневую систему наблюдений за качеством атмосферного воздуха. На национальном уровне в воздушном бассейне определяются загрязняющие вещества, единые для всей республики; на региональном – загрязняющие вещества, характерные для конкретного населенного пункта.

Государственная сеть мониторинга атмосферного воздуха к 1996 г. охватывала 15 городов и промышленных центров республики, где наблюдения велись более чем на 45 стационарных постах. Здесь определялось содержание более 30 основных и специфических (характерных для данного города) вредных веществ с отбором проб 3–4 раза в сутки.

Контроль за радиоактивными выпадениями и определение содержания радиоактивных аэрозолей в воздухе осуществляется более чем в 20 пунктах, ежедневное измерение дозы гамма-излучений проводится более чем на 50 постах, равномерно размещенных по территории республики.

Наблюдения за состоянием поверхностных вод проводились на 58 реках, 12 озерах и 20 водохранилищах с определением до 60 гидрохимических показателей и ингредиентов (элементы основного химического состава, взвешенные и органические вещества, биогенные компоненты, основные загрязняющие вещества, тяжелые металлы, пестициды и т. д.), а также четырех гидробиологических показателей – фито- и зоопланктон, фитоперифитон и зообентос. Гидробиологический анализ поверхностных вод и донных отложений выполнялся на 68 водных объектах. Контроль радиоактивного загрязнения поверхностных вод и донных отложений проводится на пяти основных реках Беларуси: Днепр (Речица), Припять (Мозырь), Сож (Гомель), Ипуть (Добруш), Беседь (Светловичи).

На реках Валовка и Мухавец выполняются наблюдения по исполнению Постановления СМ СССР от 16 июля 1976 г. «О мерах по усилению охраны от загрязнения Балтийского моря». Специальными наблюдениями в конце XX в. были охвачены также две болотные скважины и один мелиоративный канал. Кроме того, в республике проводятся ежегодные экспедиционные обследования водных систем.

В системе мониторинга мелиоративных систем наблюдения за гидрохимическим режимом охватывали такие пункты наблюдений, как: «Верховья Ясельды» (Пружанский район Брестской области), «Полесская станция» (Лунинецкий район Брестской области), ВОМС (Сенненский район Витебской области) и «Уздянка» (Узденский район Минской области). Гидрохимические наблюдения (до 25 показателей) здесь проводятся ежесезонно, а на последнем пункте – ежемесячно.

Мониторинговая сеть стационарных пунктов наблюдений за качеством подземных вод включала более 110 фоновых постов (555 скважин) и 56 постов в районах хозяйственных объектов. В пробах воды определения касались более 40 ингредиентов.

Санитарно-эпидемиологическая служба в середине последнего десятилетия XX в. имела в своем распоряжении 152 стационарных пункта, выполнявших отбор и анализ проб воздуха, а также контроль качества питьевой воды. Лаборатории в системе Санэпидслужбы оборудованы для выявления более 100 загрязнителей. Еще с 1992 г. в республике начала

функционировать Республиканская автоматизированная информационная система «Здоровье–окружающая среда», в которую вошли девять городов-исполнителей (Минск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилев, Полоцк, Новополоцк, Орша). В соответствии с целями и задачами этой программы собирается информация о состоянии здоровья населения и качестве окружающей среды по таким показателям, как: заболеваемость, смертность, рождаемость, патологии беременности и рождаемости, численность населения, загрязнение атмосферного воздуха, качество питьевой воды, шумовое загрязнение, метеорологические параметры среды.

Сейсмический мониторинг в Беларуси осуществляется круглосуточно на обсерваториях пятого класса «Плещеницы» и «Нарочь», региональных широкополосных станциях «Брест» и «Гомель», а также высокочастотной станции «Солигорск».

Мониторинг растительности представляет собой основанную на методах фитоиндикации систему длительных и регулярных наблюдений за состоянием экосистем с целью оценки качества среды и прогноза изменений в будущем при существующих уровнях эксплуатации и воздействия на экосистемы или в отсутствие последнего. Объектами мониторинга растительности являются: лесная, луговая, водная растительность, а также растительность специальных защитных насаждений. Как отмечено выше, в республике развитие получила лишь система мониторинга леса.

Мониторинг состояния лесов осуществляется на сети лесного мониторинга. Для этого в республике существуют постоянных пунктов учета, размещенных по сети со сторонами квадратов 16×16 км по всей территории республики и более густо (8×8 , 4×4 , 2×2 и 1×1 км) в районах потенциально экологически опасных (окрестности крупных городов, промышленных объектов, рекреационные зоны и т. п.). Каждый пункт учета включает 24 учетных дерева. Наблюдения за состоянием древесного яруса осуществляются ежегодно в период 15 июля – 15 сентября (для лиственных пород – до 31 августа). Перечень наблюдаемых параметров и периодичность их получения зависят от текущих задач. Среди параметров следует назвать: возраст хвои, процент дефолиации и дехромации листьев, степень повреждения листового аппарата энто- и фито-вредителями, степень плодоношения деревьев, развития мхов и лишайников на стволах. Кроме того, осуществляется оценка прироста древесины, содержания пигментов, загрязнителей в фитомассе, оцениваются параметры экологических режимов лесных фитоценозов (влажность почвы и воздуха, световой и тепловой режимы) и т. д.

Материалы, собираемые на сетях мониторинга, отражаются в специально издаваемых обзорах, ежегодниках и т. д. и имеют важное значение для принятия решений и разработки мероприятий по снижению степени отрицательного воздействия на окружающую среду.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА

Проведение мониторинга, как и любой работы, связанной с получением данных, их оценкой и интерпретацией требует предварительной постановочно-целевой организационной работы. Вот, например, какой алгоритм предварительной работы при организации мониторинга животного мира предлагает Семенченко Виталий Павлович, доктор биологических наук, руководитель Национальной системы мониторинга животного мира Республики Беларусь.

Определение проблем и целей

При разработке системы мониторинга необходимо четко сформулировать ответы на следующие вопросы: «Что необходимо изучать?», «Для чего необходимо изучать?»

Кроме того, необходимо согласовать основные цели и задачи другими видами мониторинга и потребителями информации, оценить необходимые ресурсы (человеческие, финансовые, временные). Исходя из этих требований и разрабатывается проблемная часть системы зоологического мониторинга.

Мониторинг, как правило, имеет четко определенную цель и дает нам возможность узнать, что изменилось.

При создании системы мониторинга необходимо сформулировать ответы на вопросы «Что необходимо изучать?» и «Для чего необходимо изучать?»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ И ЦЕЛЕЙ

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ	ЧТО НЕОБХОДИМО ИЗУЧАТЬ?
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ	ДЛЯ ЧЕГО НЕОБХОДИМО ИЗУЧАТЬ? ЧТО МЫ ХОТИМ УЗНАТЬ?
СОГЛАСОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ	ИССЛЕДОВАТЕЛЬ–ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ
СОГЛАСОВАНИЕ С ДРУГИМИ ВИДАМИ МОНИТОРИНГА	ГИДРОМЕТЕОСЛУЖБА И ДР.
ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	КАКОЕ ВРЕМЯ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ?
ОЦЕНКА СТОИМОСТИ И РЕСУРСОВ	ФИНАНСОВЫЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Применительно к системе зоологического мониторинга республики ответы на вопросы: «Что необходимо изучать?» и «Для чего необходимо

изучать?», т. е. определение цели мониторинга, можно сформулировать следующим образом: **система зоологического мониторинга Республики Беларусь направлена на комплексную и согласованную регистрацию состояния фаунистических образований и отдельных популяций животного мира в различных типах ландшафтов и экосистем с целью оценки современной ситуации и прогнозирования изменений, связанных с экологической обстановкой.**

Уровень наблюдений

Следующий шаг – это выбор уровня наблюдений. Эти уровни могут быть различны или сочетаться друг с другом в зависимости от того, какой (какие) из них необходимы для решения конкретной задачи. Так, если нас интересуют виды, занесенные в Красную книгу, то выбираются первые два уровня наблюдений.

ВЫБОР УРОВНЯ НАБЛЮДЕНИЙ

ПОПУЛЯЦИЯ	РАЗМЕР ПОПУЛЯЦИИ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ДЕМОГРАФИЯ ПОПУЛЯЦИИ
ВИДЫ	ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ РЕДКИЕ ВИДЫ ИНДИКАТОРНЫЕ ВИДЫ КЛЮЧЕВЫЕ ВИДЫ
СООБЩЕСТВО	ВИДОВАЯ СТРУКТУРА РАНГОВАЯ СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА
ЭКОСИСТЕМЫ	УНИКАЛЬНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОХРАНЯЕМЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ТИПИЧНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ	ЗАПОВЕДНИКИ И ЗАКАЗНИКИ НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРКИ ЛАНДШАФТЫ

Шкала наблюдений

Одним из наиболее важных моментов при разработке системы мониторинга, в частности при создании сети мониторинга, является пространственно-временная шкала наблюдений. Пространственная шкала должна охватывать разнообразие территориальной, ландшафтной и экологической дифференциации региона в целом, а временная шкала определять время, необходимое для получения информации и частоту наблюдений. Пространственно-временная шкала должна быть с одной стороны репрезентативной, с другой – соответствовать реальным возможностям (финансовым и человеческим ресурсам и т. д.).

Приведенные выше требования к пространственно-временной шкале справедливы и для конкретного объекта мониторинга, например озера и луга.

ВЫБОР ШКАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ШКАЛА	РЕГИОНАЛЬНАЯ ЛАНДШАФТНАЯ ЭКОСИСТЕМНАЯ ЛОКАЛЬНАЯ
ВРЕМЕННАЯ ШКАЛА	МЕСЯЦЫ СЕЗОНЫ ГОДЫ
ОЦЕНКА УРОВНЯ ДОСТОВЕРНОСТИ	ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЫ
СОЗДАНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ	ПЛОЩАДЬ ТОЧЕК НАБЛЮДЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЕ ТОЧЕК ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧЕК

Планирование исследований

Этот этап является крайне важным и должен тщательно разрабатываться. В особенности это относится к выбору факторов среды и изучаемых показателей.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

УНИФИКАЦИЯ,
СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И КАЛИБРОВКА
МЕТОДОВ

МЕТОДЫ СБОРА
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ
МЕТОДЫ АНАЛИЗА

ВЫБОР ИЗУЧАЕМЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ

ВИДОВОЙ СОСТАВ
ЧИСЛЕННОСТЬ И ДР.

ВЫБОР
ФАКТОРОВ СРЕДЫ

АБИОТИЧЕСКИЕ
БИОТИЧЕСКИЕ
АНТРОПОГЕННЫЕ

РАЗРАБОТКА
ПРОТОКОЛОВ
И БАЗ ДАННЫХ

ЕДИНЫЕ ПРОТОКОЛЫ
СИСТЕМА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
СУЩЕСТВУЮЩИХ
ДАННЫХ

Все, о чем говорилось выше, является общим описанием принципов подхода к созданию системы мониторинга.

4. БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, НЕКОТОРЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Биоиндикация – оценка качества среды обитания и ее отдельных характеристик по состоянию ее биоты в природных условиях. Для учета изменения среды под действием антропогенного фактора составляются списки индикаторных организмов.

