

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Ульяновский государственный университет»
Институт медицины, экологии и физической культуры
Экологический факультет
Кафедра биологии, экологии и природопользования

Ж.А. Антонова, Е.В. Рассадина

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие для студентов,
обучающихся по программе бакалавриата направления «Экология и природопользование»

Ульяновск – 2015

УДК 50.502

ББК 20.1

А 72

А72 Методы экологических исследований: учебное пособие / Ж.А. Антонова, Е.В. Рассадина.- Ульяновск: УлГУ, 2015.-109 с.

Рецензенты:

Жуков К.П. - доцент кафедры общей и биологической химии Ульяновского государственного университета, кандидат биологических наук.

Евсевичева Ю.С. - доцент кафедры химии, технологии композиционных материалов и промышленной экологии Ульяновского государственного технического университета, кандидат биологических наук.

Авторы:

Антонова Ж.А. – доцент кафедры общей экологии и природопользования, УлГУ, кандидат биологических наук.

Рассадина Е.В. - доцент кафедры общей экологии и природопользования, УлГУ, кандидат биологических наук.

В учебном пособии приводятся и всесторонне характеризуются группы методов широко применяемых в экологических исследованиях: мониторинга, микроскопические, изоферментного анализа, рентгеноструктурного анализа, биоморфологического анализа, группового анализа, морфофизиологических индикаторов, интродукционный, индикации загрязнения среды, дистанционного исследования экосистем, атомно-адсорбционной спектрофотометрии. Пособие дополнено кратким словарем основных терминов

Данное издание может быть использовано в учебном процессе студентами экологических и географических специальностей.

Издается по решению учебно-методического совета ИМЭиФК Ульяновского государственного университета

УДК 50.502
ББК 20.1

© Антонова Ж.А., 2015
© Ульяновский государственный университет, 2015

Введение

Взаимосвязи и взаимозависимость многих живых систем достаточно сложны в большинстве случаев, поэтому они обуславливают массу методов экологических исследований.

Методы экологии подразделяются на полевые (изучение жизни организмов и их сообществ в естественных условиях, т. е. длительное наблюдение в природе с помощью различной аппаратуры) и экспериментальные (эксперименты в стационарных лабораториях, где имеется возможность не только варьировать, но и строго контролировать влияние на живые организмы любых факторов по заданной программе). При этом экологи оперируют не только биологическими, но и современными физическими и химическими методами, используют моделирование биологических явлений, т. е. воспроизведение в искусственных экосистемах различных процессов, происходящих в живой природе. Посредством моделирования можно изучить поведение любой системы с целью оценки возможных последствий применения различных стратегий и методов управления ресурсами, т. е. для экологического прогнозирования.

Для изучения и прогнозирования природных процессов широко используется также метод математического моделирования. Такие модели экосистем строятся на основе многочисленных сведений, накопленных в полевых и лабораторных условиях. При этом правильно построенные математические модели помогают увидеть то, что трудно или невозможно проверить в эксперименте. Однако сама по себе математическая модель не может служить абсолютным доказательством правильности той или иной гипотезы, но она служит одним из путей анализа реальности.

Сочетание полевых и экспериментальных методов исследования позволяет экологу выяснить все аспекты взаимоотношений между живыми организмами и многочисленными факторами окружающей среды, что

позволит не только восстановить динамическое равновесие природы, но и управлять экосистемами.

1. Классификация методов применяемых в экологических исследованиях

Среди методов, используемых в экологии, по особенностям их применения, можно выделить как **общенаучные**, так и **частные**, только **экологические методы**. В соответствии с другой классификацией, методы экологии можно подразделить на: **лабораторные** и **полевые**. Последние, в свою очередь, делятся на следующие методы: маршрутные, стационарные, описательные и экспериментальные. Полевые исследования в экологии наиболее значимы, поскольку именно они позволяют изучать экологические явления непосредственно в природной среде. Они позволяют установить взаимосвязи организмов со средой, выявить экологические факторы среды и определить адаптации живого к среде.

2. Общенаучные методы исследований

Среди общенаучных методов выделяют: *наблюдение и описание; сравнительный метод; исторический метод; экспериментальный метод; метод моделирования; статистический метод, и т.д.*

Экология имеет свою специфику: объектом ее исследования служат не только единичные особи — организмы, но и целые группы особей — популяции и их сообщества — биогеоценозы и даже биосфера. Многообразие связей, формирующихся на уровне разных по сложности биологических систем, обуславливает большое разнообразие методов экологических исследований, выявляющих количественное участие особей, видов и их качественную оценку состояния в условиях обитания. Реализуются они в большом разнообразии приемов полевых и лабораторных исследований экологических свойств природы.

Полевые методы исследования для эколога имеют первостепенное значение. Они обеспечивают возможность изучения свойств живых

организмов, популяций, сообществ и биосферы в их естественной обстановке, непосредственно в природной среде. Именно полевые методы исследования для экологии имеют первостепенное значение, так как позволяют обнаружить взаимосвязи организмов, видов и сообществ со средой, установить общую картину развития природы в конкретных условиях того или иного региона, выяснить комплекс факторов и их воздействие в природной обстановке.

Полевые исследования подразделяются на: маршрутные, стационарные, описательные и экспериментальные.

Маршрутные методы используются главным образом для выяснения наличия экологических объектов (например, присутствие тех или иных жизненных форм организмов, экологических групп, фитоценозов, охраняемых видов, комплекса факторов среды и т. п.), их разнообразия и встречаемости на исследуемой территории. Основными приемами здесь выступают: прямое наблюдение, оценка состояния, измерение, описание (например, описание исследуемых площадок или отдельных представителей живого мира, наблюдение фенологического состояния организмов конкретного вида и т. п.), составление схем, карт и инвентаризационных списков исследуемых объектов.

Стационарные методы — это методы длительного (сезонного, круглогодичного или многолетнего) наблюдения за одними и теми же природными объектами, требующие неоднократных описаний, замеров изменений, происходящих у наблюдаемых объектов. Стационарные методы обычно совмещают в себе полевые и лабораторные методики. При этом обычно используются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики, физики, химии, географии, статистики и др.

2.1. Описание и наблюдения широко применяются в стационарных исследованиях при регистрации основных особенностей изучаемых объектов, прямом наблюдении, выявлении факторов воздействия, картировании экологических явлений, инвентаризации ценных природных объектов и пр.

2.2. Сравнительный метод, как универсально применяемый, относится к общенаучным методам исследований. По своему функциональному назначению и способам использования, является эмпирическим. На практике различают ряд его форм. Например, сравнительно-сопоставительный метод, выявляющий природу разнородных объектов; сравнительно-историко-типологический, раскрывающий сходство не связанных по своему происхождению явлений одинаковыми условиями генезиса и развития; сравнительно-историко-генетический, показывающий сходство явлений как результат их родства по происхождению; сравнение, фиксирующее взаимовлияния различных объектов и явлений.

В прикладных исследованиях сравнительный метод используется в качестве основного при классификации, типологии, оценке, генерализации. Он позволяет разделить общие и отличительные признаки и свойства изучаемых объектов и процессов их развития.

Успешное применение сравнительного метода подразумевает унификацию приёмов наблюдения, включая стандартизацию исходных данных и получаемых результатов.

Недостатком сравнительного метода является неспособность, в ходе его использования, управлять истинно «независимыми» переменными исследуемого объекта при возможном влиянии, неизвестными способами, этих переменных на значимые показатели, в которых предполагается прямая причинная или сопутствующая связь.

В экологических исследованиях используется так же **исторический метод**, который изучает ход развития исследуемого объекта.

2.3. Эксперимент - метод эмпирического исследования. В эмпирическом исследовании используются специфические методы: наблюдение, эксперимент, в том числе мысленный, описание с элементами объяснения, измерение, сравнение. В данном параграфе мы рассмотрим эксперимент. Обратимся к определению эксперимента. «Эксперимент – активное и целенаправленное вмешательство в протекание изучаемого процесса, соответствующее изменение объекта или его воспроизведение в специально созданных и контролируемых условиях». В эксперименте объект или воспроизводится искусственно, или ставится в заданные условия, которые отвечают целям исследования. В ходе эксперимента изучаемый объект изолируется от побочных влияний, затемняющих его сущность, и представляется в «чистом виде».

Конкретные условия эксперимента не только задаются, но и контролируются, модернизируются, многократно воспроизводятся и изменяются. Эксперимент осуществляется, как взаимодействие объектов, протекающее по естественным законам; как искусственное, человеком организованное действие. Любой научный эксперимент всегда направляется какой-либо идеей.

Рассмотрим особенности эксперимента.

1) Сравнивая эксперимент с наблюдением, следует отметить, что эксперимент является более активным по отношению к объекту. В ходе опытного исследования объект может быть преобразован.

2) Эксперимент может быть многократно повторен в целях дальнейшего исследования.

3) Именно опытным путем ученый может обнаружить такие свойства объекта, которые никак не проявляются в естественных условиях.

4) Важной чертой эксперимента является возможность варьирования условий его проведения.

В методологии науки принято выделять 4 стадии опытных исследований:

- 1) планирование эксперимента;
- 2) построение эксперимента, включающее цель, тип, средства, методы и т.д.);
- 3) контроль эксперимента;
- 4) теоретическое обобщение результатов эксперимента.

Рассмотрим структуру эксперимента.

- 1) Субъект исследования, тот, кто проводит опыт.
- 2) Объект исследования, то на что направлен опыт.
- 3) Научное оборудование. Сюда же относятся приборы, которые являются своеобразными усилителями органов чувств. Они позволяют исследовать то, что недоступно наблюдению. Совокупность научных приборов объединяются в сложные экспериментальные установки. При всей значимости приборов они могут оказывать негативное воздействие на проведение эксперимента, поэтому исследователь должен свести к минимуму эти воздействия. История науки показала, что научное открытие приводит к совершенствованию экспериментальной техники.
- 4) Методика проведения эксперимента, зависящая от области и предмета исследования.
- 5) Теоретическая гипотеза, которую требуется подтвердить или опровергнуть в ходе опыта.

Эксперимент имеет две возможные функции: опытная проверка гипотез и теорий, а также формирование новых концепций. В зависимости от функций выделяют виды научных опытов: поисковые, контрольные (проверочные), воспроизводящие, изолирующие и т. д.

Различные виды экспериментов можно выделить и в зависимости от характера исследуемых объектов. Выделяют физические, химические, биологические, социальные и другие эксперименты. Также различают качественные и количественные эксперименты. Качественный эксперимент имеет целью установить наличие или отсутствие

предполагаемого теорией явления. Количественный эксперимент выявляет количественную определенность какого-либо свойства изучаемого явления. Этот опыт более сложен, чем качественный.

2.4. Понятие экологического эксперимента

В экологии часто используются методы, применяемые в других науках, как в биологических (биогеохимия, анатомия, физиология, и др.), так и небιологических (физика, химия, геодезия, метеорология и др.). Но для выявления специфики экологических закономерностей существуют исключительно собственные – экологические методы. Они делятся на полевые, лабораторные, экспериментальные, количественные (математическое моделирование) методы.

Экология имеет свою специфику: объектом её исследования служат не единичные особи, а группы особей, популяции (в целом или частично) и их сообщества, т.е. биологические макросистемы. Многообразие связей, формирующихся на уровне биологических макросистем, обуславливает разнообразие методов экологических исследований. Для эколога первостепенное значение имеют полевые исследования, т.е. изучение популяций видов и их сообществ в естественной обстановке, непосредственно в природе. При этом обычно используются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики и других биологических, да и не только биологических наук. Наиболее тесно экологические исследования связаны с физиологическими. Однако между ними имеется принципиальная разница. Физиология изучает функции организма и процессы, протекающие в нём, а также влияние на эти процессы различных факторов. Экология же, используя физиологические методы, рассматривает реакции организма как единого целого на констелляцию внешних факторов, т.е. на совместное воздействие этих факторов при строгом учёте сезонной цикличности жизнедеятельности организма и внутрипопуляционной разнородности.

Полевые методы позволяют установить результат влияния на организм или популяцию определённого комплекса факторов, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности вида в конкретных условиях. Однако наблюдения не могут дать вполне точного ответа, например, на вопрос, какой же из факторов среды определяет характер жизнедеятельности особи, вида, популяции или сообщества. На этот вопрос можно ответить только с помощью эксперимента, задачей которого является выяснение причин наблюдаемых в природе отношений. В связи с этим экологический эксперимент, как правило, носит аналитический характер. Экспериментальные методы позволяют проанализировать влияние на развитие организма отдельных факторов в искусственно созданных условиях и таким образом изучить всё разнообразие экологических механизмов, обуславливающих его нормальную жизнедеятельность. На основе результатов аналитического эксперимента можно организовать новые полевые наблюдения или лабораторные эксперименты. Выводы, полученные в лабораторном эксперименте, требуют обязательной проверки в природе. Это даёт возможность глубже понять естественные экологические отношения популяций и сообществ. Эксперимент в природе отличается от наблюдения тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно строго дозировать тот или иной фактор и точнее, чем при наблюдении, оценить его влияние.