Биоиндикатор – группа особей одного вида или сообщества, по наличию или по состоянию которых, а также по их поведению судят о естественных и антропогенных изменениях в среде.

Биоиндикация загрязнения водоемов – система оценки степени загрязнения водоемов, основанная:

- на учете состояния водных биоценозов, присутствии индикаторных организмов;
- на анализе видовой структуры биоценозов;
- на функциональных характеристиках биоценозов и др.

Лихеноиндикация – использование лишайников в качестве биоиндикаторов степени загрязнения атмосферного воздуха, основанное на изучении состава и биологических особенностей лишайнофлоры.

Организм-индикатор – организм с узкими пределами экологической приспособленности (стенобионт), своим поведением, изменением физиологических реакций или самой возможностью существования указывающий на изменения в среде или на ее определенные естественные или антропогенные характеристики.

Организм-индикатор загрязнения – вид, подавленное состояние, исчезновение или усиленное размножение которого сигнализирует о загрязненности среды, а в ряде случаев свидетельствует о степени загрязнения и составе загрязнителей, их кумулятивном действии.

Стенобионты, *Stenobionts*; *Stenotopic organisms* (от греч. *Stenos* – узкий + *Bios* – жизнь).

Стенобионты – организмы, способные существовать лишь в строго определенных условиях окружающей среды и не переносящие их изменений.

Чувствительность – степень реакции биоиндикатора на оказываемое на него воздействие со стороны какого-то вещества, физического или биологического фактора либо со стороны окружающей его среды в целом.

Экологический организм-индикатор, биогеографический организм-индикатор.

Экологический организм-индикатор – стенобионт, приспособленный к жизни в определенной экосистеме и погибающий в других услови-

ях, что дает возможность отличать одно комплексное природное образование от другого.

Глобальный характер воздействия на природную среду влечет за собой и глобальные изменения последней. Поэтому дальнейшее взаимодействие общества с окружающей средой становится невозможным без информации о состоянии биосферы и без прогноза ее изменений под влиянием человеческой деятельности.

Получение информации об окружающей среде возможно либо с помощью химических методов, либо на основе оценки состояния биологических объектов. Метод оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем называется **биоиндикацией**.

Поскольку изменения биологических систем довольно часто могут быть обусловлены антропогенными факторами, то само понятие «биоиндикация» можно сформулировать следующим образом: *«Биоиндикация – это обнаружение и определение биологически и экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ»* [3]. Биологические методы позволяют получать сведения о непосредственной реакции организмов, сообществ или экосистем на естественные или антропогенные изменения, поскольку биота реагирует даже на незначительные изменения внешних условий. Применение биологических методов для оценки среды подразумевает выделение видов животных или растений, чутко реагирующих на тот или иной тип воздействия. Организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки, называются **биоиндикаторами**.

С помощью биоиндикаторов можно обнаруживать места скоплений в экологических системах различного рода загрязнений; по ним можно проследить скорость происходящих в окружающей среде изменений; только по биоиндикаторам можно судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы. Живые биоиндикаторы имеют ряд преимуществ перед химическими методами оценки состояния окружающей среды, широко применяемыми в настоящее время:

- они суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом;
- в условиях хронической антропогенной нагрузки биоиндикаторы могут реагировать на очень слабые воздействия в силу аккумуляции дозы;
- исключают необходимость регистрации физических и химических параметров среды;

- делают необязательным применение дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров; живые организмы постоянно присутствуют в окружающей человека среде и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсикантов, которые можно не регистрировать при помощи автоматической системы контроля с периодичным отбором проб на анализы;
- фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;
- указывают пути и места скоплений различного рода загрязнений в экологических системах и возможные пути попадания этих веществ в пищу человека;
- позволяют судить о степени вредности синтезированных человеком веществ для природы и человека и позволяют контролировать действие этих веществ;
- помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, различающиеся по своей устойчивости к антропогенному воздействию, т. к. одинаковый состав и объем загрязнений может привести к различным реакциям природных систем в разных географических зонах.
- вскрывают тенденции развития окружающей среды.

Существует несколько разных форм биоиндикации. Если две одинаковые реакции вызываются различными антропогенными факторами, то это будет **неспецифическая** биоиндикация. Если же те или иные изменения можно связать с влиянием какого-либо одного фактора, то биоиндикация такого типа называется **специфической**.

Биоиндикаторы по ответным реакциям на внешние воздействия также могут быть отнесены к нескольким типам. Во-первых, у ряда видов животных существенно меняется численность популяций в условиях нарушения среды. Это будут **количественные биоиндикаторы**. Наряду с ними есть **качественные биоиндикаторы**, по присутствию или отсутствию которых также можно дать характеристику биоценоза.

Если индикаторный вид реагирует значительным отклонением жизненных проявлений от нормы, то он является **чувствительным** биоиндикатором. Если накопление антропогенных воздействий большей частью идет без быстро проявляющихся нарушений, то такой индикатор называется **аккумулятивным** [4].

Ряд исследователей, работающих в этой области, предлагают разделить индикаторы на «индикаторы аккумуляции», т. е. химического состава среды и «индикаторы активного мониторинга», непосредственно используемые для наблюдений за состоянием окружающей среды.

Поскольку чувствительность разных организмов, используемых при биоиндикации, может существенно различаться по времени реакции на один и тот же фактор среды, выделяются следующие типы чувствительности биоиндикаторов [5].

1 тип – биоиндикатор спустя определенное время после воздействия дает сильную одноразовую реакцию и тут же теряет чувствительность;

2 тип – внезапная и сильная реакция продолжается известное время, после чего резко исчезает;

3 тип – биоиндикатор реагирует с момента появления нарушающего воздействия с одинаковой интенсивностью в течение длительного времени;

4 тип – после немедленной сильной реакции наблюдается ее затухание, сначала быстрое, потом более медленное;

5 тип – при появлении нарушающего воздействия наступает реакция, интенсивно возрастающая до максимума, а после этого постепенно затухающая;

6 тип – реакция пятого типа неоднократно повторяется.

Использование живых организмов в качестве биологических индикаторов на изменение среды вызывает необходимость разработки ряда критериев, на основе которых можно подбирать индикаторные виды. По отношению к животным такими критериями могут быть: доступность в большом спектре местообитаний в течение сезона, невысокая миграционная способность, питание в загрязняемых экосистемах, высокий метаболизм, быстрое чередование генераций. Этим требованиям, а также ряду других в высокой степени удовлетворяют почвообитающие беспозвоночные, составляющие 90–99 % биомассы, или 95 % видового состава наземных биоценозов. Они реагируют на антропогенное воздействие более чутко и раньше, чем это можно обнаружить на основе анализов почвы и физических измерений. В сельском хозяйстве по почвенным беспозвоночным можно оценивать влияние пестицидов, минеральных удобрений, агротехники. На урбанизированных территориях они являются биоиндикаторами распространения тяжелых металлов, радионуклидов, кислых осадков, загрязнения воздуха, свидетельствуют об изменении водного режима почв при мелиорации земель. Почвообитающие беспозвоночные, подходящие для биоиндикации, имеют следующие достоинства: достаточную многочисленность во всех биотопах, ведут оседлый образ жизни, являются накопителями некоторых элементов, имеют широкий ареал распространения, методы их сбора достаточно хорошо разработаны. Очень важной особенностью этой группы животных является тот факт, что циклы развития многих из них длятся по 3–4 года и в результате даже при малых концентрациях животные получают высокую суммарную дозу загрязняющего вещества. Следует также учитывать, что почвообитающие

беспозвоночные находятся в контакте с загрязняющими почву веществами практически в течение всей своей жизни.

Значение этой группы беспозвоночных как биоиндикаторов велико для биогеоэкологических, сельскохозяйственных и лесохозяйственных исследований, а также организации охраны окружающей среды. С их помощью можно выявлять малые, но уже опасные отклонения в окружающей среде. А следовательно – своевременно принимать меры по устранению или нейтрализации действия антропогенных факторов не дожидаясь, когда благие дела станут бесполезными.

Наряду с беспозвоночными для целей биоиндикации могут быть использованы и животные иных групп, в частности некоторые позвоночные. Требования, предъявляемые к данной группе организмов, несколько отличаются от таковых для беспозвоночных. Это связано с рядом причин, ограничивающих биоиндикационную роль наземных позвоночных животных. В отечественной литературе предлагаются следующие критерии для позвоночных-биоиндикаторов: принадлежность к разным трофическим звеньям (поскольку степень концентрации веществ растет от автотрофов к гетеротрофам и крупным хищникам, целесообразно при индикации какого-либо загрязнения среды брать представителей разных звеньев); оседлость; широкий ареал распространения; сравнительно высокая эвритопность; принадлежность к естественным сообществам (синантропные виды часто весьма существенно отличаются по микроэлементному составу от степени загрязнения региона); простые методы добычи животных. Учитывается также и тот факт, что численность вида должна обеспечивать достаточное количество материала для химанализов. Считается также, что число видов-индикаторов для каждого региона должно быть ограничено. В связи с этим в лесной зоне для целей биоиндикации предлагались следующие виды животных – европейский и алтайский крот, обыкновенная бурозубка, рыжая и красная полевки, бурый медведь, а также лось. Большинство исследователей не предлагается для целей аккумулятивной биоиндикации использование птиц, поскольку в большинстве своем они мигрируют либо перемещаются на большие расстояния и в разных направлениях в поисках корма, что не позволяет оценивать степень загрязнения среды с достаточно высокой надежностью.

Достаточно удобны для биоиндикации земноводные и пресмыкающиеся, хотя и им в настоящее время отведена незначительная роль. В то же время лягушки и ящерицы могут быть четким показателем содержания в почве и воде многих токсичных веществ. Например, при содержании в почве свинца в количестве 22,4 мг/кг сухого вещества, в лишайниках его было 65,2 мг, а в ящерицах 75,3 мг/кг. В теле лягушек в городе содержание свинца в восемь раз выше, чем на селе, а хрома у городских

ящериц в 15 раз больше. Лучшим индикатором загрязнения среды можно считать зеленую жабу. В печени обитающей на суше жабы олова в 70 раз больше, чем у зеленых лягушек в воде.

Несмотря на большое количество критериев для подбора биоиндикаторов среди животных организмов все их можно свести в две основные группы: многочисленность животных и их постоянная связь с антропогенным фактором [6]. На основании этих требований было предложено использовать в качестве биологических индикаторов загрязнения среды мышевидных грызунов, почвенную мезофауну и почвенную микрофауну. Все эти группы животных в настоящее время довольно широко используются в экологическом нормировании радиоактивного загрязнения почв.

Следует, однако, заметить, что надежно классифицировать животных-биоиндикаторов, создать их универсальную систему для всех антропогенных соединений и любых условий невозможно. Слишком по-разному они реагируют на яды, промышленные загрязнения среды и радиоактивные вещества. Однако система биоиндикации на конкретное загрязнение весьма реальна.

Биоиндикация может осуществляться на разных уровнях организации биологических систем. С повышением уровня организации возрастает и сложность системы, вследствие чего биоиндикация более низкого уровня включается в более высокий. К уровням биоиндикации можно отнести: биохимические и физиологические реакции, анатомические и морфологические, поведенческие и биоритмические отклонения, флористические и фаунистические изменения в сообществе, ценотические и биогеоценотические изменения, а также изменения ландшафтов.

Использование биоиндикации с целью оценки изменения среды выдвигает ряд требований, соблюдение которых весьма необходимо для получения достоверных результатов. Среди последних можно назвать следующие: относительная быстрота проведения исследований, получение достаточно точных и воспроизводимых результатов, присутствие объектов, применяемых в биоиндикации в большом количестве и с однородными свойствами, а также диапазон погрешности по сравнению с иными методами тестирования не более 20 % [7]. Поскольку с возрастанием степени воздействия человека на окружающую природную среду биоиндикация приобрела весьма большую актуальность, еще в 1982 г. на XXI Общей ассамблее Международного союза биологических наук была выработана программа «Биоиндикаторы». Эта программа подразделила все биологические системы, которые могут быть использованы в целях биоиндикации, на шесть групп в соответствии с шестью биологическими дисциплинами.

Микробиология. Микроорганизмы быстро реагируют на загрязнение воды и почвы. Некоторые из них весьма чувствительны к определенным веществам, другие участвуют в процессах распада загрязнителей. Перемены в сообществе микроорганизмов могут быть вызваны присутствием в среде их обитания специфических токсических агентов.

Ботаника. Для обнаружения специфических загрязнений воздушного бассейна возможно применение чувствительных видов. К их числу относятся низшие растения, лишайники, грибы, многие высшие растения. Соответствующий подбор организмов позволяет обнаруживать кратковременное либо длительное воздействие загрязнителей. Индикационными свойствами, помимо отдельных видов, обладают и фитоценоотические характеристики растительных сообществ в целом.

Зоология. Изучение отдельных видов и их сообществ может дать много сведений о накоплении химических веществ в теле животных. Данные, полученные с помощью зоологических объектов, могут быть использованы при определении степени токсичности веществ в продуктах питания человека.

Клеточная биология и генетика. Превосходными биоиндикаторами являются клеточные и субклеточные компоненты организма, адаптированные к определенным условиям среды.

Сравнительная физиология. Многие животные при появлении новых агентов в окружающей среде изменяют свое поведение. Некоторые загрязнители нарушают нормальный ход жизненно важных обменных процессов. Химические вещества, попав в организм, могут оказывать воздействие на функционирование ряда систем.

Гидробиология. Зоны распределения или спектр видов, чувствительных к качеству воды, отражают состояние водного бассейна. Необходим лишь подбор соответствующих индикаторных видов для конкретных токсикантов.

В последние годы в связи с быстрым развитием атомной энергетики возникла также необходимость выбора видов-индикаторов для оценки теплового и радиоактивного загрязнения среды [8]. Биомониторинг и биоиндикация в настоящее время довольно широко используются при оценке влияния промышленности на окружающую природную среду и разработке параметров экологического нормирования. **Экологическое нормирование – совокупность проблем, связанных с определением нормы экосистем, изучением их антропогенной трансформации и нахождением предельных величин нагрузок.** Экологическое нормирование имеет большое значение в системе обеспечения экологической безопасности. С целью нормирования загрязнения окружающей среды промышленными выбросами рядом исследователей выделены параметры экосистем, а также компоненты последних, наиболее чувствительные к токсическому влия-

нию загрязняющих веществ. В отношении промышленного загрязнения среды эти компоненты располагаются в следующий ряд:

лишайники > крупные почвенные сапрофаги > почвенные ферменты = почвенные микроорганизмы > лесная подстилка > лесное разнотравье > древесный ярус > подрост > население птиц = население млекопитающих > беспозвоночные-фитофаги = муравьи.

Данный ряд построен на основе анализа параметров надорганизменного уровня. Он имеет большое значение для биоиндикационных работ и экологического нормирования, поскольку является эмпирическим обоснованием выбора наиболее чувствительных компонентов экосистем.

Значительное количество исследований в мире по данному вопросу позволило определить стадии трансформации экосистем и с помощью биоиндикаторов оценить пороговые нагрузки для каждой из этих стадий. Так, в лесных экосистемах вблизи медеплавильного предприятия стадия выпадения чувствительных видов (1-я стадия) наблюдается в том случае, если фоновая нагрузка превышена в 1,5–2 раза. Стадия структурных перестроек экосистемы (2-я) наблюдается при нагрузках в 2,7–4,0 раза выше фона, стадия частичного разрушения экосистемы (3-я) – при превышении фона в 6–7 раз. Наконец, полное разрушение экосистемы отмечается при нагрузках в 10 и более раз выше фона.

Многолетние работы позволили разработать информативные параметры лесных экосистем для мониторинга и экологического нормирования. Для древесного яруса к их числу относятся:

- общий запас древостоя;
- доля сухостоя по запасу;
- масса отпада деревьев;
- продуктивность древостоя (средний радиальный прирост древостоя за год);
- масса фотосинтетически активных фракций (индекс листовой поверхности, соотношение биомасс ассимилирующих и запасающих органов);
- плотность подроста, всходов и самосева доминирующих пород.

Параметрами живого напочвенного покрова являются: биомасса травянисто-кустарничкового яруса (проективное покрытие), биомасса мохового яруса (проективное покрытие), доля рудеральных и адвентивных видов, продуктивность ягодников, лекарственных растений, съедобных грибов.

Для почвы это – скорость разложения активных фракций опада (масса подстилки и ее толщина, подстильно-опадочный коэффициент, скорость деструкции экспонируемой в почве чистой целлюлозы), запас гумуса в почвенном профиле, буферность почв против кислотных агентов, акту-

альная кислотность почвенного раствора верхних горизонтов, запас доступных растениям соединений азота и фосфора.

Среди параметров почвенной биоты следует назвать общую численность почвенной мезофауны, плотность дождевых червей (а также диплопод в широколиственных лесах), биомассу почвенных грибов, интенсивность почвенного дыхания, азотфиксации и нитрификации.

Для фауны наземных ярусов предлагается оценивать плотность населения орнитофауны.

Следует заметить, что население почвообитающих беспозвоночных в разных географических зонах и ландшафтах дает сходные реакции и на разные виды загрязнений. Прежде всего, они проявляются в уменьшении общего обилия, снижении таксономического разнообразия, возрастании доли эвритопных видов, увеличении пространственной неоднородности и перемещении основной массы животных в нижние горизонты почвы, а также изменении трофической структуры сообщества в сторону возрастания доли зоофагов. Все эти показатели могут быть использованы в биомониторинге и экологическом нормировании. Что же касается орнитофауны, то здесь в биоиндикационных работах используются такие показатели, как общая численность, структура населения, видовое богатство, плодовитость, количество вылупившихся птенцов, параметры яиц, динамика роста и масса птенцов накануне вылета, параметры крови птиц, ферментативная активность и другие. Популяционные и организменные показатели позволяют достаточно четко определить объективный порог, за которым наблюдаются патологические изменения – исследуемая группировка птиц не воспроизводит себя либо энергетические ресурсы яиц и слетков не обеспечивают необходимую жизнеспособность вылупляющихся птенцов и молодых птиц.

5. БИОМОНИТОРИНГ

Под *биологическим мониторингом* понимают систему наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биоте, вызванных факторами антропогенного происхождения.

Загрязнение – *привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, информационных или биологических агентов или превышение в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня (в пределах его крайних колебаний) концентрации перечисленных агентов в среде, нередко приводящее к негативным последствиям.*

Таким образом, трактовка понятия «биомониторинг» весьма широкая: от наблюдения за самими живыми организмами до наблюдения за состоянием каких-либо экологических факторов при помощи живых организмов.

Биомониторинг можно определить как проводимый методами биоиндикации мониторинг качества, «здоровья» окружающей среды, ее отклонения от сбалансированного оптимума.

Сам термин **«здоровье среды»** тоже далеко не нов. Он используется как ведущими учеными-экологами, так и экологами-практиками. Под **«здоровьем среды»**, в самом общем смысле, понимается ее состояние (качество), необходимое для обеспечения здоровья человека и других видов живых существ. Концепция здоровья среды все шире распространяется среди экологов всего мира. **Основным индикатором устойчивого развития в конечном итоге является качество среды обитания.**

Обеспечение здоровья среды – по-видимому, единственно возможный путь поддержания баланса между интересами хозяйственной деятельности и обеспечением экологической безопасности населения.

Как критерий качества среды он уже используется и достаточно обоснован научно. А в настоящее время разрабатывается его использование для экономических оценок и создания нормативно-правовой базы оценки экологического риска и ущерба здоровью человека по здоровью среды.

В качестве насущных задач для дальнейшего развития и практического использования концепции здоровья среды отмечаются следующие:

- необходимость дальнейшей разработки понятия здоровья среды как основы для обеспечения здоровья человека;
- разработка критериев и единой системы оценки здоровья среды.

Мониторинг здоровья среды – это система наблюдений, анализа и моделирования качества среды с последующей оценкой и прогнозом ее состояния на основе биоиндикационных методов [9].

6. МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

6.1. Биоиндикация загрязнения атмосферы

Изучение состояния атмосферного воздуха с помощью растений-индикаторов

Под влиянием ухудшения качества атмосферного воздуха у отдельных особей или групп некоторых растений отмечаются различные изменения: необычная окраска листвы, опадение листвы, изменение формы роста, плотности популяции, ареала вида и т. д. Наблюдая эти изменения, можно констатировать избыточное присутствие в атмосфере какого-либо газа (табл. 4).

Таблица 4

Признаки повреждения растений под влиянием химических веществ

Воздействующий газ	Растение	Внешние признаки повреждения растений
Диоксид серы	Сосна обыкновенная	Побурение кончиков игл хвоинок
	Ель европейская	Хвоя буреет и опадает
	Ясень американский	Обширное межжилковое обесцвечивание листьев
	Папоротник (орляк обыкновенный)	Красноватый некроз по краям
	Лишайники	Массовая гибель
Фтористый водород	Пихта европейская	Цвет поврежденных участков хвои меняется от зеленого до красновато-бурого
	Гладиолус	Некротическая ткань появляется на вершине листа, а затем распространяется вниз по всей ширине листа
	Абрикос	Края листьев обесцвечиваются, узкая красно-бурая полоса отделяет отмершую часть листа от живой
Смог	Бегония, бобы, томаты	Погибают при образовании смога

Воздействующий газ	Растение	Внешние признаки повреждения растений
Озон	Сосна Веймутова	Концы игл приобретают красновато-коричневый цвет, наблюдается крапчатость хвои
	Редис, томаты	Погибают при избытке озона
	Табак	Появление белых и беловато-серых точек и пятен на листьях
	Картофель	Серые, металлического оттенка пятна на верхней стороне листа
	Ясень американский	Красновато-пурпурные точки на старых листьях
Аммиак	Липа сердцевидная	На нижней части листьев появляется глянцеватость или серебристость, при значительных концентрациях листья становятся тускло-зелеными, затем – бурыми и даже черными

Изучение степени запыленности воздуха

Для определения количества пыли, осаждающейся из атмосферного воздуха на поверхность земли, исследуйте запыленность листьев растений. Для эксперимента соберите зеленые части растений в различных местах: у дороги, близ жилых домов, у поверхности водоемов, в парке, близ промышленных предприятий. Для определения степени влияния промышленных предприятий на качество атмосферного воздуха опытные растения лучше брать через равные промежутки от источника загрязнения. В качестве экспериментальных образцов лучше всего брать листья, незатененные частями других растений.