Эксперимент может носить и самостоятельный характер. Например, результаты изучения экологических связей насекомых дают возможность установить факторы, влияющие на скорость развития, плодовитость, выживаемость ряда вредителей (температура, влажность, пища). В экологическом эксперименте трудно воспроизвести весь комплекс природных условий, но изучить влияние отдельных факторов на вид, популяцию или сообщество вполне возможно. Примером экологических экспериментов широких масштабов могут служить исследования, проводимые при создании лесозащитных полос, при мелиоративных и

различных сельскохозяйственных работах. Знание при этом конкретных экологических особенностей многих растений, животных и микроорганизмов позволяет управлять деятельностью тех или иных вредных или полезных организмов. В современных условиях экологические исследования играют существенную роль в решении ряда теоретических и практических задач. Динамика численности организмов, сезонное развитие, расселение и акклиматизация полезных и вредных видов, прогнозы размножения и распространения – вот основные в настоящее время экологические проблемы. Разработка их требует рационального сочетания полевых, лабораторных и экспериментальных исследований, которые должны взаимно дополнять и контролировать друг друга.

Экспериментальные методы отличаются от полевых тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно дозировать размер изучаемого фактора, следовательно, можно точнее, чем при обычном наблюдении, оценить его влияние. При этом выводы, полученные в лаборатории, требуют обязательной проверки в полевых условиях.

В качестве примеров экологических экспериментов можно привести исследования осветления насаждений, влияния разных доз удобрений, вносимых под сельскохозяйственные культуры и т.д. Широко известен метод изучения конкурентных взаимоотношений деревьев в лесу путем ограничения определенной площади (площади питания).

2.5. Стадии экологического эксперимента

Эксперимент включает 5 последовательных стадий: гипотеза, планирование, реализация, статистический анализ и интерпретация. Гипотеза обладает первоочередной важностью, поскольку если она не удовлетворяет некоторым критериям качества, то даже самый правильно проведенный эксперимент будет иметь не слишком большую ценность.

Под планированием эксперимента понимается лишь логическая структура исследования. Полное описание целей эксперимента должно включать спецификацию природы используемых экспериментальных единиц, число и характер применяемых воздействий (включая "контрольные" воздействия), а также свойства или отклики (параметры экспериментальных единиц), которые предполагается измерять. Когда решение по этим вопросам принято, план эксперимента определяет схему, согласно которой для каждой доступной экспериментальной единицы назначается уровень воздействия. При этом определяется число экспериментальных единиц (повторностей), получающих воздействие каждого уровня, устанавливается физическое расположение экспериментальных единиц, а также частота или временная периодичность, с которой реализуются воздействия и осуществляются измерения контролируемых факторов на различных экспериментальных единицах.

Реализация эксперимента включает весь комплекс процедур и операций, в отношении которых осуществлялось планирование. Успешное осуществление в равной мере зависит от искусства экспериментатора, его проницательности и рассудительности, а также от его технических навыков. Непосредственной задачей исследователя обычно является выполнение технических операций эксперимента таким образом, чтобы избежать систематических ошибок (отклонений) и минимизировать случайные ошибки. Если изучается влияние хищника, охотящегося в приливной зоне, то расположение клеток, блокирующих хищника, не должно иметь прямого влияния на поведение экосистемы, за исключением самого хищника. Если изучается влияние питательных веществ на биомассу планктона в пруду, то отбор проб должен выполняться посредством устройства, производительность которого не зависит от обилия планктона. Систематические ошибки, допущенные как в распределении воздействий, так и в процедурах измерения или отбора проб, делают эксперимент некорректным, а его выводы неубедительными.

Субъективным образом также решается вопрос о том, какова допустимая или желательная изначальная гетерогенность между экспериментальными единицами и в какой степени следует регулировать условия среды в ходе эксперимента. Эти обстоятельства влияют на величину случайных ошибок и потому – на оценку чувствительности изучаемых объектов по отношению к воздействию. Они также влияют на конкретную интерпретацию результатов, хотя сами по себе цели исследования не определяют.

Из изложенного ясно, что планирование эксперимента и особенности его реализации в равной степени определяют обоснованность исследования и его итоги. Хотя в практическом смысле реализация – это более критичный аспект эксперимента, нежели его планирование. Действительно, ошибки при осуществлении эксперимента обычно возникают в большем числе этапов исследования, более многообразны и часто более коварны, чем ошибки при планировании. Следовательно, погрешности реализации обнаружить обычно сложнее, чем просчеты в планировании, как самому экспериментатору, так и читателю его отчетов. Именно эти коварные эффекты ошибок, которые иногда просто невозможно обнаружить, делают этап реализации наиболее ответственным за корректность конечного результата исследования. Однако ошибки процесса реализации эксперимента далее рассматриваться не будут, несмотря на столь важное их значение как источника проблем.

В экспериментальной работе основная функция статистики – увеличить четкость, выразительность и объективность, с которыми результаты представляются и интерпретируются. Статистический анализ и интерпретация – наименее критичные аспекты экспериментирования в том смысле, что если допускаются чисто статистические или интерпретационные ошибки, то данные могут быть проанализированы заново. В то время как единственным абсолютным средством исправления ошибок планирования или реализации является только повторение эксперимента.

2.6. Виды экспериментов в экологии

Можно выделить два класса экспериментов: **измерительные (пассивные)** и **управляемые (активные)**. Измерительные эксперименты включают только проведение наблюдений в одной или нескольких точках пространства или времени; пространство или время – это единственные "экспериментальные" переменные или "факторы воздействия". Оценка значимости воздействия по статистическим критериям осуществляется здесь не всегда. Измерительные эксперименты обычно не включают наложение экспериментатором управляемых внешних факторов на экспериментальные единицы.

Исторически сложилось, что термин "экспериментальное" всегда использовался в контексте значений "сложное", "трудоемкое", "подразумевающее вмешательство, и это неизбежно будет продолжаться.

В экологии существуют сравнительные измерительные эксперименты.

Если в измерительном эксперименте, как правило, изучается единственная ситуация с одним воздействием, то **управляемый (манипулятивный)** эксперимент уже учитывает воздействие на двух или более уровнях фактора и имеет целью осуществление одного или более сравнений. Определяющая черта управляемого эксперимента состоит в том, что различные экспериментальные единицы получают различные уровни воздействия и распределение воздействий по экспериментальным единицам делается случайным (или, по крайней мере, может быть сделано таковым).

"Контроль" – это термин, имеющий несколько значений в контексте планирования эксперимента.

Контрольным воздействием может быть как нижний или нулевой уровень фактора, изучаемого в эксперименте, так и "процедурное" воздействие (например, мыши с введенным солевым раствором используются в качестве контроля по отношению к мышам с введенным

солевым раствором и лекарственным препаратом), или просто иное воздействие.

По крайней мере, при экспериментировании с биологическими системами контроль необходим, в первую очередь, вследствие того, что биологические системы меняются со временем. Если бы мы могли быть абсолютно уверены, что данная система обладает постоянными свойствами, тогда не было бы необходимости в отдельной контрольной группе. Измерения на экспериментальной единице до воздействия могли бы служить тогда контролем для измерений на экспериментальной единице после воздействия.

Во многих типах экспериментов контрольные измерения имеют вторую функцию: выделить влияние эффекта в числе прочих различных аспектов экспериментальной процедуры. Так, в примере с мышами воздействие "только солевым раствором" представляется обязательным контролем. При некоторых обстоятельствах могут быть полезными дополнительные контрольные воздействия, такие как "только введение иглы" или "отсутствие манипуляций".

"Контроль" в строгом смысле отслеживает дрейф во времени и влияние технических процедур реализации эксперимента. Рандомизация компенсирует (т.е. снижает или исключает) потенциальные отклонения, вносимые экспериментатором при назначении воздействий экспериментальным единицам и при осуществлении других процедурных действий. Повторности учитывают стохастический фактор, т.е. внутреннюю изменчивость выборок, присущую экспериментальному материалу или внесенную экспериментатором, либо возникшую вследствие несверхъестественного вмешательства. Перемешивание компенсирует регулярную пространственную неоднородность свойств среды, куда помещаются экспериментальные единицы, обусловленную как ее исходным состоянием, так и возможным несверхъестественным вмешательством.

В этом контексте представляется точным утверждение о том, что эксперимент без повторностей – это эксперимент без контроля, поскольку он не учитывает стохастический фактор. Однако обычай разделять повторность и контроль как отдельные аспекты плана эксперимента настолько прочно утвердился, что термин "контроль" будет далее использоваться только в узком традиционном смысле.

Третье значение контроля в экспериментальном контексте состоит в регуляции условий, в которых проводится эксперимент. Это может относиться к гомогенности экспериментальных единиц, к точности конкретных процедур воздействия, или, что наиболее часто, к учету неоднородности физической среды, в которой проводится эксперимент. Так, некоторые исследователи могут говорить об эксперименте, поставленном на белых мышках в лаборатории при температуре $25 \pm 1 \text{C}^0$, как о "лучше контролируемом" по сравнению с экспериментом, поставленным на диких мышках в поле, где температура меняется от 15C^0 до 30C^0 . Это – неудачное выражение, потому что "чистота" контрольных воздействий в эксперименте не зависит от той степени, с которой физические условия среды ограничиваются или регулируются. От такой регуляции также не зависят ни обоснованность эксперимента, ни результаты статистического анализа; если нет ошибок в плане или статистическом анализе, то доверие, с которым мы можем отбросить нуль-гипотезу, отражается исключительно значением р-вероятности. Эти факты мало понимаются многими лабораторными учеными.

Неверный смысл, который вкладывается в понятие контроль, частично происходит от ошибочного толкования древней максимы: "Сохраняй постоянными все переменные, за исключением той, которая подлежит изучению". Она относится не к временной стабильности, которая, в общем, не имеет значения, а только к желательной идентичности экспериментальных и контрольных систем во всех отношениях, за исключением воздействующей переменной и производимой ею эффекта.

Повторности, рандомизация и независимость. Как повторности, так и рандомизация имеют две функции в эксперименте: они улучшают оценку базовых статистик и повышают обоснованность применения статистических критериев. Повторности снижают эффекты "шума" (т.е. случайной изменчивости или ошибки), увеличивая, таким образом, точность оценки, например, выборочного среднего или различий между двумя выборками. Рандомизация компенсирует возможные возмущения, вносимые экспериментатором, увеличивая правильность оценок.

Каким именно путем рандомизированное распределение уровней воздействий по экспериментальным единицам обеспечивает обоснованность эксперимента? Четкий и краткий ответ встречается нечасто. Рандомизация гарантирует "гораздо больше, чем просто отсутствие отклонений в эксперименте", хотя и это важно. Она гарантирует, что в среднем "ошибки" распределены независимо и что "пары участков с одинаковым воздействием расположены не ближе друг к другу, или, наоборот, дальше, или еще каким-либо разумным образом неотличимы от любой другой пары участков с различным воздействием", за единственным исключением эффекта самого воздействия. В терминах математической статистики отсутствие независимости ошибок препятствует выяснению α -вероятности ошибки первого рода. Действуя в соответствии с процедурой проверки статистических гипотез, мы можем, например, задаться критическим уровнем значимости $\alpha_{кр} = 0.05$ и искать соответствующее значение p -вероятности для подходящей тест-статистики. Однако, если ошибки не независимы, истинный уровень значимости будет выше или ниже 0.05, но в любом случае численное его значение останется неизвестным. Таким образом, интерпретация статистического анализа становится достаточно субъективной.

Под вмешательством понимается вмешательство случайных событий в текущий эксперимент. Этот тип вмешательства встречается в любой экспериментальной работе, внося "шум" в данные. Чаще всего влияние

единичного стохастического возмущения неизмеримо мало. Однако по определению, природа, величина и частота таких случайных событий непредсказуемы, так же как и их следствия. Если возмущение оказывает воздействие на все экспериментальные единицы независимо от уровня воздействия, то проблемы нет. Любое изменение погоды во время полевого эксперимента будет примером такого "случайного" события. Больше проблем несут случайные события, влияющие на одну или несколько экспериментальных единиц. Экспериментальное животное может умереть, может случиться инфекция или сбой в обогревательной системе. Некоторые случайные события могут быть обнаружены, но таковых – не большинство. Экспериментаторы обычно стремятся минимизировать появление случайных событий, потому, что они снижают чувствительность эксперимента в обнаружении эффекта воздействия. Однако не менее важно минимизировать вероятность ошибочного заключения о присутствии эффекта воздействия, когда его нет. Повторности и перемешивание воздействий обеспечивают лучшую страховку от случайных событий, имитирующих такие фальшивые эффекты воздействия.

2.7. Метод математического моделирования

Предвидеть ответные реакции системы на действие конкретных факторов можно лишь через сложный анализ существующих в ней количественных взаимоотношений и закономерностей. В экологии, поэтому широкое распространение получил **метод математического моделирования** как средство изучения и прогнозирования природных процессов.

Суть метода заключается в том, что с помощью математических символов строится абстрактное упрощенное подобие изучаемой системы. Затем, меняя значение отдельных параметров, исследуют, как поведет себя данная искусственная система, т. е. как изменится конечный результат.

Модели строят на основании сведений, накопленных в полевых наблюдениях и экспериментах. Чтобы построить математическую модель, которая была бы адекватной, т. е. правильно отражала реальные процессы, требуются существенные эмпирические знания. Отразить все бесконечное множество связей популяции или биоценоза в единой математической схеме нереально. Однако, руководствуясь пониманием, что в надорганизменных системах имеется внутренняя структура и, следовательно, действует принцип «не все связи существенны», можно выделить главные связи и получить более или менее верное приближение к действительности.

В построении математических моделей сложных процессов выделяются следующие этапы.

1. Прежде всего, те реальные явления, которые хотят смоделировать, должны быть тщательно изучены: выявлены главные компоненты и установлены законы, определяющие характер взаимодействия между ними. Если неясно, как связаны между собой реальные объекты, построение адекватной модели невозможно. На этом этапе должны быть сформулированы те вопросы, ответ на которые должна дать модель. Прежде чем строить математическую модель природного явления, надо иметь гипотезу о его течении.

2. Разрабатывается математическая теория, описывающая изучаемые процессы с необходимой детальностью. На ее основе строится модель в виде системы абстрактных взаимодействий. Установленные законы должны быть облечены в точную математическую форму. Конкретные модели могут быть представлены в аналитической форме (системой аналитических уравнений) или в виде логической схемы машинной программы. Модель природного явления есть строгое математическое выражение сформулированной гипотезы.

3. Проверка модели – расчет на основе модели и сличение результатов с действительностью. При этом проверяется правильность сформулированной гипотезы. При значительном расхождении сведений

модель отвергают или совершенствуют. При согласованности результатов модели используют для прогноза, вводя в них различные исходные параметры.

Следует, однако, отметить, что сама по себе математическая модель не может служить абсолютным доказательством правильности той или иной гипотезы, так как может оказаться, что разные гипотезы приводят к сходным результатам, но она служит одним из путей анализа реальности.

Расчетные методы в случае правильно построенной модели помогают увидеть то, что трудно или невозможно проверить в эксперименте, позволяют воспроизводить такие процессы, наблюдение которых в природе потребовало бы много сил и больших промежутков времени. В математических моделях можно «проигрывать» разные варианты – вычленять разные связи, комбинировать отдельные факторы, упрощать или усложнять структуру систем, менять последовательность и силу воздействий – все это дает возможность лучше понять механизмы, действующие в природных условиях.

Моделируют различные по характеру процессы, происходящие в реальной среде, как, например, отдельные типы экологических взаимодействий хищник – жертва, паразит – хозяин, конкурентные отношения, мутуализм и др. Математическими моделями описываются и проверяются разные варианты динамики численности, популяций, продукционные процессы в экосистемах, условия стабилизации сообществ, ход восстановления систем при разных формах нарушений и многие другие явления. Сами методы математического моделирования биологических систем развиваются, совершенствуются и разнообразятся.

Например, одну из простейших математических моделей для системы паразит – хозяин в динамике численности насекомых разработал в 1925 г. статистик А. Лотка, который вывел следующие уравнения:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 - p_1 N_1 N_2; \quad \frac{dN_2}{dt} = p_2 N_1 N_2 - d_2 N_2,$$

где N_1 – численность популяции хозяина; N_2 – численность популяции паразита; r_1 – удельная скорость увеличения популяции хозяина; d_2 – удельная скорость гибели популяции паразита; p_1 и p_2 – константы.

График процесса паразитической инвазии, построенный по таким уравнениям, обнаруживает, что в результате взаимодействия двух видов должны возникать осцилляции (колебания) с постоянной амплитудой, которая зависит от соотношения между скоростями увеличения численности двух видов.

В экологии сначала преобладали математические модели, основанные на предположениях о существовании в природе четких причинно-следственных зависимостей между популяциями в сообществах (так называемый **детерминистский** подход). В настоящее время меняется сам подход к математическому моделированию в экологии. Разработаны так называемые **имитационные** модели, основное внимание в которых уделяется именно разнообразию внутренней структуры популяций и сообществ. Вместо отбрасывания «несущественных» связей математики пытаются определить роль внутреннего разнообразия в поддержании существования надорганизменных систем.

Математическое моделирование широко применяется при решении экологических проблем, связанных с антропогенными воздействиями на природную среду. В современных математических моделях выделяют **тактические** и **стратегические** модели. Тактические модели экосистем и популяций служат для экологического прогнозирования их состояния, в том числе при разного рода экзогенных воздействиях. Стратегические модели строят в основном с исследовательскими целями, для вскрытия общих законов функционирования биологических систем, таких, как стабильность, разнообразие, устойчивость к воздействиям, способность возвращаться в исходное состояние. В задачи стратегических моделей входит изучение с помощью ЭВМ последствий разных стратегий управления экосистемами, чтобы иметь возможность выбрать оптимальную.

Модели, которые описывают взаимодействие общества и природы и в которых учитывают не только экологические, но и экономические, демографические и социальные показатели, называют **эколого-экономическими** моделями. Такие модели разрабатывают для долгосрочного прогнозирования экономического роста и общей оценки влияния человеческой деятельности на природную среду.

2.8. Статистические методы в экологии, совокупность методов количественного определения общих свойств и характера взаимосвязи варьирующих экологических явлений и процессов с помощью специального математического аппарата, основанного на теории вероятностей и других разделах высшей математики. Основным в экологических исследованиях является сравнительно-эколого-географический метод, заключающийся в сопряженном изучении и сопоставлении компонентов экосистем и их взаимосвязи на разных территориях, за различные промежутки времени, при разном соотношении факторов внешней среды. Достоверность получаемых при этом результатов достигается применением статистического метода, которые сводятся к обобщенной характеристике варьирующих элементарных экологических факторов и признаков; установлению и количественному выражению связи отдельных факторов между собой и связи объекта с факторами его жизнеобеспечения; разработке и расчету балансов движения вещества и энергии в экосистеме (радиационный, водный, воздушный балансы, баланс элементов питания и др.).

Применение статистического метода складывается из 3 стадий: сбора информации или осуществления массовых статистических наблюдений, сводки и систематизации материала и обобщения материала, где собственно и применяют математические методы, которые складываются из 4 основных разделов — характеристики выборочной совокупности, корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов. Характеристика выборочной совокупности заключается в нахождении общих признаков вариационного

ряда, который репрезентативен для генеральной совокупности. Наиболее распространенной величиной, характеризующей выборочную совокупность, служит средняя арифметическая, равная сумме всех вариантов, деленной на число последних. Изменчивость изучаемого признака характеризуют также его крайними значениями, средним квадратическим или стандартным отклонением, коэффициентом вариации и др. Корреляционный анализ применяют для установления взаимной связи нескольких признаков.

В экологии, как правило, каждому значению одного признака или фактора соответствует несколько значений другого. Такая связь называется корреляционной и определяется коэффициентом корреляции, корреляционным отношением, тетракорическим и поликорическим показателями связи, частным и множественным коэффициентами корреляции. Дисперсионный анализ применяют для установления роли отдельных факторов в изменчивости изучаемого признака. Поскольку в экологии изменчивость какого-либо признака зависит не только от исследуемых, но и от других, случайных факторов, то при дисперсионном анализе оценивают суммарное значение учитываемых факторов, затем вычисляют роль каждого из них. Регрессионный анализ применяют для установления зависимости изменений одного параметра экосистемы от изменения одного или нескольких других параметров, обуславливающих изменения первого. Регрессия может быть показана двумя рядами чисел, линиями в поле графика, коэффициентами и уравнениями регрессии.

3. Экологические методы исследований

Среди экологических методов в науке чаще используются: *мониторинга, микроскопические, изоферментного анализа, рентгеноструктурного анализа, биоморфологического анализа, группового анализа, морфофизиологических индикаторов, интродукционный, индикации*

загрязнения среды, дистанционного исследования экосистем, атомноадсорбционной спектрофотометрии.

3.1. Экологический мониторинг является комплексным мониторингом биосферы. Он включает в себя контроль за изменениями состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Термин «мониторинг» образован от лат. *Monitor* - наблюдающий, предостерегающий. Существует несколько современных формулировок определения мониторинга. Некоторые исследователи под мониторингом понимают систему повторных наблюдений за состоянием объектов окружающей среды в пространстве и во времени в соответствии с заранее подготовленной программой. Более конкретная формулировка определения мониторинга предложена академиком РАН Ю.А. Израэлем в 1974 г.: мониторинг состояния природной среды, и в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере, - комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий.

Программа ЮНЕСКО от 1974 г. определяет мониторинг как систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющую прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества. В России же в настоящее время создана и функционирует Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ). В связи с этим был принят государственный стандарт определения **«мониторинга окружающей природной среды»** - это система наблюдения и контроля, проводимых регулярно по определенной программе для оценки состояния окружающей

среды, анализа происходящих в ней процессов и своевременного выявления тенденций ее изменения.

Таким образом, объектами мониторинга в первую очередь являются: атмосфера (мониторинг приземного слоя атмосферы и верхней атмосферы); атмосферные осадки (мониторинг атмосферных осадков); поверхностные воды суши, океаны и моря, подземные воды (мониторинг гидросферы), криосфера (мониторинг составляющих климатической системы).

Кроме того, объектами мониторинга являются антропогенные воздействия и их источники:

1. связанные с поступлением в окружающую среду токсичных для человека и опасных для флоры и фауны веществ, а так же других видов воздействия (электромагнитного, шумового и др.);
2. приводящие к изменению сложившегося или естественного состояния природных сред, природных комплексов и их компонентов, а так же к сокращению или изменению биологического разнообразия, изменению ландшафта;
3. связанные с изъятием или изменением состояния природных ресурсов.

С помощью экологического мониторинга контролируется состояние экологических систем, в том числе природно-технических подсистем, а так же медико-гигиенические показатели среды обитания человека.

Таким образом, объектом мониторинга является окружающая природная среда. Окружающую среду, в таком случае следует рассматривать как совокупность факторов и элементов, способных оказывать прямое влияние на живой организм на любой стадии его индивидуального развития.

В настоящее время, с развитием антропосферы, необходимо учитывать прямую и обратную связь между деятельностью человека и состоянием окружающей среды, что позволяет сделать мониторинг.

Таким образом, задачи и цели мониторинга окружающей природной среды будут следующие:

1. наблюдение за источниками антропогенного воздействия;

2. наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
3. наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
4. оценка физического состояния природной среды;
5. прогноз изменений природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды.

Наблюдение за состоянием окружающей среды, по сути, представляет собой сбор информации о фактическом состоянии объектов окружающей среды; об источниках загрязнения; об основных изменениях в состоянии окружающей среды под воздействием загрязнителей. В соответствии с целями и задачами мониторинга сбор информации о состоянии окружающей среды относится к системе так называемого «диагностического» мониторинга, который служит основой для оценки наблюдаемых изменений, составления прогнозов возможных изменений окружающей среды, предотвращения отрицательных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду и разработки стратегий оптимальных взаимоотношений общества и окружающей среды.

Таблица 1. - Классификация видов мониторинга

Ступени мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели
Локальный (санитарно-гигиенический, биоэкологический)	Приземной слой воздуха	ПДК токсических веществ
	Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.)
	Радиоактивные излучения	Предельная степень радиоизлучения
Региональный (геосистемный, природно-хозяйственный)	Исчезающие виды животных и растений	Популяционное состояние видов
	Природные экосистемы	Их структура и нарушения
	Агроэкосистемы	Урожайность

		сельскохозяйственных структур
	Лесные экосистемы	Продуктивность насаждений
Глобальный (биосферный, фоновый)	Атмосфера	Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление
	Гидросфера	Загрязнение рек и водоемов, водные бассейны, круговорот воды на континентах
	Растительные и почвенные покровы, животное население	Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные круговороты, баланс CO ₂ , O ₂ и др. веществ.

Мониторинг состояния окружающей природной среды предусматривает постоянное наблюдение за процессами, происходящими в природе и техносфере, с целью предвидения изменений их качества, ухудшения среды обитания человека, деградации биосферы.

В зависимости от конкретных целей, задач, объектов наблюдения различают несколько видов и классов мониторинга.

По объектам наблюдения различают: атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

Существует классификация систем мониторинга по факторам, источникам и масштабам воздействия.

Мониторинг факторов воздействия - мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, радиоактивные излучения, солнечная радиация, акустические шумы и шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнения - мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных

(транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

По масштабам воздействия мониторинг бывает пространственным и временным.

По характеру обобщения информации различают следующие системы мониторинга (табл.1):

Глобальный - слежение за общемировыми процессами и явлениям в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях;

Базовый (фоновый) - слежение за общебиосферными, в основном природными явлениями, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;

Национальный - мониторинг в масштабах страны;

Региональный - слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут различаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;

Локальный - мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;

Импактный - мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо-опасных зонах и местах.

Классификация систем мониторинга может основываться и на методах наблюдения (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг).

Химический мониторинг - это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня

загрязнения окружающей среды приоритетными высокотоксичными ингредиентами.

Физический мониторинг - система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (электромагнитные излучения, радиация, акустические шумы и т.д.).

Биологический мониторинг - мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

Экобиохимический мониторинг - мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Дистанционный мониторинг - в основном авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способный осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

В зависимости от принципа классификации имеются различные системы мониторинга

Наиболее универсальным является комплексный экологический мониторинг окружающей среды.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды - это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов.