1-й способ

Оборудование: клеящаяся прозрачная пленка.

Ход работы

1. Собранные листья приложите к клеящейся прозрачной пленке.
2. Снимите пленку и той стороной, где отпечатался контур листа вместе со слоем пыли, прикрепите на белую бумагу. Подпишите место и дату сбора.
3. Повторите эксперимент при различных метеоусловиях: после дождя, во время засухи.

4. Сравните степень запыленности листьев растений различных мест обитания и влияние состояния атмосферы на качество воздуха.

2-й способ

Оборудование: емкость с водой, воронка, фильтры (по числу исследуемых растений), рамка для определения площади исследуемых листьев, весы.

Ход работы

1. Выберите листья для эксперимента. Пометьте их бирками.
2. При помощи специально подготовленной рамки (из прозрачного материала, внутренний размер 10×20 см, разделена на квадраты 2×2 см) определите площадь исследуемых листьев, не срывая их.
3. Не срывая, осторожно и тщательно вымойте их.
4. Во время проведения эксперимента (1 и более недель) отмечайте преобладающее направление ветра. Если исследуется придорожная полоса, подсчитайте среднее количество машин, проходящих по дороге в течение часа.
5. Промаркируйте и взвесьте фильтры.
6. Через установленный период времени аккуратно и тщательно обмойте листья в емкости с водой, не срывая их. Профильтруйте воду в емкости. Обмойте емкость водой и снова профильтруйте. Высушите фильтр.
7. Измерьте массу каждого фильтра после просушивания на весах.
8. Определите массу пыли, отняв из полученной массы фильтров их первоначальную массу.
9. Вычислите количество пыли, выпавшей на 1 кв. м поверхности листвы по формуле

$$m = M_{\text{общая}} / s.$$

10. Подсчитайте скорость осаждения пыли в сутки, час, минуту.
11. Сделайте вывод о степени запыленности атмосферного воздуха на исследуемой территории. Сравните с данными исследований других районов.

Оценка состояния древостоя смешанного леса с использованием простейшей шкалы

Цель работы: Оценить влияние вредных факторов на лес и собрать данные для прогнозирования дальнейших его изменений.

Ход работы

1. Выбирают ключевой участок и закладывают пробную площадку размером в 100 м².
2. Определяют все виды деревьев, здесь произрастающих.

3. По внешним признакам (с использованием шкалы визуальной оценки состояния деревьев) определяют баллы состояния отдельных деревьев каждого вида (b_1 , b_2 и т. д.).

4. Вычисляют средний балл состояния каждого вида деревьев по формуле

$$K_i = \Sigma b_i / N_i,$$

где K_i – коэффициент состояния i -го вида деревьев,

b_i – баллы состояния отдельных деревьев,

N_i – общее число учтенных деревьев i -го вида,

Σ – сумма.

Коэффициент состояния лесного древостоя в целом (K) определяется как среднее арифметическое средних баллов состояния различных деревьев на пробной площадке:

$$K = \Sigma K_i / R,$$

где K_i – коэффициент состояния i -го вида деревьев,

R – число видов деревьев.

Состояние леса оценивают по следующим критериям:

$K < 1,5$ – здоровый древостой (I),

$K = 1,6-2,5$ – ослабленный древостой (II),

$K = 2,6-3,5$ – сильно ослабленный лес (III),

$K = 3,6-4,5$ – усыхающий лес (IV),

$K > 4,6$ – погибший лес (V).

Таблица 5

Шкала визуальной оценки состояния деревьев по внешним признакам

Балл	Характеристика состояния деревьев
1	Деревья здоровые, без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме
2	Ослабленные деревья. Крона слабоажурная, отдельные ветви усохли. Листья или хвоя часто с желтым оттенком. У хвойных деревьев на стволе сильное смолотечение и отмирание коры на отдельных участках
3	Сильно ослабленные деревья. Крона изрежена, со значительным усыханием ветвей. Вершина сухая. Листья светло-зеленые, хвоя с бурым оттенком. Она держится 1–2 года. Листья обычно мелкие. Иногда бывают увеличены. Прирост снижен или отсутствует вовсе. Сильное смолотечение. Значительные участки коры отмерли

Балл	Характеристика состояния деревьев
4	Деревья усыхающие. Наблюдается усыхание ветвей по всей кроне. Листья мелкие, недоразвитые, бледно-зеленые с желтым оттенком. Отмечается ранний листопад. Хвоя повреждена на 60 % от общего количества. Прирост отсутствует. На стволах отмечаются признаки заселения короедами и другими вредителями)
5	Сухие деревья. Крона сухая. Листьев нет. Хвоя желтая или бурая, осыпается или уже осыпалась. Кора на стволах отслаивается или отпала. Стволы заселены ксилофагами (потребителями древесины)

Индикация загрязнения окружающей среды по качеству пыльцы растений

Цель работы. Оценить состояние окружающей среды на основании качества пыльцевых зерен у растений отдельных видов.

Ход работы

Для работы берут пыльцу из пыльников как у культурных видов растений, так и у дикорастущих. Пыльца извлекается из пыльников и помещается на предметное стекло. После этого сюда же наносится капля раствора йода (2 мл 5%-й йодной настойки разбавляют водой до 10 мл). Пыльцевые зерна должны находиться в растворе, а не на его поверхности! Препарат выдерживают в течение 2 мин., после чего накрывают покровным стеклом и рассматривают под микроскопом. Подсчитывают количество нормальных и abortивных пыльцевых зерен по нескольким полям зрения (нормальные – интенсивно окрашены, одинаковы по размеру и форме; abortивные – не окрашены или окрашены слабо, разных размеров и неправильной формы). После этого подсчитывают процент нормальных зерен по каждому цветку, взятому на анализ. Обычно у растений в нормальных условиях пыльца имеет хорошее качество, процент нормальных зерен близок к 100. Повышенное загрязнение среды произрастания может снизить процент нормальных зерен до 50 и даже ниже.

Биоиндикация загрязнения воздуха по состоянию хвои сосны

Цель работы. Оценить газодымовое загрязнение воздушной среды по состоянию хвои сосны.

Ход работы

Для работы подбирают участки сосновых насаждений, располагающиеся как в условиях сильного загрязнения, так и на мало загрязняемой

территории (более удаленной от источника выбросов в атмосферу). На открытом месте подбирают молодые сосны высотой 1–1,5 м, отстоящие друг от друга на 20–25 м. Если деревья на выбранном участке высоки, то обследование можно проводить с использованием одного из боковых побегов четвертой сверху мутовки. При проведении работы внимательно осматривают хвою второго сверху участка центрального побега (участок предыдущего года) и по шкале определяют класс повреждения и усыхания хвои (при оценке степени повреждения хвои не обращают внимание на более светлую окраску самого кончика хвоинки, поскольку он на самом деле более светлый).

Виды повреждения и усыхания хвои представлены на рис. 2.

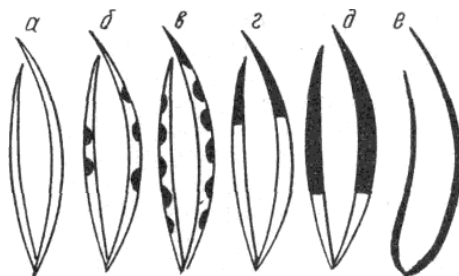


Рис. 2. Виды повреждения и усыхания хвои.

а – хвоя без пятен (КП1), нет сухих участков (КУ1); *б* – хвоя с небольшим числом мелких пятен (КП2), нет сухих участков (КУ1); *в* – хвоя с большим числом черных и желтых пятен (КП3), усох кончик 2–5 мм (КУ2); *г* – усохла треть хвои (КУ3); *д* – усохло более половины длины хвои (КУ4); *е* – вся хвоя желтая и сухая (КУ4); КП – класс повреждения (некрозы); КУ – класс усыхания хвои

При проведении работы для получения достоверных результатов обычно отбирают 200–300 хвоинок. Разбор их проводится в лаборатории. Все хвоинки делятся на группы в соответствии с вышеприведенными классами усыхания и повреждения. После этого данные нынешнего года сравнивают с предыдущими и находят изменения либо сравнивают полученные результаты из районов загрязнения и контрольного.

При проведении данной работы можно также провести оценку продолжительности жизни хвои. Каждая мутовка сверху – год жизни дерева. В исследованиях определяют, сколько лет сохраняется хвоя. Причем, если на самом нижнем из охвоенных участков часть хвои опала, то оценивается примерная доля сохранившейся хвои. Следовательно, полный возраст хвои определяется числом участков ствола с полностью сохраненной хвоей плюс доля сохраненной хвои на следующем за ними участке.

Определив класс повреждения и продолжительность жизни хвои, можно оценить класс загрязненности воздуха по табл. 6.

Таблица 6

Определение класса загрязненности воздуха по состоянию хвои сосны

Максимальный возраст хвои	Класс повреждения хвои на побегах 2-го года жизни		
	1	2	3
4	I	I–II	III
3	I	II	III–IV
2	II	III	IV
2	–	IV	IV–V
1	–	IV	V–VI
1	–	–	VI

Примечание: I – идеально чистый воздух, II – чистый, III – относительно чистый («норма»), IV – заметно загрязненный («тревога»), V – грязный («опасно»), VI – очень грязный («вредно»), «–» – невозможное сочетание.

Оценка состояния генеративных органов сосны обыкновенной

Цель. На основе анализа состояния шишек у сосны обыкновенной оценить степень загрязнения среды.

Ход работы

Для проведения исследований подбирают несколько ключевых участков в зоне загрязнения и на удалении от последней (контрольный участок). При этом контрольный участок подбирают таким образом, чтобы условия лесопроизрастания и возраст деревьев были сходными с загрязняемым участком.

В зимнее время или осенью на каждом участке собирают по 100–200 шишек (по 10 шишек с 10–20 деревьев 30–40-летнего возраста) и определяют линейные размеры штангельциркулем. После этого находят средний размер одной шишки с контрольного и загрязненного участка и сравнивают их статистически. Если работу проводят в течение ряда лет, то контрольный участок подбирать не обязательно, т. к. об изменении среды можно судить по изменениям размеров шишек на одном и том же участке.

Определение загрязненности атмосферы по состоянию прироста деревьев за последние годы

Цель работы. Оценить качество атмосферного воздуха по степени линейного прироста деревьев в течение ряда лет.

Ход работы

Установлено, что в условиях загрязнения атмосферы прирост деревьев по высоте может снижаться на 20–60 % по сравнению с незагрязняемыми территориями.