При проведении комплексного экологического мониторинга окружающей среды:

- а) проводится постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а так же оценка состояния и функциональной целостности экосистем;
- б) создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Система комплексного экологического мониторинга предусматривает:

1. выделение объекта наблюдения;
2. обследование выделенного объекта наблюдения;
3. составление для объекта наблюдения информационной модели;
4. планирование измерений;
5. оценку состояния объекта наблюдения и идентификацию его информационной модели;
6. прогнозирование изменения состояния объекта наблюдения;
7. предоставление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя.

Основные цели комплексного экологического мониторинга состоят в том, что на основании полученной информации:

- 1) оценить показатели состояния и функциональной целостности экосистем и среды обитания человека (т.е. провести оценку соблюдения экологических нормативов);
- 2) выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений, а так же определить корректирующие меры в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются (т.е. провести диагностику состояния экосистем и среды обитания);
- 3) создать предпосылки для определения мер по исправлению возникающих негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб, т.е. обеспечить заблаговременное предупреждение негативных ситуаций.

Существует так же понятие **общего мониторинга**, объектом исследования которого является, по мнению академика И.П. Герасимова (1975), «многокомпонентная совокупность природных явлений, подверженная многообразным естественным динамическим изменениям и испытывающая разнообразное воздействие и преобразование ее человеком».

Для конкретизации действий и удобства рассмотрения общий мониторинг он подразделяет на следующие блоки:

- биоэкологический;

- геоэкологический;
- биосферный;

В каждый из этих блоков могут быть включены определенные виды мониторинга в зависимости от конкретных объектов наблюдения. В свою очередь, структура отдельного вида мониторинга может состоять из отдельных подсистем или подпрограмм из других видов мониторинга.

Один из вариантов структуры видов мониторинга окружающей среды представлен на схеме ниже. Приведенная на схеме структура не является полной классификацией всех возможных видов мониторинга окружающей среды. Между отдельными видами мониторинга не всегда представляется возможным провести четкую грань, поскольку отдельные виды мониторинга могут быть использованы другими или входят в их структуру.

В настоящее время наибольшую актуальность приобретает **мониторинг антропогенных изменений**, так как именно техногенное или хозяйственное воздействие человека на окружающую среду приносит опасные изменения в экологические системы, ландшафты, природные комплексы. Основой для этого служит фоновый мониторинг в неизменных или малоизмененных природных комплексах.

Исключительно важное значение имеют результаты фонового мониторинга в процессе **биосферного мониторинга**, предназначенного для определения глобально-фоновых изменений в окружающей природной среде под усиливающимся антропогенным воздействием.

Последствиями антропогенного «давления» на биосферу могут быть изменения циркуляции газов между океаном и воздушной оболочкой Земли, погодно-климатических условий на планете, нарушение озонового слоя, загрязнения Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, нарушение естественных мест обитания и путей миграции в животном мире, нарушение биогеоценозов и т.д.

И подобным нарушениям имеются веские аргументы, полученные при биосферном мониторинге.

Неотъемлемой частью биосферного мониторинга являются биосферные заповедники (заказники), позволяющие поддерживать стратегию биоразнообразия.

3.2. Мониторинг состояния природных ресурсов

Атмосферный воздух практически не учитывается как природный ресурс, и контроль за его компонентами, за исключением диоксида углерода, не ведется. В то же время отмечаемое снижение содержания кислорода в промышленных центрах нарушает нормальное клеточное дыхание живого организма, осложняет ведение технологических процессов, в частности, в металлургической промышленности.

Водные ресурсы. Мониторинг водных ресурсов проводится в рамках государственного водного кадастра. Учет водных ресурсов (кроме подземных) и наблюдение за режимом велись на сети гидрометеорологических обсерваторий, станций и постов Росгидромета по единой в стране системе. Роскомвод обеспечивает на предприятиях, в организациях и учреждениях контроль правильности учета количества вод, забранных из водоисточников, и сброса в них использованных вод, осуществляя учет использования вод.

Несмотря на существующие стандартные формы отчетности, методологические несоответствия и технические сложности учета водозабора и водосброса приводят к значительному расхождению величин одних и тех же показателей, представляемых различными ведомствами.

Государственный учет подземных вод (в том числе и эксплуатационных запасов) осуществляют организации Министерства природных ресурсов Российской Федерации.

Контролю подлежат количество отбираемых питьевых и технических вод и распределение этого отбора по видам использования. В связи с тем, что

водопользователи отчитываются нерегулярно, а водозаборы обследуются периодически (один раз в 5-6 лет), получаемые данные приблизительны.

Наблюдение за запасами и состоянием минеральных вод и лечебных грязей, а также контроль этих запасов ведут режимно-эксплуатационные станции территориальных советов профсоюзов. Они отмечают почти повсеместное истощение гидроминеральных ресурсов, ухудшение их качества и угрозу деградации.

Земельные ресурсы. Мониторинг земельных ресурсов осуществляется как землепользователями, так и государственными землеустроительными органами. Инвентаризация земель, проводится один раз в 5 лет.

Сведения государственной регистрации землепользования, учет количества и качества земель, бонитировки почв и экономической оценки земель фиксируются в Государственном земельном кадастре.

В результате перераспределения земель наблюдаются выбытие из оборота сельскохозяйственных угодий и ухудшение их качества.

Минерально-сырьевые ресурсы. Мониторинг минерально-сырьевых ресурсов ведется на различных стадиях их освоения. Геологическое изучение недр, учет состояния и движения запасов полезных ископаемых входят в компетенцию органов Министерства природных ресурсов РФ. Надзорную деятельность в области рационального использования минерально-сырьевых ресурсов осуществляет Госгортехнадзор России. Последний представляет собой специализированный контрольный орган, который осуществляет наряду с надзором за состоянием безопасности работ в промышленности надзор за соблюдением порядка пользования недрами при разработке месторождений полезных ископаемых и переработке минерального сырья.

В соответствии с возложенными на него задачами Госгортехнадзор России согласовывает и контролирует нормативы потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче и нормативы потерь при переработке минерального сырья; налагает санкции на сверхнормативные потери; ограничивает, приостанавливает или запрещает сброс в недра сточных вод,

захоронение вредных веществ и отходов производства, подземное хранение веществ и материалов.

Министерству природных ресурсов РФ в части охраны недр подконтрольно около 3650 предприятий по добыче и переработке минерального сырья, в составе которых более 171 тыс. объектов (шахты, рудники, карьеры и разрезы). Надзор за безопасным ведением работ в промышленности и горный надзор осуществляют 39 округов.

В результате контрольной деятельности в части нарушения требований правил и норм по использованию недр за один год было выявлено свыше 36 тыс. нарушений, работы приостанавливались в 1410 случаях, оштрафовано свыше 700 работников предприятий. Принятые меры позволили сохранить на балансе предприятий следующие объемы полезных ископаемых: угля_свыше 130 млн. т, руд черных металлов - 14,5 млн. т, руд цветных, благородных и редких металлов - 7,2 млн. т и 2 млн. м² песков, агрохимического сырья - 2 млн. т и более 120 млн. т нерудных полезных ископаемых.

Биологические ресурсы. Учет охотничьих и промысловых животных возложен на службы Главохоты РФ, которая на основании имеющихся сведений составляет прогнозы рационального использования животных ресурсов. Отсутствие кадастров животного мира и слабая их инвентаризация не позволяют говорить о существовании мониторинга.

Мониторинг рыбных ресурсов ведется во всех рыбопромысловых бассейнах и в местах, наиболее подверженных антропогенному воздействию. Осуществляют его сотрудники рыбохозяйственных институтов, ихтиологических служб органов рыбоохраны, находящихся в подчинении Комитета Российской Федерации по рыболовству.

В настоящее время нет возможности охватить контролем все рыбохозяйственные водоемы страны.

Работы по изучению и картографированию запасов диких растений ведут преимущественно научно-исследовательские институты и кафедры

соответствующих вузов. Однако даже для используемых в качестве промышленного сырья лекарственных трав не определены запасы в пределах их ареалов, недостаточны сведения о существующих районах их размещения. Можно говорить только о работах по оценке флористического разнообразия отдельных регионов, регулированию пастбищных нагрузок на природные группировки, контролю за изъятием промысловых растений.

Мониторинг лесных ресурсов включает в себя учет лесного фонда, охрану лесов от пожаров, санитарно-лесопатологический контроль и контроль за рубкой и восстановлением лесов, а также специализированный мониторинг производственно-территориальных комплексов, зон экологического неблагополучия, северных территорий и др. Мониторинг строится на двух уровнях: региональном и локальном. Учет лесного фонда и фоновый мониторинг осуществляют при проведении непрерывного и периодического лесоустройства.

Функционально-технологическая структура национального уровня системы мониторинга лесов включает лесостроительные предприятия, службу лесопатологического мониторинга, а так же специализированные предприятия и станции по защите леса, ПО «Авиалесохрана», ВНИИЦлесресурс, в состав которого входят аэрокосмическая экспедиция и спецпредприятие, научно-исследовательские институты отрасли и вузы.

Единая Государственная Система Экологического Мониторинга

В государственной системе управления природоохранной деятельностью важная роль отводится формированию Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) как источнику объективной комплексной информации о состоянии окружающей природной среды.

ЕГСЭМ включает в себя следующие основные компоненты:

- мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду;

- мониторинг загрязнения абиотической компоненты окружающей природной среды;
- мониторинг биотической компоненты окружающей природной среды;
- обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем.

Организация работ по созданию ЕГСЭМ осуществляется во исполнение Постановления Совета Министров - Правительства Российской Федерации от 24 ноября 1993 г. № 1229, соответствующих приказов и распоряжений Госкомэкологии России, МГС. России, Минобороны России, Минтопэнерго России, Роскомзема, Госгортехнадзора России и т.д. Соответствующими приказами и постановлениями предусматриваются разработка и создание территориальных подсистем ЕГСЭМ.

По созданию подсистем ЕГСЭМ ведутся работы на территориях Амурской, Калужской, Курганской и Челябинской областей, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, республик Мордовия, Карелия и Чувашия, экологокурортного региона Кавказские Минеральные Воды и др. Кроме того, организуются региональные единые системы экологического мониторинга. Например, на территории Уральского региона в такую систему должны войти Курганская, Оренбургская, Пермская, Свердловская и Тюменская области, а так же межрегиональные комплексные программы экологического мониторинга Северо-Западного и Северного регионов. Минприроды Чувашии, Минэкологии Республики Мордовии и Пермский облкомприроды решили создать межрегиональную комплексную программу экологического мониторинга бассейна р. Суры.

Важнейшей составной частью по организации ЕГСЭМ является **организация мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую природную среду**. Наблюдения за источниками выбросов и сбросов проводятся предприятиями, организациями и учреждениями, загрязняющими окружающую среду. Ответственность за

создание и эксплуатацию средств наблюдения и контроля состояния источников антропогенного воздействия возлагается на природопользователей.

Каждое министерство и ведомство в соответствии со своей спецификой и имеющимися нормативными документами организует службы ведомственного контроля на своих предприятиях и отчитывается перед контролирующими органами Госкомэкологии России ПО принятым формам статистической отчетности и другим, разработанным и утвержденным документам.

Организационное и производственное обеспечение контроля промышленных выбросов и сбросов не отвечает требованиям, предъявляемым к автоматизированным измерительно-информационным системам, основной объем данных о количественном составе выбросов в атмосферу получают, используя главным образом инструментально-лабораторные методы контроля.

Территориальными подразделениями Госкомэкологии России осуществляется мониторинг источников антропогенного воздействия на атмосферный воздух. Задачей наблюдений этого вида является определение состава и количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от источников выбросов. Объекты наблюдения - предприятия (промышленные, сельскохозяйственные, транспортные и др.), имеющие источники загрязнения атмосферы, а также сами источники. Указанным мониторингом охвачено 18380 предприятий в 459 городах России. Эти наблюдения включают:

- ведомственный контроль, который производится силами ведомственных лабораторий контроля промышленных выбросов, прошедших метрологическую аттестацию, либо с привлечением лицензированных (аккредитованных) лабораторий;

- государственный контроль, осуществляемый лабораториями контроля промышленных выбросов при территориальных органах Госкомэкологии России.

Специализированные инспекции аналитического контроля (СИАК) осуществляют надзор за деятельностью ведомственных служб и лабораторий, определяющих содержание загрязняющих веществ в выбросах и сбросах предприятий.

Мониторинг загрязнения абиотической составляющей окружающей природной среды в рамках ЕГСЭМ ведет Государственная служба наблюдения (ГСН) за загрязнением окружающей природной среды.

Основными задачами ГСН являются:

- обеспечение ЕГСЭМ данными о состоянии и уровнях загрязнения атмосферного воздуха, вод суши и морей, почв, геологической среды и происходящих в них изменениях;
- обеспечение органов и организаций, входящих в Единую государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, оперативной прогностической и фактической информацией в целях безопасности населения, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, снижения ущерба экономике от стихийных бедствий, аварий и катастроф природного и техногенного характера;
- обеспечение отраслей экономики (сельского, лесного, водного и коммунального хозяйств, энергетики, строительства, транспорта и т.д.) информацией о фактических и ожидаемых неблагоприятных для их деятельности изменениях в состоянии окружающей природной среды.

Таким образом, в части решения чисто экологических задач ГСН оказывает информационную поддержку ЕГСЭМ данными о состоянии и изменении абиотических параметров природной среды.

В рамках ГСН наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводятся в 284 городах на 664 стационарных постах, в том числе в 234

городах - непосредственно подразделениями Росгидромета. Режимные наблюдения за загрязнением поверхностных вод Российской Федерации осуществляются в 1928 пунктах, 2617 створах, 2958 вертикалях и 3407 горизонтах, расположенных на 1363 водных объектах, из них на 1204 водотоках и 159 водоемах.

Подсистема мониторинга загрязнения состоит из центральной и 10 региональных лабораторий, а также экспедиционных обследований. Мониторинг загрязнения морских вод (по химическим и гидробиологическим показателям) базируется на данных более чем 500 станций, расположенных на всех морях России. В состав сети наблюдений за радиоактивным загрязнением природной среды входят 1456 гидрометстанций и постов, осуществляющих измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (1394 пункта), наблюдения за радиоактивными атмосферными выпадениями (487 пунктов) и аэрозолями (51 пункт). На 30 пунктах проводятся наблюдения за содержанием трития в атмосферных осадках, на 82 - за содержанием стронция-90 и других долгоживущих радионуклидов в водах суши и морей. Созданные в сетевых подразделениях оперативные группы осуществляют маршрутные и экспедиционные обследования радиационной обстановки в районах, прилегающих к радиационно-опасным объектам.

Минатом России в рамках системы ЕГАСКРО является ответственным исполнителем разработки подсистемы автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). В рамках этой подсистемы Сибирским химическим комбинатом создается и внедряется автоматизированная система промышленного мониторинга (АСПРОМ), которая должна обеспечивать выработку управленческих решений на основе автоматизации информационных процессов в различных сферах деятельности комбината (производство, экология, радиационная и химическая безопасность персонала и населения, управление технологическими процессами и контроль за ними).

Государственный мониторинг геологической среды (ГМГС) представляет собой федеральную систему наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния геологической среды. Система ГМГС действующая практически на всей территории Российской Федерации, включает:

- государственную опорную наблюдательную сеть, состоящую из 15 тыс. пунктов наблюдений за подземными водами, 700 участков наблюдений за опасными экзогенными процессами, пяти полигонов и 30 наблюдательных скважин для изучения предвестников землетрясений и слежения за ними, одного геохимического полигона и пяти геокриологических стационаров;
- локальные наблюдательные сети на объектах недропользования;
- 57 территориальных центров ГМГС в составе территориальных комитетов и унитарных геологических предприятий;
- три региональных центра ГМГС в составе Центрального, Северо-Западного и Северо-Кавказского региональных геологических центров.

Среди всех блоков экологического мониторинга в рамках ЕГСЭМ **мониторинг биоты** является наиболее сложным и наименее разработанным не только в России, но и во всем мире.

Многочисленные публикации по мониторингу отдельных видов биоты или проблемам биоиндикации не позволяют применять большинство из них в ЕГСЭМ, поскольку нет единой методологии использования объектов живой природы в системе экологического мониторинга с целью не только оценки, но и регулирования качества окружающей среды.

В настоящее время в системе Госкомэкологии России идет разработка системы мониторинга живой природы в рамках ЕГСЭМ. Она включает три основных блока мониторинга: растительный мир, животный мир, живую природу на охраняемых природных территориях.

Первоочередная задача - определение приоритетных показателей для каждого из блоков мониторинга на федеральном и территориальном уровнях (дифференцированно для наземных, водных и почвенных экосистем).

Методы мониторинга биоты проходят апробацию в рамках разработанной подпрограммы мониторинга особо охраняемых территорий. В ряде заповедников (Центрально-Лесной, Приокско-Террасный) ведется мониторинг биоты эталонных наземных экосистем.

На территории некоторых областей (Амурская, Калужская, Кировская и Курганская) мониторинг биоты выделен в отдельную программу. Цели мониторинга биоты:

- наблюдение, оценка и прогноз состояния редких и исчезающих видов природной флоры (кроме лесов) и фауны; редких, исчезающих и типичных растительных сообществ, нуждающихся в особой охране; ботанических памятников природы;
- информационное обеспечение органов власти, тематических федеральных подсистем мониторинга животного и растительного мира, других юридических и физических лиц в части природопользования и охраны окружающей природной среды.
- Согласно разработанным положениям, на некоторых территориях (Амурская, Калужская, Курганская области) осуществляется следующая деятельность:
- инвентаризация (кадастр) мест обитания и распространения редких и исчезающих растений, в первую очередь находящихся под угрозой исчезновения (категория 1);
- оценка, контроль и прогноз состояния исчезающих видов;
- инвентаризация (кадастр) и оценка состояния редких, исчезающих и типичных фитоценозов (составление «Зеленой книги» Амурской области);
- инвентаризация флоры с целью выявления изменений видового состава; оценка экологических причин, вызывающих эти изменения;
- выявление видов, не вошедших в «Красную Книгу», но попадающих под статус исчезающих в силу негативных изменений их состояния;

- создание долговременной наблюдательной сети для ведения фонового (в ненарушенных ценозах) и импактного (в районах хозяйственной деятельности) мониторингов.

3.3. Системы автоматического мониторинга

Как известно, первые автоматические системы слежения за параметрами внешней среды были созданы в военных и космических программах. В 50-е гг. в системе ПВО США уже использовали семь эшелонов плавающих в Тихом океане автоматических буев, но самая впечатляющая автоматическая система по контролю качества окружающей среды была, несомненно, реализована в «Луноходе».

В настоящее время процесс миниатюризации электронных схем дошел до молекулярного уровня, делая реальным полностью автоматизированные, с всеобъемлющим программным обеспечением, сложные многоцелевые и в то же время компактные, полностью автономные системы слежения за качеством окружающей среды. Их развитие в настоящее время сдерживается не техническими, а прежде всего финансовыми трудностями - они все еще стоят очень дорого - и, как ни странно, организационными проблемами многоуровневого управления такими системами, настолько информативными и потенциально мощными, что их создание и эксплуатация приобретают политическое значение. Можно даже сказать, что социально и психологически общество не готово к использованию таких систем, которые по существу опередили свое время, что в современном обществе скорее является правилом, чем исключением.

Основными структурными блоками современных автоматических систем мониторинга являются:

- датчики параметров окружающей среды - температуры, концентрации соли в воде, солнечной радиации, ионной формы металлов в водной

среде, концентраций основных загрязнений атмосферы и вод, включая СПАВ, гербициды, инсектициды, фенолы, гексахлорциклогексаны (пестициды), бенз(а) пирены и др.;

- датчики биологических параметров - прироста древесины, проективного покрытия растительности, гумуса почв и др.;
- автономное электропитание на основе совершенных аккумуляторов или солнечных батарей, прогресс в разработке которых также был обеспечен в течение последних 20-30 лет щедрым финансированием космических программ;
- миниатюризированные радиопередающие и радиоприемные системы, действующие на относительно короткое расстояние-10-15 км;
- компактные радиостанции, передающие на сотни и тысячи километров;
- системы спутниковой связи;
- современная вычислительная техника;
- программное обеспечение ЭВМ.

В качестве простейшей автоматизированной системы слежения за параметрами окружающей среды приведем пример системы мониторинга экологического состояния водной среды «Радуга», разработанной Ассоциацией по решению экологических проблем г. Выборга. Эта система предназначена для измерения параметров водной среды, первичной обработки данных и передачи информации по радиоканалу, обработки и хранения информации в ЭВМ, выдачи результатов измерений в графическом и табличном вариантах на дисплей или принтер.

Система позволяет оперативно следить за состоянием водной среды, обеспечивает качественный мониторинг при проведении работ по восстановлению нормального экологического и санитарного состояния водоемов. Она может быть применена для контроля химического состава промышленных сточных вод, слежения за соблюдением уровней ПДК, а

также для контроля требуемого качества технологических вод в различных производственных процессах.

Применение данной системы в ее последнем качестве на промышленном предприятии, по расчетам, позволит сэкономить сырье и химикаты на сумму, составляющую до 20% их первоначальной стоимости. Таким образом, система «Радуга» улучшает технико-экономические показатели производства, а введение в программное обеспечение расчета ущерба, наносимого данным предприятием природе и человеку, делает наглядной ту ответственность, которую несет каждый работающий на предприятии, и поднимает культуру производства.

Серийно выпускаемое в настоящее время подобное оборудование производит измерение четырех-шести параметров с помощью одной головки, погруженной в контролируемую среду, с выдачей полученных показаний на шифровом индикаторе, с записью в память прибора.

Преимущества системы «Радуга», состоят в следующем. Одна приемная станция обслуживает до 16 автоматических передающих станций. К одной передающей станции возможно подключение 16 датчиков. Таким образом, система «Радуга» может измерять в автоматическом режиме до 256 параметров. Использование передачи данных по радиоканалу позволяет существенно увеличить расстояние от передающих станций до приемной. Возможно накопление и хранение получаемой информации в контроллере приемной станции в течение суток с последующей передачей в сжатом (архивированном) виде в ЭВМ для последующей обработки; представление результатов измерений в графическом или табличном виде на дисплее с последующей печатью на принтере.

Система «Радуга» работает круглосуточно в автоматическом режиме с передачей данных из контроллера в ЭВМ один раз в сутки. Цикл опроса каждого датчика задается в интервале от 1 ч до суток. Таким образом, данная система может служить «сторожем», фиксируя залповые, аварийные сбросы,

обычно скрывааемые предприятиями, которые приурочивают их, как правило, к ночному времени с воскресенья на понедельник.

Требования к датчикам универсальные - преобразование сигнала в электрический импульс, доступный стандартной обработке. В настоящее время в качестве датчиков могут использоваться все ионселективные электроды, дающие показатели насыщения водородом, кислородом, ионами хлора, брома, йода, нитратов, нитритов, аммонийного азота, сульфатов, сульфитов, тиосульфатов, меркоптанов, фосфатов и ряда тяжелых металлов.

Организация мониторинга окружающей среды

Эффективность любой системы (вида) мониторинга определяется организацией, что представляет собой сложную, многоплановую задачу.

Прежде всего, сложность организации мониторинга зависит от его уровня. Мониторинг окружающей среды может охватывать локальные территории (район, область) - локальный уровень, отдельные регионы (округа) - региональный уровень, а земной шар в целом - глобальный уровень. При этом с учетом уровня мониторинга должна быть создана значительная сеть станций, пунктов, постов наблюдений, оснащенных самым современным оборудованием, использующих новейшие технологии.

Так, например, система гидрометеорологического мониторинга до недавнего времени насчитывала более 1800 гидрометеостанций, около 3,5 тысячи наблюдательных постов, 42 гидрометеорологические обсерватории, более 190 авиаметеорологических и около 150 аэрозольных станций. В системе используются для получения необходимой информации как национальные («Метеор», «Океан», «Прогноз» и др.) так и международные космические комплексы и аппараты.

Важным вопросом организации и функционирования системы мониторинга является ее финансовое обеспечение.

В России наряду с бюджетным финансированием различных служб и ведомств, осуществляющих мониторинг окружающей среды, функционирует Федеральный экологический фонд Российской Федерации (ФЭФРФ).

ФЭФРФ осуществляет финансирование по направлениям природоохранной деятельности и федеральным целевым экологическим программам, в т.ч. развитие системы экологического мониторинга и его обеспечение.

Вместе с тем эффективность мониторинга окружающей природной среды во многом зависит от научного обоснования его теоретических и методологических основ, критериев оценки различных факторов и показателей антропогенных изменений и нарушений в биосфере. Решение этих вопросов существенно повысит уровень практической значимости результатов, полученных в процессе реализации программ мониторинга окружающей природной среды.

3.4. Микроскопические методы

Микроскопия — изучение объектов с использованием микроскопа. Подразделяется на несколько видов: оптическая микроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская или рентгеновская лазерная микроскопия, отличающиеся использованием электромагнитных лучей с возможностью рассмотрения и получения изображений микроэлементов вещества в зависимости от разрешающей способности приборов (микроскопов).

Оптическая микроскопия. Человеческий глаз представляет собой естественную оптическую систему, характеризующуюся определённым разрешением, т. е. наименьшим расстоянием между элементами наблюдаемого объекта (воспринимаемыми как точки или линии), при котором они ещё могут быть отличены один от другого. Для нормального глаза при удалении от объекта на т. н. расстояние наилучшего видения ($D = 250$ мм), среднестатистическое нормальное разрешения составляет $0,176$ мм. Размеры микроорганизмов, большинства растительных и животных клеток, мелких кристаллов, деталей микроструктуры металлов и сплавов и т. п. значительно меньше этой величины. Для наблюдения и изучения подобных

объектов и предназначены микроскопы различных типов. С помощью микроскопов определяют форму, размеры, строение и многие другие характеристики микрообъектов.

Оптический, или световой микроскоп использует видимый свет, проходящий через прозрачные объекты, или отражённый от непрозрачных. Оптическая система из нескольких линз позволяет получить кажущееся увеличенное изображение образца. Полученное изображение можно наблюдать глазом (или обеими глазами, в бинокляре), либо фотографировать, передавать на видеокамеру для оцифровки. В состав современного микроскопа обычно входит система подсветки, столик для перемещения объекта (препарата), наборы специальных объективов и окуляров.