Для работы этим методом в сентябре на ключевых участках (загрязненный и контрольный) осматривают сосновый древостой 10–15-летнего возраста. На каждом исследуемом участке закладывают трансекту (линию через участок в определенном направлении), вдоль которой у 100 или большего числа деревьев проводят оценку длины центрального побега между двумя верхними мутовками (прирост последнего года) и определяют среднюю величину прироста. После этого собранные данные сравнивают с таковыми за предыдущий год и находят разницу (если таковая будет). Если в предыдущие годы работа не проводилась, то просто сравнивают средние значения для деревьев с загрязненного и контрольного участков и также выявляют различия.

Биоиндикация загрязненности воздуха с помощью лишайников

Определитель лишайников можно найти в интернете по адресу <http://fadr.msu.ru/opred/>

Цель работы. Оценить экологическую обстановку в городе или районе с помощью лишайников.

Ход работы

Работа может выполняться двумя методами. Во-первых, оценку загрязнения воздушной среды можно проводить на естественно произрастающих лишайниках, во-вторых, для этого можно привнести лишайники на субстрате, взятые из других районов.

Наиболее простой метод оценки загрязненности воздуха – с использованием индекса палеотолерантности.

Для этого на исследуемой территории подбирают пробные площадки. На площадке выбираются 10 деревьев одного вида, одного возраста, диаметра и с одинаковой структурой коры. На каждом дереве закладывают 4 эталонные площадки в двух экспозициях (в направлении источника загрязнения и противоположно) на двух высотах (у основания ствола и на высоте 1,4–1,6 м). На каждой площадке описывают виды лишайников и их проективное покрытие. Для оценки последнего используют прозрачную рамку со стороной 10 см, разбитую на 100 квадратиков. Оценка покрытия можно давать по шкале: 1 – 1–3 %, 2 – 3–5 %, 3 – 5–10 %, 4 – 10–20 %, 5 – 20–30 %, 6 – 30–40 %, 7 – 40–60 %, 8 – 60–80 %, 9 – 80–100 %. Оценив число видов и их проективное покрытие (для каждого вида) проводят вычисления индекса палеотолерантности по формуле

$$IP = \sum a_i c_i / C_{in},$$

где n – количество видов на площадке описания;

a_i – класс (степень палеотолерантности – выносливости по отношению к загрязнению атмосферного воздуха);

c_i – покрытие вида;

C_{in} – суммарное покрытие видов.

После обследования всех деревьев и описания большого числа площадок можно вычислить средние показатели IP для каждого дерева и каждого местообитания с более-менее гомогенным фоном загрязненности. Показатели IP колеблются от 0 до 10. Чем выше значение индекса, тем более грязен воздух. Рассчитав индексы палеотолерантности для разных районов, можно построить карту загрязненности города.

Таблица 7

Классы палеотолерантности лишайников

Классы палеотолерантности	Виды лишайников
III	<i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Lecidea glomerulosa</i>
IV	<i>Cetraria pinastri</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> , <i>Physcia aipolia</i>
V	<i>Lecanora chlorotea</i> , <i>Physconia grisea</i> , <i>Evernia prunastri</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Ramalina farinacea</i>
VI	<i>Arthonia radiata</i> , <i>Pertusaria discoidea</i> , <i>Lecanora chloronea</i> , <i>Parmella exasperatula</i> , <i>Usnea hirta</i> , <i>Physconia pulverulenta</i> , <i>Ramalina fraxinea</i>
VII	<i>Pertusaria amara</i> , <i>Psora scalaris</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Physcia tenella</i> , <i>P. tribacea</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i>
VIII	<i>Lecanora allophana</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Caloplaca cerina</i>
IX	<i>Physcia stellaris</i> , <i>Phaeophysconia orbicularis</i> , <i>Xanthoria parietina</i>
X	<i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>Lecanora hageni</i> , <i>Lepraria aeruginosa</i>

В более упрощенном виде исследования можно проводить просто методом оценки видового состава лишайников. На деревьях фиксируют наличие или отсутствие того или иного вида. Полученные цифровые данные о числе видов лишайников в том или ином районе наносят на карту. Самые большие значения видового богатства будут соответствовать наиболее чистым зонам. Снижение числа видов указывает на возрастание степени загрязнения воздуха.

В случае невозможности оценки видового состава работу можно провести следующим образом:

В районе исследований закладывают площадки. На деревьях проводят оценку проективного покрытия и рассчитывают средний балл встречаемости и покрытия (см. табл. 8) лишайников следующих групп: накипных (Н), листоватых (Л) и кустистых (К). Зная балл средней встречаемости и покрытия лишайников каждой группы, можно легко рассчитать показатель относительной чистоты атмосферы (ОЧА) по формуле

$$\text{ОЧА} = \text{Н} + 2\text{Л} + 3\text{К} / 30.$$

Чем выше показатель ОЧА (ближе к единице), тем чище воздух местообитания, поскольку имеется прямая связь между ОЧА и средней концентрацией диоксида серы в атмосфере.

Таблица 8

Оценки частоты встречаемости и степени покрытия по пятибалльной шкале

Частота встречаемости, %		Степень покрытия, %		Балл оценки
Очень редко	менее 5	Очень низкая	менее 5	1
Редко	5–20	Низкая	5–20	2
Редко	20–40	Средняя	20–40	3
Часто	40–60	Высокая	40–60	4
Очень часто	60–100	Очень высокая	60–100	5

Для оценки чистоты воздуха можно использовать метод пересадки лишайников из чистой зоны в грязную. Напочвенные лишайники переносят с почвой, вырезая участки размером 20×20 или 50×50 см. Кустистые можно подвешивать в сетках или разных сосудах. Эпифитные переносят на коре или ветках, на которых они росли прежде. На исследуемом участке лишайники закрепляют. Например, эпифиты прикрепляют к деревьям тех же пород, на которых они росли. Можно располагать лишайники на столбах или досках.

Через 4–12 мес. оценивают изменения пересаженных лишайников по четырехбалльной шкале:

- 1 – повреждений нет;
- 2 – незначительные повреждения;
- 3 – сильное повреждение;
- 4 – слоевище полностью повреждено.

Помимо этого, анализируют окраску слоевища, появление на нем пятен, уменьшение степени прикрепления лишайников к субстрату и т. д.

6.2. БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

Оценка солевого загрязнения почвы по листьям липы

Липа весьма чувствительна к загрязнению почвы солями, попадающими сюда вместе с песком в зимний период. Показателем реакции является краевой хлороз на листьях. Поэтому по величине повреждения листовых пластинок липы можно судить о степени засоления газонов.

Цель работы. Установить, насколько сильно засолена почва городских газонов солью, вносимой на дороги в зимний период.

Ход работы

Исследования лучше проводить во второй половине июля (по август). При выполнении работы внимательно осматривают листья лип, растущих вдоль городских улиц. Фиксируют все повреждения листовой пластинки по следующей шкале:

- на крае листа имеется узкая желтая полоска – первая степень загрязнения почвы (в почве отмечаются следы соли);
- сильный хлороз проявляется в виде широкой краевой полосы – вторая степень загрязнения почвы (в почве наблюдается среднее количество соли);
- обширный краевой некроз с желтой пограничной полоской – третья степень загрязнения;
- большая часть листовой пластинки отмирает – четвертая степень загрязнения (количество соли в почве крайне велико и граничит с пределами выносимости вида).

Исследуя характер повреждения листьев по городским кварталам и районам, можно построить карту засоления почв города и разработать предложения по оздоровлению почв газонов.

Индикация состояния окружающей среды по частотам встречаемости фенов белого клевера

Влияние антропогенных факторов довольно часто отражается на фенотипической структуре популяций растительных и животных организмов. Частота встречаемости некоторых фенотипов является биологическим индикатором загрязнения окружающей среды.

У белого клевера, распространенного довольно широко, в качестве индикатора загрязнения среды может быть использована форма седого рисунка на листьях.

Цель работы. На основании изучения частоты встречаемости различных фенотипов клевера белого дать оценку загрязнения среды под влиянием выбросов промышленного предприятия.

Ход работы

При выполнении работы в районе расположения какого-либо промышленного предприятия, оказывающего влияние на окружающую среду путем выброса в атмосферу загрязняющих веществ, подбирают участок, на котором встречается клевер белый. На этом участке, двигаясь по трансекте, исследователь фиксирует все куртинки клевера и определяет фенотип (для этого можно воспользоваться рисунками из некоторых руководств или самому оценивать разные фенотипы, которые будут встречаться. Например, на одной куртинке на листьях клевера имеются белые полосы, расположенные в виде незамкнутых треугольников, на другой куртинке – в виде штрихов и т. д. Иногда могут наблюдаться белые пятна в основании листочков, а также пятна и штрихи на листьях. Исследователи могут сами составить атлас рисунков разных фенов и использовать их в дальнейшей работе).

Отсчеты фенов следует проводить не чаще, чем через 2–3 шага. Закончив движение по одной трансекте, меняют направление и продолжают работу. Если в какой-либо точке площадки обнаруживают два разных фена на одной куртине, то они не учитываются, поскольку здесь будет переплетение куртинок.

В ходе работы можно также фиксировать степень повреждения листовой пластинки листогрызами, отклонения формы листьев от нормы и т. д.

Данные по каждому фену заносятся в соответствующие графы таблицы.

По окончании полевых исследований рассчитывают частоты встречаемости отдельных фенов P_i , а также суммарную частоту встречаемости всех форм с рисунком (индекс соотношения фенов «ИСФ»):

$$P_i = 100 \% \cdot n_i / N,$$

$$\text{ИСФ} = 100 \% \cdot (n_2 + n_3 \dots) / N,$$

где P_i – частота i -го фена;

n_i – количество учтенных растений с i -м рисунком на листовой пластинке (n_1 – число растений без «седого» рисунка);

N – общее количество учтенных растений.

Результаты расчетов заносят в таблицу.

Результаты фенотипической диагностики пробной площадки №

Количество растений					Процент фенотипов			
Фен 1 (без рисунка)	Фен 2	Фен 3	Фен...	Всего	Фен 2	Фен 3	Фен...	ИСФ

По величине ИСФ при достаточно большом количестве пробных площадок на исследуемой территории можно выделить наиболее антропогенно нагруженные участки. На чистых территориях величина ИСФ не превышает 30 %, а на загрязняемых может повышаться до 70–80 %.

Биоиндикация состояния почв по наличию тех или иных видов растений

Растения могут служить хорошими показателями водного режима, трофности, кислотности почв, а также их загрязнения отдельными элементами. Поэтому даже по присутствию тех или иных видов растений на исследуемой территории можно получить некоторые сведения о состоянии здесь почв.

Растения – индикаторы кислотности почв

Выделяют три основные группы растений по отношению к кислотности почв: ацидофилы – растения кислых почв, нейтрофилы – обитатели нейтральных почв, базифилы – растут на щелочных почвах. Обнаружив на исследуемой территории тот или иной вид растения и зная его принадлежность к одной из вышеназванных групп, можно примерно оценить кислотность почв (табл. 9) [10].