Были разработаны виды микроскопов, позволяющие существенно расширить возможности обычной оптической микроскопии:

1. Люминесцентный микроскоп
2. Поляризационный микроскоп
3. Металлографический микроскоп

До 1950-х годов работали преимущественно в диапазоне видимого спектра света. Глаз работает в оптическом диапазоне длин волн. Оптические микроскопы не могли давать разрешающей способности менее полупериода волны опорного излучения (для видимого диапазона длина волн 0,2—0,7 мкм, или 200—700 нм). Предельное увеличение оптического микроскопа — до 2000 раз. Дальнейшее увеличение изображения нецелесообразно, так как не позволяло обнаружить дополнительных деталей структуры вещества. Отдельные частички размером приблизительно до 0,15 мкм хорошо видны при увеличении в 2000 раз. Более мелкие частицы не отражают световые лучи и не видны под микроскопом.

Электронная микроскопия - совокупность электронно-зондовых методов исследования микроструктуры твердых тел, их локального состава и микрополей (электрических, магнитных и др.) с помощью электронных

микроскопов - приборов, в которых для получения увеличения изображений используют электронный пучок. Электронная микроскопия включает также методики подготовки изучаемых объектов, обработки и анализа результирующей информации. Различают два главных направления электронной микроскопии: трансмиссионную (просвечивающую) и растровую (сканирующую), основанных на использовании соответствующих типов. Они дают качественно различную информацию об объекте исследования и часто применяются совместно. Известны также отражательная, эмиссионная, оже-электронная, лоренцова и иные виды электронной микроскопии, реализуемые, как правило, с помощью приставок к трансмиссионным и растровым электронным микроскопам.

Рентгеновская микроскопия — совокупность методов исследования микроскопического строения вещества с помощью рентгеновского излучения. В рентгеновской микроскопии используют специальные приборы — рентгеновские микроскопы. Разрешающая способность достигает 100 нм, что в 2 раза выше, чем у оптических микроскопов (200нм). Теоретически рентгеновская микроскопия позволяет достичь на 2 порядка лучшего разрешения, чем оптическая (поскольку длина волны рентгеновского излучения меньше на 2 порядка). Однако современный оптический микроскоп - наноскоп имеет разрешение до 3-10нм.

Рентгеновская микроскопия разделяется на:

- Отражательная микроскопия
- Проекционная микроскопия
- Электронная микроскопия
- Рентгеновская лазерная микроскопия

3.5. Изоферментный анализ

Изоферментный анализ - это электрофоретическое разделение белков с гистохимическим обнаружением специфической ферментативной

активности. Изоферменты – разные формы одного и того же фермента. Биосинтез ферментов контролируется генетически. Если ген полиморфен – изменчивы и изоферменты по своим свойствам (например, по электрическому заряду). По этой причине они являются молекулярными маркерами, позволяющими описывать структуру популяций и их разнообразие.

Электрофоретический спектр, состоящий из полос, называется электрофореграммой, или, в случае изоферментного анализа - зимограммой. На раннем этапе развития электрофореза анализ фореграмм состоял преимущественно в подсчете числа полос и измерении их подвижностей. В дальнейшем быстрое развитие биохимической генетики позволило выявить генетические особенности наблюдаемой изменчивости спектров. Стало очевидным, что большая часть зон активности ферментов на геле контролируются отдельными генетическими локусами, а варианты в пределах зоны - аллелями этих локусов.

Изоферментный анализ успешно используется с конца 50-х годов 20 века как эффективный инструмент во многих сферах генетических исследований. Изоферменты являются на сегодняшний день очень полезными генетическими маркерами, несмотря на быстрое развитие методов анализа ДНК. С помощью изоферментов можно получать надежную и полную генетическую информацию за короткое время. По сравнению с морфологическими признаками проявление электрофоретической изменчивости, не зависит от условий среды, отражает различия непосредственно в генотипах особей. При неправильном условии хранения образцов или посттрансляционных модификаций, как правило, различия в электрофоретический спектрах легко отличимы от генетической изменчивости путем проверки простых гипотез о типе наследования. Изоферменты контролируются моногенно (один ген - одна зона ферментативной активности на геле), т. е. демонстрируют простое Менделеевское наследование. Типы наследования обычно проверяются в

скрещиваниях, однако в настоящее время наследование изоферментов уже описано у многих таксонов. При анализе нового организма часто нет необходимости проводить скрещивания, поскольку данные по близкородственным видам дают достаточно надежную информацию о наследовании. Важным качеством изоферментных локусов является то, что они экспрессируются кодоминантно, так что в подавляющем большинстве случаев легко диагностируются все генотипы, как гомозиготные, так и гетерозиготные.

Начиная со второй половины XX века, значительные усилия исследователей были направлены на выявление специфических механизмов адаптации растений к техногенным факторам. Благодаря прогрессу молекулярно-биологических методов анализа стало возможным изучать проблемы устойчивости на генетическом уровне.

В настоящее время разрабатываются теоретические положения, в основе которых лежит понимание, что для адаптации к нестабильным условиям среды необходимо предотвратить уменьшение биоразнообразия растений и главным образом, на популяционном уровне. Особый упор в экспериментальных исследованиях делается на изучение разнообразия популяций, а не устойчивости отдельных клонов или генотипов к поллютантам. При этом в качестве отправной точки используется идея, что чем выше разнообразие, тем больше у популяции шансов для выживания в постоянно меняющихся условиях окружающей среды.

3.6. Рентгеноструктурный анализ

Рентгеновский структурный анализ – это методы исследования структуры вещества по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом объекте рентгеновского излучения. (Рентгеновские лучи - электромагнитное ионизирующее излучение, занимающее спектральную область между гамма и ультрафиолетовым

излучением в пределах длин волн от 10-12 до 10-5 см). Рентгеноструктурный анализ наряду с нейтронографией и электронографией является дифракционным структурным методом. В его основе лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества, в результате которого возникает дифракция рентгеновских лучей. Дифракция рентгеновских лучей - рассеяние рентгеновских лучей кристаллами (или молекулами жидкостей и газов), при котором из начального пучка лучей возникают вторичные отклонённые пучки той же длины волны, появившиеся в результате взаимодействия первичных рентгеновских лучей с электронами вещества; направление и интенсивность вторичных пучков зависят от строения рассеивающего объекта. Дифракционная картина зависит от длины волны используемых рентгеновских лучей и строения объекта. Для исследования атомной структуры применяют излучение с длиной волны $\sim 1 \text{ \AA}$, т. е. порядка размеров атомов. Методами рентгеноструктурного анализа изучают металлы, сплавы, минералы, неорганические и органические соединения, полимеры, аморфные материалы, жидкости и газы, молекулы белков, нуклеиновых кислот и т.д. Наиболее успешно этот метод применяют для установления атомной структуры кристаллических тел. Это обусловлено тем, что кристаллы обладают строгой периодичностью строения и представляют собой созданную самой природой дифракционную решётку для рентгеновских лучей.

3.7. Интродукционный метод

Под интродукцией растений понимают целенаправленную деятельность человека по введению в культуру новых видов, форм и сортов путем разведения их за пределами естественного ареала (виды, подвиды, разновидности) или продвижения в новые районы сортов. Интродуцированные растения называют *интродуцентами* или *экзотами*, в

отличие от местных видов, которые относят к *аборигенным* или *автохтонным*.

Интродукция древесных растений включает распространение семян, черенков, а иногда и молодых растений целиком. Семенной способ разведения интродуцентов является более эффективным, так как обеспечивает лучшую адаптацию интродуцируемых древесных растений к новым условиям внешней среды. Во всех случаях при интродукции человек имеет дело не с видом в целом, а лишь с определенными представителями его популяций.

Для лесного хозяйства, прежде всего, важна интродукция таких лесообразователей, которые способны обеспечить значительное повышение производительности лесов и сокращение сроков выращивания высококачественной древесины.

При любом переносе растения из его ареала распространения в новый район ему необходимо в той или иной мере приспособливаться к новым условиям местопроизрастания.

Поэтому правильней различать *простую* и *сложную интродукцию*.

Простой интродукцией называется метод введения новых пород без предварительного изменения их свойств. При проведении простой интродукции есть два пути:

- 1) предварительный эксперимент и изучение его результатов;
- 2) предварительное изучение интродуцируемой породы и затем эксперимент.

Сложной интродукцией называется метод введения новых пород с предварительным изменением их свойств.

К условиям, определяющим возможность интродукции, относятся: климат, почвы, явления фотопериодизма, стадийность и цикличность развития растений.

Приспособиться к новым климатическим и почвенным условиям растениям позволяет их большая пластичность. Если же эти условия значительно отличаются от климата и почв родины интродуцируемого

растения, то лесовод соответствующим уходом за культурами или даже изменением природы растения способствует успеху интродукции его в данном районе. Воздействия на растения должны проводиться с учетом их стадийного развития.

Свет имеет огромное значение в жизни растений, но на каждой стадии их развития и для разных пород потребность в свете и продолжительности освещения бывает различной. Изменения соотношения продолжительности дня и ночи в течение вегетационного периода и влияние этого соотношения на развитие растений носит название явления фотопериодизма.

Изменять природу растений можно и путем воздействия на семена, проростки или сеянцы различными химическими и физическими воздействиями. Предпосевная обработка семян ростовыми веществами способствует не только повышению их всхожести, но и увеличению роста и морозостойкости сеянцев. Обработка семян ультразвуком или звуком в некоторых случаях способствовала повышению морозоустойчивости сеянцев. При закаливании растений к действию пониженных температур у них повышается количество сульфгидрильных групп в белках.

Различают следующие основные виды интродукций древесных растений:

1. Интродукция породы из пределов ареала естественного произрастания непосредственно в культуры. Этот вид интродукции позволяет внедрять новые породы в больших объемах и при минимальных затратах труда и средств. Однако при этом возможны частые неудачи.
2. Интродукция с предварительным изучением поведения пород в посевных грядках, в древесных школах, в дендроучастках. Этот вид интродукции более надежен, но все же, возможны случайные условия в школах, способствующие снижению или повышению приживаемости интродуцируемых растений. Кроме того, при пересадках из питомника или школы возможны повреждения растений и низкая приживаемость. Имеются примеры, когда в посевах инорайонные породы хорошо растут и не

повреждаются морозами, а при пересадке резко замедляют рост и сильно обмерзают.

3. Интродукция ступенчатым продвижением растений за пределы ареала их естественного распространения. Такой метод используют для различных пород. Пользуясь методом постепенного переноса, удалось продвинуть далеко на север и на восток культуры вяза мелколистного, клена ясенелистного, ореха грецкого и других пород. Недостаток этого метода заключен в его большой продолжительности: плодоношения у древесных пород нередко приходится ожидать 20—40 лет и только после этого можно собирать с них семена и высевать их в более северные районы.

4. Интродукция, сопровождаемая однократным селекционным отбором, то есть отбором в одном поколении. У древесных пород отбор в одном поколении может продолжаться иногда в течение десятилетий.

5. Интродукция, сопровождаемая специальным воздействием на интродуцируемые древесные породы в начальных стадиях их развития для придания им желательных свойств засухоустойчивости или морозостойкости. Для этого при подготовке семян к посеву им сначала создают условия, которые требуют их наследственные свойства, затем перед прорастанием привычные условия исключают и семена прорастают при пониженной температуре или при пониженной влажности. Даже в некоторых случаях производят краткосрочное подсушивание семян на открытом воздухе. При этом наследственность растений расшатывается. При последующем развитии они лучше приспособляются к местным условиям.

6. Интродукция, связанная с применением гибридизации. Применяется в тех случаях, когда та или иная древесная или кустарниковая порода не может быть непосредственно введена в культуры в местных условиях. С помощью гибридизации получены новые виды лиственниц, дубов, тополей, ив, орехов и других пород, которые отличаются повышенной морозостойкостью, засухоустойчивостью, быстротой роста или хорошим качеством древесины и плодов.

Интродуцируемые породы, а также новые сорта быстрорастущих и хозяйственно ценных древесных и кустарниковых пород перед распространением и внедрением должны проходить государственное сортоиспытание, чтобы предупредить засорение лесных культур малоценными формами деревьев и кустарников.

3.8. Дистанционные методы

Источниками данных для экологического мониторинга являются материалы дистанционного зондирования (ДЗ).

Они объединяют все типы данных, получаемых с носителей:

- космические (пилотируемые орбитальные станции, корабли многоразового использования, автономные спутниковые съемочные системы и т. п.);
- авиационного базирования (самолеты, вертолеты и микроавиационные радиоуправляемые аппараты) и составляют значительную часть дистанционных данных как антонима контактных (прежде всего наземных) видов съемок, способов получения данных измерительными системами в условиях физического контакта с объектом съемки;
- к неконтактным (дистанционным) методам съемки, помимо аэрокосмических, относятся разнообразные методы морского (наводного) и наземного базирования, включая, например, фототеодолитную съемку, сейсмо, электромагниторазведку и иные методы геофизического зондирования недр, гидроакустические съемки рельефа морского дна с помощью гидролокаторов бокового обзора, иные способы, основанные на регистрации собственного или отраженного сигнала волновой природы.

Аэрокосмические

Аэрокосмические (дистанционные) методы экологического мониторинга включают систему наблюдения при помощи самолетных, аэростатных средств, спутников и спутниковых систем, а также систему обработки данных дистанционного зондирования.

Для космического экологического мониторинга целесообразно ориентироваться прежде всего на полярно-орбитальные метеорологические спутники, как на отечественные аппараты (спутники типа «Метеор», «Океан» и «Ресурс»), так и на американские спутники серий NOAA, Landsat и SPOT. Остановимся на кратких характеристиках указанных спутников.

Американские метеорологические спутники серии NOAA снабжены многозональной оптической и ИК аппаратурой, а именно радиометром высокого разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Космические аппараты NOAA запускаются на полярные орбиты высотой порядка 700 км над поверхностью Земли с наклоном 98,89 градусов. Радиометр высокого разрешения ведет съемки поверхности Земли в пяти спектральных диапазонах. Космические съемки проводятся с пространственным разрешением 1100 м и обеспечивают полосу обзора шириной 2700 км.

Российские спутники серии «Ресурс» принадлежат Федеральной службе России по гидрометеорологии и мониторингу природной среды (Росгидромет). Они обеспечивают получение многозональной космической информации высокого и среднего разрешения с помощью двух сканеров видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Космическая гидрометеорологическая система «Метеор», также принадлежащая Росгидромету, обеспечивает глобальный экологический мониторинг территории России. Параметры орбиты спутника «Метеор»: приполярная круговая орбита высотой около 1200 км. Комплекс научной аппаратуры позволяет оперативно 2 раза в сутки получать изображения облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах, данные о температуре и влажности воздуха, температуре морской поверхности и облаков. Осуществляются также мониторинг озоносферы и геофизический мониторинг. В состав бортового комплекса спутника входят несколько сканирующих ИК-радиометров и сканирующая ТВ-аппаратура с системой запоминания данных на борту для глобального

обзора и передачи данных на АППИ. Российская космическая система «Океан» обеспечивает получение радиолокационных, микроволновых и оптических изображений земной поверхности в интересах морского судоходства, рыболовства и освоения шельфовых зон Мирового океана. Одной из основных задач спутника является освещение ледовой обстановки в Арктике и Антарктике, обеспечение проводки судов в сложных ледовых условиях. Параметры орбиты спутника: приполярная круговая орбита высотой 600—650 км. Поток информации в условиях облачности и в любое время суток обеспечивается радиолокатором РЛС БО и системой сбора информации от автономных морских и ледовых станций «Кондор». В состав комплекса бортовой аппаратуры спутника «Океан-01» входят СВЧ-радиометры Р-600 и Р-255, сканирующий СВЧ-радиометр Дельта-2, трассовый поляризационный спектрометрический «Трассер», а также комплекс оптической сканирующей аппаратуры.

Спутниковые данные дистанционного зондирования позволяют решать следующие задачи контроля состояния окружающей среды:

1. определение метеорологических характеристик: вертикальные профили температуры, интегральные характеристики влажности, характер облачности и т. д.);
2. контроль динамики атмосферных фронтов, ураганов, получение карт крупных стихийных бедствий;
3. определение температуры подстилающей поверхности, оперативный контроль и классификация загрязнений почвы и водной поверхности;
4. обнаружения крупных или постоянных выбросов промышленных предприятий;
5. контроль техногенного влияния на состояние лесопарковых зон;
6. обнаружение крупных пожаров и выделение пожароопасных зон в лесах;
7. выявление тепловых аномалий и тепловых выбросов крупных производств и ТЭЦ в мегаполисах;

8. регистрация дымных шлейфов от труб;
9. мониторинг и прогноз сезонных паводков и разливов рек;
10. обнаружение и оценка масштабов зон крупных наводнений;
11. контроль динамики снежных покровов и загрязнений снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий.

Основной полезный груз спутника — панхроматическая оптико-электронная система, позволяющая получать изображения с пространственным разрешением 1 м. Спутник может производить высокодетальную съемку одного и того же участка местности каждые три дня, получать несколько снимков одного и того же сюжета на одном витке. Приведём ряд распределения спектральных каналов и области применения этих каналов:

1 канал (голубой):

- наиболее чувствителен к атмосферным газам, и, следовательно, изображение может быть малоконтрастным;
- имеет наибольшую водопроницаемость (длинные волны больше поглощаются), то есть оптимален для выявления подводной растительности, факелов выбросов, мутности воды и водных осадков;
- полезен для выявления дымовых факелов (так как короткие волны легче рассеиваются маленькими частицами);
- хорошо отличает облака от снега и горных пород, а также голые почвы от участков с растительностью.

2 канал (зеленый):

- чувствителен к различиям в мутности воды, осадочным шлейфам и факелам выбросов;
- охватывает пик отражательной способности поверхностей листьев, может быть полезен для различения обширных классов растительности;
- также полезен для выявления подводной растительности.

3 канал (красный):

- чувствителен в зоне сильного поглощения хлорофилла, то есть хорошо распознает почвы и растительность;
- чувствителен в зоне высокой отражательной способности для большинства почв;
- полезен для оконтуривания снежного покрова.

4 канал (ближний инфракрасный):

- различает растительное многообразие;
- может быть использован для оконтуривания водных объектов и разделения сухих и влажных почв, так как вода сильно поглощает ближние инфракрасные волны.

5 канал (средний или коротковолновый инфракрасный):

- чувствителен к изменению содержания воды в тканях листьев (набухаемости);
- чувствителен к варьированию влаги в растительности и почвах (отражательная способность уменьшается при возрастании содержания воды);
- полезен для определения энергии растений и отделения суккулентов от древесной растительности;
- особенно чувствителен к наличию/отсутствию трехвалентного железа в горных породах (отражательная способность возрастает при увеличении количества трехвалентного железа);
- отличает лед и снег (светлый тон) от облаков (темный тон).

6 канал (длинноволновый инфракрасный или тепловой):

- датчики предназначены для измерения температуры излучающей поверхности от -100°C до 150°C ;
- подходит для дневного и ночного использования;
- применение тепловой съемки: анализ влажности почв, типов горных пород, выявление теплового загрязнения воды, бытового скопления тепла, источников городского производства тепла, инвентаризация живой природы, выявление геотермальных зон.

7 канал (средний, или коротковолновый инфракрасный):

- совпадает с полосой поглощения излучения гидро минералами (глинистые сланцы, некоторые оксиды и сульфаты), благодаря чему они выглядят темными;
- полезен для литологической съемки;
- как и 5-й канал, чувствителен к варьированию влаги в растительности и почвах.

8 канал (панхроматический — 4,3,2):

- наиболее типичная комбинация каналов, используемая в дистанционном зондировании для анализа растительности, зерновых культур, землепользования и водно-болотных угодий (wetlands).

Компьютерные методы обработки спутниковых данных

Целью обработки данных дистанционного зондирования (ДЗ) является получение снимков или изображений с требуемыми радиометрическими и геометрическими характеристиками. Рассмотрим основные этапы обработки данных. В общем случае обработка данных дистанционного зондирования включает три этапа:

1. предварительная обработка — прием спутниковых данных, запись их на магнитный носитель, декодировка и корректировка, преобразование данных непосредственно в изображение или космический снимок или в форматы, удобные для последующих видов обработки;
2. первичная обработка — исправление искажений, вызванных нестабильностью работы космического аппарата и датчика, а также географическая привязка изображения с наложением на него сетки координат, изменение масштаба изображения и представление изображения в необходимой географической проекции (геокодирование);
3. вторичная (тематическая) обработка — цифровой анализ с применением статистических методов обработки, визуальное дешифрирование и интерпретация в интерактивном или полностью автоматизированном режиме.

Первый и второй этапы обработки в настоящее время могут быть выполнены на борту космического аппарата.

Многозональная съемка ведется многие годы, и исследователи накопили большой объем эмпирических данных. Уже хорошо известно, какие соотношения яркости в различных зонах спектра соответствуют растительности, обнаженной почве, водным поверхностям, урбанизированным территориям и другим распространенным типам ландшафта, существуют библиотеки спектров различных природных образований. Выразив эти соотношения в виде линейных комбинаций различных зон, можно получать так называемые индексы. Так как, многие современные системы дистанционного зондирования Земли осуществляют съемку в видимой красной и ближней инфракрасной частях спектра, то распространенным методом является вычисление нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Нормализованный вегетационный индекс показывает наличие и состояние растительности по соотношению отраженных энергий в 2 спектральных каналах. Вычисляется по следующей формуле: $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$, где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED — отражение в красной области спектра. Эта зависимость основана на различных спектральных свойствах хлорофилла в видимом и ближнем ИК диапазонах. Вегетационные индексы можно рассматривать как промежуточный этап при переходе от эмпирических показателей к реальным физическим свойствам растительного покрова. Часто вычисляют универсальные и территориально-привязанные индексы: LAI — индекс листовой поверхности или FPAR — индекс фотосинтетической активной радиации, поглощаемый растительностью и пр. Индекс LAI можно измерить в натуральных условиях. В настоящее время в Интернет ежемесячно публикуются растровые изображения LAI (пространственное разрешение 250 м) на весь мир. Эти данные в сочетании с методами классификации мультиспектральных изображений

могут значительно повысить достоверность при обработке изображений в экспертных системах, учитывающих множество различной информации.

Как известно, антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к возникновению масштабных трудноразрешимых противоречий между интересами развития производства и сохранением природы, поскольку в результате интенсивного использования природных ресурсов происходит разрушение природных систем и интенсивное загрязнение среды. Ещё в Стокгольме на Первой Международной конференции ООН по оценке состояния природной среды в 1972 г. было признано, что экологическое состояние природной среды в промышленных странах стало угрожать не только здоровью населения, но и самому существованию человечества. Решение этих проблем, возникающих в связи с катастрофическим ухудшением окружающей природной среды, занимает сейчас центральное место при выработке стратегии экологически устойчивого социально-экономического развития промышленно развитых стран, в том числе и России. В последние годы в круг фундаментальных исследований проблем экологии территории России широко вовлечены космические методы контроля состояния экосистем.

Появление глобальной компьютерной сети Интернет и разработка передовых информационных технологий открыли новый этап развития космического экологического мониторинга. Особенностью нового этапа является широкое использование телекоммуникационной инфраструктуры, а также гипертекстовых и интерактивных информационных технологий, которые чрезвычайно перспективны в дистанционном мониторинге состояния окружающей среды. Актуальной является также проблема интегрирования национальных информационных ресурсов по окружающей среде, создание региональных баз данных и расширение электронных коллекций по результатам космического экологического мониторинга. Развитие технологий наблюдения из космоса, создание инфраструктур спутникового экологического мониторинга регионов России наряду с

разработкой экологической системы контроля в реальном масштабе времени призваны сыграть ключевую роль в обеспечении безопасности окружающей среды и устойчивого развития экономики России.

В связи с этим создаются Центры космического мониторинга (ЦКМ), которые осуществляют оперативный контроль состояния окружающей среды и природных ресурсов (например, Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск), создают многоуровневые информационные системы пространственно-временного мониторинга состояния окружающей среды, включающие технические и программные средства сбора, обработки, анализа и хранения спутниковой информации.

Во всем мире исследования Земли из космоса приобретают всеобъемлющий характер. Наиболее информативным методом для решения задач дистанционного исследования поверхности Земли из космоса является использование и тематический анализ изображений, полученных приборными комплексами различных частотных диапазонов, установленных на космических аппаратах. Целый ряд спутников, оснащенных приборами дистанционного зондирования (радиолокаторами, скаттерометрами, радиометрами и оптической техникой), выведены на орбиту специально для получения разносторонней геофизической информации, необходимой для оценки состояния окружающей среды и для природо-ресурсных исследований.

3.9. Атомно-абсорбционная спектроскопия в экологическом мониторинге

Атомно-абсорбционная спектрометрия – это аналитический метод определения элементов, основанный на поглощении излучения свободными (невозбужденными) атомами. В атомно-абсорбционном анализе имеют дело в основном с абсорбцией резонансного излучения, представляющего собой характеристичное излучение, соответствующее переходу электрона из основного состояния на ближайший более высокий энергетический уровень.

В ходе определения часть анализируемого образца переводят в атомный пар (аэрозоль) и измеряют поглощение этим паром излучения характеристичного для определяемого элемента. Атомный пар получают распылением раствора анализируемого вещества в пламени. При этом небольшая часть атомов возбуждается пламенем, большая часть их остаётся в основном (невозбуждённом) состоянии. Возбуждённые атомы элемента, находящиеся в плазме в свободном состоянии, поглощают характеристичное резонансное излучение определённой для каждого элемента длины волны. Вследствие этого оптический электрон атома переходит на более высокий энергетический уровень и одновременно пропускаемое через плазму излучение ослабляется.

Использование резонансного излучения делает этот процесс высокоселективным. Метод обладает достаточной чувствительностью (предел обнаружения достигает $10\text{--}3$ мкг/см³). Ошибка этого метода не превышает 1...4 %.

Зависимость степени поглощения излучения от концентрации атомов описывается законом Бугера– Ламберта–Бера.