Таблица 9

Растения – индикаторы кислотности почв

Группа растений	Виды-биоиндикаторы	Кислотность почвы
Крайние ацидофилы	Сфагнум, зеленые мхи (гилокомиум, дикранум), плауны (булавовидный, годичный, сплюснутый), ожика волосистая, пушица влагалищная, подбел многолистный, кошачья лапка, кассандра, цетрария, белоус, щучка дернистая, хвощ полевой, щавелек малый	3,0–4,5
Умеренные ацидофилы	Черника, брусника, багульник, калужница болотная, сушеница, толокнянка, седмичник европейский, белозор болотный, фиалка собачья, сердечник луговой, вейник наземный	4,5–6,0
Слабые ацидофилы	Папоротник мужской, орляк, ветреница лютичная, медуница неясная, зеленчук непарный, колокольчик крапиволистный и широколистный, бор развесистый, осока волосистая, осока ранняя, малина, смородина черная, вероника длиннолистная, горец змеиный, иван-да-марья, кисличка заячья	5,0–6,7
Ацидофил-нейтральные	Ива козья, мох плеврозиум Шребера	4,5–7,0

Группа растений	Виды-биоиндикаторы	Кислотность почвы
Нейтрофильные	Сныть европейская, лисохвост луговой, клевер горный, клевер луговой, мыльнянка лекарственная, аистник цикутный, борщевик сибирский, мятлик луговой	6,0–7,3
Нейтрально-базофильные	Мать-и-мачеха, пупавка красильная, люцерна серповидная, келерия, осока мохнатая, лядвенец рогатый, лапчатка гусиная	6,7–7,8
Базифильные	Бузина сибирская, вяз шершавый, бересклет бородавчатый	7,8–9,0

***Фитоиндикация избыточного содержания
некоторых химических элементов в почве***

Растения могут весьма чувствительно реагировать на избыточное содержание некоторых элементов, в частности, металлов, в почве. При этом может изменяться окраска листовой пластинки, наблюдаются хлорозы и некрозы. Следовательно, оценив состояние растений на той или иной территории, можно сделать некоторые выводы о загрязненности почвы.

Таблица 10

Признаки избыточного содержания некоторых микроэлементов в почве

Элемент	Реакция растения
Цинк	Обесцвечивание и отмирание тканей листа, пожелтение молодых листьев, отмирание верхушечных почек, окрашивание жилок в красный или черный цвет. Первые признаки проявляются на молодых растениях
Медь	Хлороз молодых листьев. При этом жилки остаются зелеными
Марганец	Междужилковый хлороз, некроз тканей. Молодые листья искривляются и сморщиваются
Железо	На молодых листьях хлороз между жилками, которые остаются зелеными. Позднее лист становится беловатым или желтым
Кобальт	Вдоль основных жилок листа появляются заполненные водой прозрачные участки. Идет некроз ткани. Позднее листья приобретают коричневую окраску и опадают
Фосфор	Общее пожелтение листьев взрослых растений. Некроз тканей. У старых листьев на конце и по краям появляются некротические пятна
Магний	Листья слегка темнеют и немного уменьшаются. На поздних стадиях роста их концы втянуты и отмирают

Элемент	Реакция растения
Калий	На ранний стадиях наблюдается слабый рост растений, удлинение междоузлий, светло-зеленая окраска листьев. На поздних стадиях на листьях появляются сухие пятна, листья вянут и опадают
Сера	Общее огрубление растений, уменьшение листьев, отвердение стебля. Позднее листья могут скручиваться внутрь, их края становятся коричневыми, а затем бледно-желтыми
Хлор	общее огрубление растений, листья мелкие, тускло-зеленые. У некоторых растений на старых листьях появляются пурпурно-коричневые пятна и листья опадают
Азот	Местное повреждение. На краях листьев развивается хлороз, распространяющийся между жилками. Позднее появляется коричневый некроз, листья сворачиваются и опадают
Кальций	Междужилковый хлороз с беловатыми и некротическими пятнами, которые могут быть окрашены или заполнены водой. Иногда наблюдается рост листовых розеток, отмирание побегов и опадение листьев
Бор	Хлороз кончиков и краев листьев, распространяющийся между жилками. Листья становятся бледно-желтыми или беловатыми. На краях листьев наблюдаются ожоги и некроз

Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха

Кресс-салат – однолетнее овощное растение, весьма чувствительное к загрязнению среды тяжелыми металлами и выбросами автотранспорта. Под влиянием загрязнителей могут изменяться корни и побеги этого растения, нарушается всхожесть семян. Ввиду простоты выращивания и биоиндикационного использования кресс-салат может быть весьма удобным объектом биомониторинга.

Цель работы. Оценить степень загрязнения среды с помощью семян и проростков кресс-салата.

Ход работы

Предварительно проверяют семена на всхожесть. Для этого в чашки Петри или иные емкости слоем в 1 см насыпают промытый речной песок, который прикрывают фильтровальной бумагой. Проращивание семян в чашках ведут при температуре 20–25 °С. Норма – проращивание 90–95 % семян за 3–4 суток.

Затем проводят оценку загрязнения субстрата. Для этого чашки Петри наполняют до половины исследуемым субстратом. Параллельно ставят опыт на чистом субстрате. Во все чашки на увлажненный субстрат укладывают по 50 семян. Расстояние между ними должно быть более-менее

одинаковым. После этого семена покрывают тем же субстратом. В течение 10–15 сут. наблюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов на одном уровне. Данные по числу проросших семян за каждые сутки заносят в таблицу.

Уровни загрязнения субстрата, которые можно установить по прорастанию семян:

- нет загрязнения – всхожесть семян достигает 90–100 %. Всходы дружные, проростки крепкие, ровные.
- слабое загрязнение – всхожесть 60–90 %. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные.
- среднее загрязнение – всхожесть 20–60 %. Проростки тоньше и короче, нежели в контроле. Некоторые проростки имеют морфологические отклонения.
- сильное загрязнение – всхожесть очень слабая (до 20 %). Проростки мелкие и уродливые.

При проведении работы следует иметь в виду, что в гумусированной, хорошо аэрированной почве всхожесть и качество проростков всегда лучше, чем в тяжелой, глинистой.

С целью индикации загрязнения среды автотранспортом кресс-салат можно выращивать на балконах нижних и верхних этажей. Тогда можно четко отметить, на каком уровне от земли идет загрязнение воздуха.

6.3. БИОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Существуют очень точные методы биоиндикации качества вод. Особенно часто используются методы, основанные на изучении видового состава зоопланктона и фитопланктона. Но работать по ним могут лишь специалисты, знающие водных обитателей. Однако есть довольно простые методы. Но результат работы по ним весьма ненадежен. Мы выбрали для работы два метода, которые в наилучшей пропорции сочетают эти важные свойства: простоту и точность оценки. Полученные с ее помощью данные могут считаться *лишь рабочей, предварительной оценкой*.

Описание объекта мониторинга

В начале работы необходимо описать объект мониторинга, в нашем случае – водоем.

В такое описание входят:

1. Размеры водоема (ширина реки, длина и ширина озера или пруда).
2. Глубина (по крайней мере – глубины на исследуемом участке водоема).
3. Скорость течения.
4. Типы донных грунтов (каменистый, песчаный, илистый, глинистый, гниющие растительные остатки).
5. Прозрачность воды.

6. Температура воды у поверхности и в придонном слое.
7. Характеристика береговой линии (крутизна и материал склонов, характер прибрежной растительности).

8. Характер антропогенного воздействия на прибрежную зону (наличие пляжей, строений, промышленных предприятий, дорог, свалок, стоков).

9. Наличие и характеристики притоков.

10. Степень развития водной растительности и ее видовой состав.

Когда описание водоема составлено и занесено в дневник или журнал наблюдений, приступают к взятию проб водных организмов.

Взятие проб водных организмов

Чтобы получить достоверную информацию о водоеме, нужно собрать максимально разнообразные пробы водных организмов. В ней должны быть представлены донные животные, активно плавающие организмы и обитатели зарослей водной растительности. Для их поимки используют дночерпатели, водные сачки и скребки, планктонные сети. Дополнительно осматривают водные растения, камни и коряги. При подъеме донных предметов лучше прямо под водой положить их в сетку сачка, иначе в процессе подъема многие животные могут быть утеряны.

Поскольку методы биоиндикации построены на индикаторных видах, при их выборе следует руководствоваться следующими требованиями:

1) высокое таксономическое и экологическое разнообразие (много видов в локальной экосистеме);

2) тесная связь с идентификационными условиями;

3) высокая экологическая точность реакции на изменение факторов среды;

4) относительно высокая численность и минимум ее флуктуации;

5) широкое распространение;

6) легкость в определении таксономической принадлежности;

7) наличие хорошей информации об их экологии;

8) функциональная важность в экосистеме;

9) предсказуемость, быстрота и чувствительность для анализа, пропорциональные ответы на нарушения.

Мы выбрали для работы два метода биоиндикации, которые в наилучшей пропорции сочетают важные свойства: простоту и точность оценки.

Биотический индекс Вудивисса

Индекс Вудивисса учитывает сразу два параметра бентосного сообщества: общее разнообразие беспозвоночных и наличие в водоеме организмов, принадлежащих к «индикаторным» группам. При повышении степени загрязненности водоема представители этих групп исчезают из него примерно в том порядке, в каком они приведены в табл. 11.

Индекс используется только для исследования рек умеренного пояса и дает оценку их состояния по 15-балльной шкале. Методика непригодна

для оценки состояния озер и прудов. Для оценки состояния водоема по методу Вудивисса нужно:

1. Выяснить, какие индикаторные группы имеются в исследуемом водоеме. Поиск начинают с наиболее чувствительных к загрязнению индикаторных групп: веснянок, затем поденок, ручейников и т. д. – именно в таком порядке индикаторные группы расположены в табл. 11. Если в исследуемом водоеме имеются личинки веснянок (*Plecoptera*) – самые «чуткие» организмы, то дальнейшая работа ведется по первой или второй строке таблицы. По первой – если найдено несколько видов веснянок, и по второй – если найден только один. Если нимф веснянок в наших пробах нет – ищем в них личинок поденок (*Ephemeroptera*) – это следующая по чувствительности индикаторная группа. Если они найдены, работаем с третьей или четвертой строкой таблицы (опять же по количеству найденных видов). При отсутствии нимф поденок обращаем внимание на наличие личинок ручейников (*Trichoptera*), и т. д.

2. Оценить общее разнообразие бентосных организмов. Методика Вудивисса не требует определить всех пойманных животных с точностью до вида. Достаточно определить количество обнаруженных в пробах «групп» бентосных организмов. За «группу» принимается:

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

Определив количество обнаруженных в пробе групп, находим соответствующий столбец табл. 11.

Таблица 11

Биотический индекс Вудивисса

Наличие видов-индикаторов	Количество видов-индикаторов	Общее количество присутствующих групп бентосных организмов					
		0–1	2–5	6–10	11–15	16–20	более 20
Личинки веснянок (<i>Plecoptera</i>)	более 1 1 вид	– –	7 6	8 7	9 8	10 9	11–... 10–...
Личинки поденок (<i>Ephemeroptera</i>)*	более 1 1 вид	– –	6 5	7 6	8 7	9 8	10–... 9–...
Личинки ручейников (<i>Trichoptera</i>)	более 1 1 вид	– 4	5 4	6 5	7 6	8 7	9–... 8–...

Окончание таблицы 11

Наличие видов-индикаторов	Количество видов-индикаторов	Общее количество присутствующих групп бентосных организмов					
		0–1	2–5	6–10	11–15	16–20	более 20
<i>Gammarus</i> sp.		3	4	5	6	7	8–...
Водяной ослик (<i>Asellus aquaticus</i>)	более 1 1 вид	2	3	4	5	6	7–...
Олигохеты или личинки звонцов	более 1 1 вид	1	2	3	4	5	6–...
Отсутствуют все приведенные выше группы	более 1 1 вид	0	1	2	–	–	–

* – кроме вида *Baetis rhodani*

3. На перекрестке найденных нами столбца и строки в табл. 11 находим значение индекса Вудивисса, характеризующее исследуемый водоем.

Если водоем получает от 0 до 2 баллов – он сильно загрязнен, относится к полисапробной зоне, водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии. Оценка 3–5 баллов говорит о средней степени загрязненности (альфа-мезосапробный), а 6–7 баллов – о незначительном загрязнении водоема (бета-мезосапробный). Чистые (олигосапробные) реки обычно получают оценку 8–10 баллов, а особенно богатые водными обитателями участки могут быть оценены и более высокими значениями индекса.

Индекс Майера

Это более простая методика, основные преимущества которой: никаких беспозвоночных не нужно определять с точностью до вида; методика годится для любых типов водоемов. Метод использует приуроченность различных групп водных беспозвоночных к водоемам с определенным уровнем загрязненности. Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов (табл. 12).

Таблица 12

Индекс Майера

Обитатели чистых вод	Организмы средней степени чувствительности	Обитатели загрязненных водоемов
личинки веснянок личинки поденок личинки ручейников личинки вислокрылок двустворчатые моллюски	бокоплав речной рак личинки стрекоз личинки комаров-долгоножек моллюски-катушки моллюски-живородки	личинки комаров-звонцов пиявки водяной ослик прудовики личинки мошки малоцетинковые черви

Нужно отметить, какие из приведенных в табл. 12 индикаторных групп обнаружены в пробах. Количество обнаруженных групп из первого раздела таблицы необходимо умножить на 3, количество групп из второго раздела – на 2, а из третьего – на 1. Получившиеся цифры складывают. Значение суммы и характеризует степень загрязненности водоема.

Если сумма более 22 – вода относится к 1 классу качества. Значения суммы от 17 до 21 говорят о втором классе качества (как и в первом случае, водоем будет охарактеризован как олигосапробный). От 11 до 16 баллов – 3 класс качества (бета-мезосапробная зона). Все значения меньше 11 характеризуют водоем как грязный (альфа-мезосапробный или же полисапробный) (табл. 13).

Таблица 13

Классы качества воды и соответствующие им
показатели загрязненности водоема

Класс качества воды	Состояние водоема	Аммонийный азот, мг/л	Азот нитратов, мг/л	Фосфаты, мг/л	Кислород (% насыщения)	БПК ₅ , мг/л	Coli-индекс (колоний на мл)
1–2	Чистое	<< 0,4	< 0,3	< 0,05	90–100	00–3	Менее 50
3	Умеренно загрязненное	00,4–0,8	00,3–0,5	0,05–0,07	80–90	33–5	50–100
4	Загрязненное	00,8–1,5	00,5–1,0	0,07–0,1	50–80	5–7	100–1000
5–6	грязное, очень грязное	11,5–5,0	11,0–8,0	0,1–0,3	5–50	77–10	1000–20000

БПК – биохимическое потребление кислорода. Это показатель качества воды, характеризующий суммарное содержание в воде легко окисляемых органических веществ. БПК определяют измерением количества кислорода, ушедшего на окисление этих веществ в ходе биохимических процессов за определенное время (БПК₅ – за 5 суток).

Coli-индекс – один из показателей бактериального загрязнения воды, характеризующий наличие в ней кишечных палочек.

Биоиндикация загрязнения водоемов по состоянию популяций водных растений семейства рясковых

Водные растения, относящиеся к семейству рясковых, используются в качестве биоиндикаторов, т. к. они широко распространены и обладают высокой чувствительностью к загрязнению водной среды. Все рясковые плавают на поверхности или слегка погружены в воду. Отдельные растения представляют собой зеленую округлую пластину

(щиток) размером 1–10 мм с дочерними щитками («детками»), прикрепленными по бокам материнского щитка. Вырастая, «детки» отделяются и превращаются во взрослые растения, благодаря чему ряски быстро заполняют поверхность водоема.

По карте обследуемого района намечают точки сбора материала, причем, чем сильнее загрязнение, тем ближе друг к другу они должны быть расположены (0,5–1,0 км). На малозагрязненных участках точки сбора могут быть удалены на расстояние 2–3 км друг от друга.

Обследование водоема проводится в течение 2–4 дней. Наиболее показательным периодом является первая декада июня, дополнительную работу можно повторить в середине июля или в конце августа–начале сентября.

Сбор материала проводится в бухточке или заливе со спокойным, замедленным течением. Ведром с поверхности приблизительно 0,5 м² собирается ряска. Растения с помощью шумовки переносятся в сосуд или полиэтиленовый пакет, содержащий необходимое количество воды из водоема.

Разбор пробы. Проба (или ее часть), содержащая примерно 150–200 растений, разделяется по видам (рис. 3).

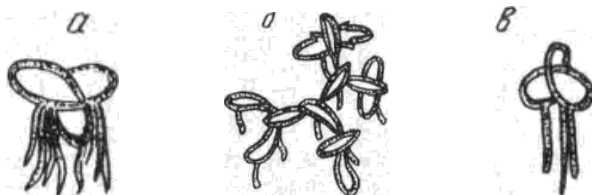


Рис. 3. Общий вид водных растений семейства рясковых:
а – многокоренник обыкновенный; б – ряска тройчатая; в – ряска горбатая

После разбора пробы по видам производится подсчет:

а) числа растений (особей) каждого вида (одно растение – материнский щиток с прикрепленными к нему «детками», если они есть);

б) общего числа щитков (суммарное количество материнских щитков и «деток») каждого вида;

в) числа щитков с повреждениями (черные и бурые пятна – некроз, пожелтение – хлороз, количество и размер пятен не учитываются).

Экспресс-оценка качества воды. При экспресс-1 оценке используется самый массовый вид растений (обычно ряска малая). Определение качества воды проводится по табл. 14.

Таблица 14

Определение класса качества воды

Щитки с повреждениями, %	Отношение щитков к особям				
	0,1	1,3	1,7	2	2
0	1–2	2	3	3	3
10	3	3	3	3	3
20	3	4	3	3	3
30	4	4	3	3	3
40	4	4	4	3	3
50	4	4	4	3	—
50	4	4	4	—	—
50	5	5	—	—	—

Примечание. Первая колонка соответствует тем случаям, когда в целой пробе не удалось набрать 30 экземпляров даже наиболее массового вида.

Условные обозначения:

1 – очень чистая вода;

2 – чистая;

3 – умеренно загрязненная;

4 – загрязненная;

5 – грязная;

«–» – комбинация, встречаемость которой исключается.

6.4. ЗЕМНОВОДНЫЕ КАК БИОИНДИКАТОР КАЧЕСТВА СРЕДЫ

Одним из современных методов оценки качества среды является биоиндикационный анализ по гомеостазу развития. В основе метода лежит измерение значения флуктуирующей асимметрии.

Биоиндикаторами изменений, происходящих в окружающей среде, являются животные. В результате изменений в экосистеме у них нарушается билатеральная симметрия морфогенетических показателей. Нарушение стабильности развития происходит, как правило, на ранних стадиях онтогенеза.

Выявить антропогенные воздействия можно по анализу стабильности развития (онтогенеза) лягушек. Могут использоваться лягушки трех видов (*R. ridibunda*, *R. lessona*, *R. temporaria*). Анализ проводится по двум группам признаков – окраске и остеологии. Можно анализировать 13 морфогенетических показателей, традиционно используемых для оценки стабильности развития (рис 4) [11].

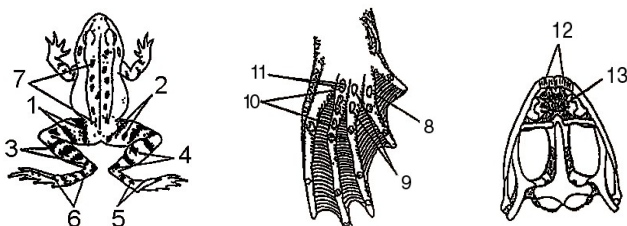


Рис. 4. Морфогенетические показатели, используемые для оценки стабильности развития

При анализе стабильности развития используется коэффициент флуктуирующей асимметрии, который оценивается **числом асимметричных признаков (ЧАП)** на особь.

Для оценки степени отклонения от нормы показателей у бурых и зеленых лягушек разработана обобщенная пятибалльная шкала (с учетом особенностей вида), где 1 балл – «идеальные» условия существования, а 5 баллов – экстремальные условия существования.

Стабильность развития, замеряемая на популяционном уровне при помощи анализа флуктуирующей асимметрии, является интегральным показателем качества (здоровья) среды.

6.5. НАСЕКОМЫЕ КАК БИОИНДИКАТОР КАЧЕСТВА СРЕДЫ

Жуки мертвоеды характеризуются индивидуальной изменчивостью, широким распространением, относительно высокой численностью по всему ареалу и легкостью сбора материала. Изучена изменчивость рисунка надкрыльев у двух видов жуков мертвоедов *Necrophorus vespilloides* Hbst. и *N. investigator* Zett. На основе 1200 экземпляров были выделены ряды вариантов окраски надкрыльев. Рисунок состоит из группы темных пятен на светлом (оранжевом) фоне. Для удобства он разбит на отдельные элементы, которые зарисовывались и пронумеровывались.

У *N. vespilloides* Hbst рисунок образован двумя темными пятнами на оранжевом фоне (рис. 5).

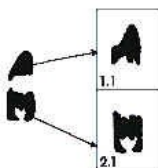


Рис. 5. Изменчивость рисунка надкрыльев у жуков мертвоедов

У N. investigator. Zett второе пятно может распадаться на два (рис. 6).

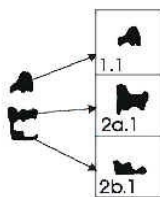


Рис. 6. Вид второго пятна жуков мертвоедов

Сбор жуков производится при помощи ловушек Барбера и падальных ловушек. Также проходит апробацию способ биоиндикационной оценки качества среды по шести меристическим признакам. Признаки 1–3 – число шипиков на внутренней стороне голени J–III пар ног, признаки 4–6 – число шипиков на внешней стороне голени I–III пар ног (рис. 7).

Так же измеряется общая длина насекомого, составляется формула узора надкрыльев по ранее выделенным и пронумерованным элементам рисунка и выделяются новые. В среднем количество насекомых каждого вида должно составлять 25–30 особей.



Рис. 7. Расположение анализируемых признаков на голени жука-мертвоеда

При подсчете учитываются не только имеющиеся, но и отломанные шипики (рис. 8).



Рис.8. Шипики на голени жука-мертвоеда

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

1. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Задачи: определение рН осадков, оценка количества содержащихся в них нитратов, сульфат-ионов, сульфид-ионов.

Оборудование и реактивы: колба коническая, воронка коническая, кристаллизатор, шпатель, бумага индикаторная универсальная со шкалой значений рН, пробирки химические, штатив, раствор соляной кислоты HCl (1:2), марганцовокислый калий KMnO_4 (1%-ный раствор), ацетат свинца (5%-ный раствор), раствор дефеникалина в концентрированной серной кислоте H_2SO_4 , дистиллированная вода.

Ход работы

1. Сбор и подготовка проб атмосферных осадков. Дождевая вода собирается при помощи широкой конической воронки в колбу. Рекомендуется проводить отбор проб в два этапа: в первую минуту и через 15–20 мин. после начала дождя.

Снег собирается в кристаллизатор или в обыкновенную фарфоровую чашку, после чего должен растаять при комнатной температуре.

Кристаллы льда осторожно зачищаются со всех сторон скальпелем, складываются в стакан и помещаются в теплое место, чтобы лед растаял.

2. Определение рН. Наполните пробирки собранной водой. Опустите в них полоски индикаторной бумаги. Выньте индикаторную бумагу и сравните полученный результат со шкалой. Определите и запишите данные. Сравните полученные данные рН капель дождя, выпавших в первую минуту, с данными анализов, проведенных в другие дни.

3. Качественная реакция на наличие сульфид-ионов. Наполните пробирки собранной водой. Добавьте по 1–2 капли раствора KMnO_4 . В зависимости от количества содержащихся в растворе сульфидов произойдет обесцвечивание раствора (результат окислительно-восстановительных реакций).

4. Реакция на определение нитрат-ионов. Наполните пробирки собранной водой. Добавьте по 2–3 капли раствора дефениламина. При наличии в образце нитрат-ионов раствор окрашивается в синий цвет.

5. Реакция на определение сульфат-ионов. Наполните пробирки собранной водой. Добавьте 2–3 мл раствора ацетата свинца. При наличии в образце сульфид-ионов раствор окрашивается в черный цвет, возможно выпадение осадка того же цвета.

Пробы для изучения химического состава воды могут быть отобраны в нескольких местах: около университета, дороги, промышленных предприятий, в лесопарковой зоне, близ жилых домов. Полученные результаты заносятся в таблицу.

№ пробы	рН	сульфид-ионы	нитрат-ионы	сульфат-ионы
---------	----	--------------	-------------	--------------

На основе полученных данных сделайте вывод о качестве атмосферных осадков. Выявите локальные источники загрязнения.

2. ОБНАРУЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ

Определение содержания нитритов

Азот имеет большое значение в жизни растений. Он входит в состав белковых веществ, липоидов, нуклеиновых кислот, хлорофилла и других важнейших органических соединений. Азот поступает в растения из почвы в основном в виде нитратов и солей аммония. Соли азотной кислоты (нитраты) поступают в корни растений, восстанавливаются в живых клетках корня до аммиака и, связываясь с кетокислотами, образуют аминокислоты, которые затем могут использоваться на построение белков. Если по каким-либо причинам цепь этих превращений нарушается (например, в результате избытка азотных удобрений в почве), то нитраты не успевают полностью превратиться в аминокислоты. Часть их может пройти через паренхиму корня и с восходящим током подняться и отложиться в различных органах растения. Нитраты в больших количествах вредны, в желудочно-кишечном тракте они превращаются в соли азотистой кислоты – нитриты, которые отравляют организм.

Обнаружение нитратов можно провести в различных растениях. Метод основан на свойстве дифениламина при взаимодействии с нитратами давать синюю окраску, характерную для образующего при этом анилинового красителя. По интенсивности посинения можно приблизительно судить о количестве нитратов в исследуемом объекте.

Ход работы

1. Обнаружение нитратов дифениламиновым методом

Объекты и оборудование: растительные образцы (капуста, морковь и др.), собранные на участках, расположенных в различных частях населенных пунктов; раствор дифениламина в серной кислоте (0,1 г дифениламина растворяют в 10 мл крепкой серной кислоты и хранят в темной склянке); пипетки; ступка с пестиком; предметное стекло; стеклянные палочки.

1. Возьмите листья растения различных мест обитания: выращенные в пределах городской черты (близ промышленных предприятий, автодорог, в жилом секторе и т. д.) и за городом.

2. Кусочки листа разотрите пестиком в ступке.

3. Каплю полученного сока поместите на предметное стекло и добавьте в нее несколько капель дифениламина.

4. О содержании нитратов можно судить по изменению окраски: при небольшом количестве нитратов капля растительного сока приобретает светло-голубую окраску, при большом количестве нитратов появляется темно-синяя окраска.

II. Обнаружение нитратов посредством риванольной реакции

Объекты и оборудование: риванол (этакридина лактат), дистиллированная вода, соляная кислота, физиологический раствор (0,9 %-ный раствор поваренной соли в дистиллированной воде), цинковый порошок, растительные продукты, в которых будет определяться содержание нитратов. Риванол и соляная кислота приобретаются в аптеке.

Для определения содержания нитратов в продуктах их восстанавливают цинком до нитрит-ионов, которые диазотируют риванол с образованием окрашенного соединения.

1. Определение количества разбавлений исследуемого образца. Предполагается, что в продукте содержится предельно допустимая концентрация нитрата, поэтому пробу разбавляют так, чтобы концентрация нитрата в ней сравнялась с пределом обнаружения этого метода. Если концентрация превышена, то раствор окрасится в бледно-розовый цвет. Количество разбавлений можно вычислить по формуле

$$x = \text{ГОСТ}/m \cdot k + 1,$$

где x – количество разбавлений;

ГОСТ – норма содержания нитратов для исследуемого объекта;

m – предел обнаружения этим методом;

k – табличный коэффициент содержания влаги в продукте.

Предел обнаружения нитратов для риванольного метода – 20 мг/л.

Коэффициент содержания влаги равен: для огурцов, редиса, томатов, салата, баклажанов, капусты, перца, кабачков, щавеля, дынь, арбузов, свеклы – 0,9, для картофеля, моркови, зеленого горошка и фруктов – 0,8, для мяса – 0,5.

1. Для приготовления раствора риванола одну таблетку растворяют при нагревании в 200 мл аптечной соляной кислоты. Температура используемых для анализа растворов не должна превышать 18 °С.

2. 2 мл разведенного сока исследуемого продукта смешивают с 1 мл солянокислого раствора риванола.

3. В исследуемую пробу добавляют на кончике ножа цинковый порошок. Если в растворе содержится больше 20 мг/л нитратов, то желтая окраска раствора обесцвечивается и сменяется розовой. Это означает, что нормы нитратов в этом продукте завышены. Температура используемых для анализа растворов не должна превышать 18 °С.

4. Нанесите на карту районы, взятые из которых пробы содержали наибольшее количество нитратов.

5. Сделайте вывод о причинах повышенного содержания нитратов именно в этих районах.

Определение содержания свинца и кадмия в листьях растений

Вместе с выхлопными газами автомобилей в окружающую среду попадает огромное количество тяжелых металлов. Среди них одно из первых мест занимает свинец (Pb^{2+}). Пыль, содержащая свинец, оседает на растениях и других предметах, а затем смывается осадками в почву. В придорожных растениях содержание свинца довольно высоко.

Объекты и оборудование: листья любых растений, хромат калия (K_2CrO_4) или раствор сероводорода (H_2S), тигли, муфельная печь, эксикатор, дистиллированная вода, пробирки.

Ход работы

I. Содержание свинца в листьях растений

1. Несколько листьев растения одного вида одновременно собирают в различных местах обитания: около автостреды, в 10 и 50 м от автостреды, близ промышленных предприятий, в жилой зоне, в зоне реакции и в лесных насаждениях.

2. Растительный материал (одинаковой массы) помещают в тигли и обугливают до золы.

3. К водному раствору солей золы добавляют избыток хромата калия или избыток раствора сероводорода.

4. Рассчитывают процентное отношение содержания образующихся осадков к массе золы.

5. На основании полученных результатов делают вывод о содержании свинца в листьях растений, находившихся в разных условиях загрязнения.

II. Содержание кадмия в растениях

Методика определения кадмия аналогична определению Pb^{2+} .

1. Для обнаружения кадмия в водный раствор добавляют избыток концентрированного $NaOH$, при этом выпадает белый студенистый осадок.

2. Путем сравнения опытных и контрольных проб определяют количество кадмия в растении.

3. На основе данных постройте картосхему загрязненности растительного покрова населенного пункта свинцом и кадмием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
2. Бурдин, К. С. Основы биологического мониторинга / К. С. Бурдин. – М.: МГУ, 1985. – 158 с.
3. Экологическое нормирование на примере радиоактивного и химического загрязнения экосистем / Д. А. Кривоуцкий [и др.] // Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. – М.: Наука, 1988. – С. 4–16.
4. Биоиндикация: теория, методы, приложения / под ред. Г. С. Розенберга. – Тольятти: Изд-во Интер-Волга, 1994. – 266 с.
5. Розенберг, Г. С. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии / Г. С. Розенберг, Д. П. Мозговой, Д. Б. Гелашвили. – Самара: СамНИЦ РАН, 1999. – 396 с.
6. Шакин, В. В. Биосистемы в экстремальных условиях / В. В. Шакин // Журн. общ. биол. – 1991. – Т. 52., № 6. – С. 784–792.
7. Шуберт, Р. Основные принципы методов биоиндикации / Р. Шуберт // Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу: материалы 3 заседания Междунар. рабочей группы по проекту № 14 МАБ ЮНЕСКО. – Л., 1986. – С. 112–122.
8. Флейшман, Б. С. Системология, системотехника и инженерная экология / Б. С. Флейшман // Кибернетика и ноосфера. – М.: Наука, 1986. – С. 97–110.
9. Захаров, В. М. Здоровье среды: концепция / В. М. Захаров. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 30 с.
10. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга / под ред. Д. Б. Гелашвили. – Н. Новгород: ННГУ, 1995. – Вып. 1. – 190 с.
11. Плохинский, Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 367 с.

Учебно-методическое пособие

Гончарова Надежда Вячеславовна

БИОМОНИТОРИНГ

Редакторы *М. Ю. Мошкова, Я. А. Толкач*
Корректоры *М. Ю. Мошкова, Я. А. Толкач*
Компьютерная верстка *Я. А. Толкач*

Подписано в печать 22.12.2011. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Ризография.
Усл. печ. л. 3,75. Уч.-изд. л. 2,78.
Тираж 31 экз. Заказ № 182.

Издатель и полиграфическое исполнение
учреждение образования «Международный государственный
экологический университет имени А. Д. Сахарова»

ЛИ № 02330/993 от 31.08.2011 г.
Республика Беларусь, 220070, г. Минск, ул. Долгобродская, 23

E-mail: info@iseu.by
<http://www.iseu.by>