В целом атомно-абсорбционный анализ регистрирует поглощение узкой линии излучения атомами, находящимися в невозбужденном состоянии и обладающими узким пиком поглощения. Поэтому наряду с высокой селективностью этот метод практически свободен от эффектов спектрального наложения, столь характерных для эмиссионной спектроскопии. Мало чувствителен метод и к изменениям температуры пламени. Благодаря высокой чувствительности и селективности, метод позволяет работать с малыми количествами веществ. Предварительная обработка анализируемых образцов сводится к минимуму, а измерительные операции достаточно просты и не требуют много времени.

Устройство атомно-абсорбционного анализа. Установки для атомно-абсорбционной спектроскопии всегда содержат разрядную трубку (т.е. лампу с полым катодом, изготовленным из определяемого элемента), горелку-

атомизатор, монохроматор, фотоумножитель, усилитель переменного тока и выходной измерительный прибор.

Интенсивность резонансного излучения измеряют дважды: до распыления анализируемого образца в пламени и в момент его распыления. Разность между этими отсчётами и служит мерой абсорбции, а значит, и мерой концентрации определяемого элемента.

К ограничениям этого метода следует отнести: необходимость растворения пробы и непригодность для прямого анализа твердых проб; необходимость источника излучения для каждого определяемого элемента; непригодность метода для одновременных многоэлементных определений.

Атомно-абсорбционный анализ – это универсальный метод определения следов большинства металлов (и некоторых неметаллов); применяется он и для определения высоких содержаний элементов. К настоящему времени описаны методы атомно-абсорбционного определения 76 элементов в образцах материалов различного происхождения. Возможность использования атомно-абсорбционной спектроскопии для определения большинства элементов периодической системы, высокая селективность и чувствительность, точность и быстрота измерений, а также доступность автоматизации определений способствовали широкому применению этого метода не только в металлургической, горной и химической промышленности (где традиционно применяется инструментальный анализ), но и в мало освоенных аналитиками областях, в сельском хозяйстве, экологических исследованиях, пищевой промышленности, биохимии и медицине. В пищевых (и кормовых) продуктах металлы могут присутствовать как в виде полезных минеральных веществ, так и в виде нежелательных токсичных элементов.

Атомно-абсорбционный анализ используется для определения содержания свинца и меди в мясе и мясных продуктах, цинка, ртути и мышьяка в пищевых и кормовых продуктах растительного происхождения. Следы металлов определяют во фруктовых соках и напитках. Атомно-

абсорбционная спектроскопия находит применение в анализе природных вод (речной и морской воды), а также промышленных сточных вод на содержание следов металлов.

3.10. Биоморфологический анализ

В настоящее время предпочтение в систематике отдается признакам генеративных органов как якобы более устойчивым. Действительно, внутривидовая экологическая изменчивость вегетативных органов обычно превышает изменчивость генеративных. Но отбору подвергаются и закрепляются в потомстве лишь наследственные изменения. Поэтому, как показано в предыдущей главе, величина межвидовых и более высокого ранга различий по признакам генеративных и вегетативных органов в среднем одинакова.

Строение цветков, плодов, стробилов, спорангиев и других органов размножения в сильной степени зависит от их количества, приходящегося на единицу длины побега или площади листа. Чем оно больше, тем эти органы мельче и проще устроены. Например, цветки в густых соцветиях мелкие, олигомерные, часто голые и однополые, плоды мелкие, односемянные. Наоборот, одиночные цветки и плоды — сравнительно крупные, плейомерные. Сгущение соцветий, собраний стробилов и других органов ведет к измельчанию и упрощению элементов, из которых они состоят (цветков, плодов, стробилов), к изменению их биологии, способствуя, например, у цветковых, переходу от энтомофилии и зоохорий к анемофилии и анемохории.

Увеличение числа и размера метамеров как вегетативных, так и генеративных органов (например, плодолистиков) происходит при улучшении условий существования, уменьшение — при ухудшении. Для генеративных органов «лучше» и «хуже» определяется также положением их в соцветии или соплодии и положением последних на теле растения.

Поэтому перестройки в строении тела и соцветий (их сгущение или разрежение) оказывают существенное влияние на строение и биологию органов размножения, не отличающихся особой консервативностью.

Редукция биоморф ведет и к редукциям в строении генеративных органов, их размера и (или) числа. Большую роль при этом играют компенсаторные механизмы: уменьшение размеров идет одновременно с упрощением и увеличением числа метатериев, уменьшение числа — с относительным увеличением размеров и возрастанием плейомерности. Амплитуда внутривидовой изменчивости строения жизненных форм может быть больше, чем амплитуда генеративных. Однако в эволюционном плане изменения генеративных органов могут быть весьма значительными. Таким образом, имеет место следующая цепь зависимостей: изменение условий существования — изменение тела (биоморфы) — изменение строения генеративных органов — изменение их биологии.

Количество и размер метамеров, в том числе и органов размножения, может меняться в противоположных направлениях, уменьшаясь или увеличиваясь. С изменением числа метамеров связаны и другие особенности. Например, возрастание количества семян ведет к причудливым формам разрастания плаценты, лепестков — к появлению стаминодиев и других переходных образований, плодолистиков — к их расщеплению и переходу с циклического расположения на - спиральное. Устойчивость числа метамеров связана с их олигомерностью и легко может быть нарушена при улучшении условий существования, вызывающих увеличение числа различных органов.

Эволюция биоморф имеет одно направление — в сторону интенсификации смен метамеров тела (листьев, годичных приростов, систем побегов). Интенсификация смен частей тела является одной из форм интенсификации всего биологического круговорота на Земле, причина чего лежит в постоянном притоке и накоплении энергии, поступающей как от Солнца, так и из глубин планеты. Таким образом, эволюция биоморф отражает ароморфные преобразования, а органов размножения —

идиоадаптивные. Отсюда следует вывод, что изменение биоморф в сторону интенсификации смен частей тела, выражает собой повышение эволюционной продвинутости, а соотношение биоморф указывает на уровень эволюционного развития таксона. Чем больше в нем форм с более отчетливо сменяющимися системами осей, тем он моложе. Родство же таксонов должно определяться по совокупности признаков, причем признаки строения тела не должны играть подчиненную роль по отношению к признакам генеративных органов.

Такой биоморфологический подход к проблемам эволюции и систематики растений не противоречит другим методам филогенетического и систематического анализа. Напротив, он служит дальнейшим развитием морфолого-географического метода, если под морфологией понимать всю совокупность признаков, строения растений, а в географическую характеристику включать также экологические данные того или иного таксона и составляющих его подразделений. При биоморфологическом анализе выделяется главная, основная, ведущая в филогенетическом развитии группа признаков — признаки конструкции тела — и учитываются ее изменения, которые ставятся в связь с изменением условий внешней среды. В этом случае все эволюционные преобразования изучаемого таксона получают широкую возможность причинного истолкования на основе учения об изменении адаптивной нормы реакции организма. Покажем это на примерах, анализируя эволюцию нескольких семейств.

Salicaceae. Семейство обладает генеративными органами, цветками, в такой степени редуцированными, что положение его в системе до недавнего времени было не совсем ясно. Ныне оно сближается с порядком *Vliolales* и особенно семейством *Flacourtiaceae*, которое представлено древесными, в основном вечнозелеными, растениями субтропических и тропических лесов. Характерная черта большинства древесных ивовых (как тополей, так и ив) — обитание на аллювиальном субстрате, т. е. в долинах рек на молодых речных наносах. Обитание на таком субстрате требовало от проростков особенно

быстрого развития, так как им, несмотря на наличие свободного пространства, грозило смывание, если они не успевали укорениться. Необходимость быстрого развития и повлекла за собой цепь редукции. Прежде всего, в зрелых семенах исчез эндосперм, семена измельчали, а это вызвало развитие летательного аппарата и увеличение их количества за счет увеличения цветков в соцветии. А уплотнение соцветий, по закону компенсации, привело к редукции размеров и количества частей цветка. Однополые цветки есть уже у растений семейства *Flacourtiaceae*. Первичным способом опыления при этом надо признать энтомофилию. В связи с этим возникает вопрос о вторичности тополей, как анамофильных растений. Данный взгляд подтверждается тем фактом, что тополя, имея способность образовывать корневые отпрыски, вегетативно более активны и, следовательно, прогрессивнее, чем ивы. Прогрессивными признаками тополей надо считать также обладание большим разнообразием в строении побегов и лишь специализированными, лишенными ассимилирующих листьев генеративными побегами. Примитивными признаками тополей считаются многотычинковость и моноподиальный рост побегов. Однако у более примитивных тополей — туранг — нарастание симподиальное, а много тычинок имеется и в цветках многих древесных ив.

Aizoaceae. По последним данным - это ксерофилизованное производное семейства *Phytolaccaceae*. Приспособилось к жизни в ксерофитных условиях путем листовой суккулентности. Однако имеет явные следы редукции тела, что выражается в более мелких размерах, по сравнению с большинством растений семейства *Phytolaccaceae*.

Редукция коснулась и соцветия. Цветки большей частью одиночные. Они относительно крупные (проявление закона компенсации), с большим количеством частей — лепестков (которые зато весьма узки), тычинок, гнезд завязи и семян. Чем больше гнезд, тем меньше в каждом из них семян. Срастание долей чашечки и образование нижней завязи можно трактовать как ее защиту от высыхания или приспособление к эндозоохории.

У более ярко выраженных не листовых, а стеблевых суккулентов, у кактусов, не имеющих прямого родства с *Aizoaceae*, вышеописанные признаки развиты в еще большей степени. Характерно, что у растений семейства *Cactaceae* с листьями развитыми нормально, цветки малочисленны и собраны в соцветия. У других кактусов цветки многочисленны, причем доли околоцветника численно увеличиваются в такой степени, что грань между чашечкой и венчиком стирается, а сами они располагаются, как и многочисленные тычинки, спирально. Плоды крупные, ягодообразные, с многочисленными, но мелкими семенами, с небольшим количеством перисперма.

Dipsacaceae. Ксерофилизованное производное, но из другого порядка (*Dipsacales*). Ближайшим предком является семейство *Caprioliaceae*, внутри которого наиболее близки ворсянковым калины и бузины. Ксероморфогенез предков ворсянковых вызвал их соматическую редукцию и убыстрение смен осей, а также, вероятно, образование обертки из двух прицветничков в качестве лишней защиты от высыхания. В условиях отсутствия леса обертка явилась материалом для формирования летательного аппарата плода (в лесных же условиях, где обитает большинство жимолостных, распространение плодов ветром, как известно, экологически неоправданно). Приспособлением к сухости можно объяснить также изменение сочного костянквидного плода в сухой орешек и собирание цветков в тесные головчатые соцветия, где завязи, тесно примыкая друг к другу или закрываясь прицветниками, защищаются от высыхания. Другие признаки ворсянковых (уменьшенное количество частей и размеров цветка, зигоморфия краевых цветков в корзинке) в той или иной степени проявляются уже у предковых типов (калины и бузины) как следствие собирания цветков в скученные соцветия.

Pyrolaceae. Грушанковые, несомненно, производные редуцированных вересковых, ушедшие дальше их по пути убыстрения смен осей и парциальных кустов под действием синморфогенеза, приспособления к

жизни в условиях наземного покрова в насыщенных лесных ценозах со слабым освещением. Цикл развития скелетной оси парциального куста у наиболее многолетних из них (*Chimaphila*) проходит всего за 10—12 лет, и у всех хорошо выражена способность к вегетативному размножению с помощью длинных многочисленных столонов. В строении генеративных органов нет признаков, которые отличали бы все грушанковые от всех вересковых, за исключением семян с очень маленьким недоразвитым зародышем. Это, как и отсутствие диска у большинства родов, следствие редукции.

Monotropaceae. Явные производные предыдущего семейства, еще дальше ушедшие по пути убыстрения смен осей под действием умброморфогенеза. Надземные цветоносные побеги живут у них всего один год. Однако главная особенность семейства — сапрофитный образ жизни, на который вступили еще грушанковые.

Empetraceae и *Diapensiaceae*. Это также производные вересковых, но пошедшие по пути криофильной эволюции. По строению вегетативных органов в принципе не отличаются от криофильных вересковых, имеют приземистый стланиковый габитус и мелкие, но многочисленные листья. Как и у криофильных вересковых, цветки в редких соцветиях или одиночные. У *Diapensiaceae* одиночность цветков привела к увеличению их размера, однако без увеличения количества частей. Напротив, они характеризуются наличием лишь одного круга тычинок, отсутствием диска и трехгнездной завязью.

Empetraceae на пути редукции опередили *Diapensiaceae*. В криофитных условиях у них редуцировались и соцветия, и величина частей в цветке.

Не приходится также доказывать взаимозависимость признаков как вегетативных, так и генеративных органов, выражающуюся прежде всего в их редукции для таких специализированных гидрофильных семейств, как *Podostomonaceae*, *Ceratophyllaceae*, *Najadaceae*, или редукцию цветка,

связанную с приспособлением к ветроопылению и собиранию в тесные соцветия для сережкоцветных, злаков, осок.

Возможно, что во многих случаях эволюционные изменения в строении генеративных органов и не были связаны с экологической обстановкой, а явились результатом изменчивости и отбора в малых популяциях. Как известно, в таких условиях отбору могут подвергаться и бесполезные для популяции признаки. Так, если, мелкость и малочисленность цветков многих *Celastrales* и *Rhamnales* связаны с плотностью их соцветий, то наличие у *Celastrales* наружного круга тычинок, а у *Rhamnales* — внутреннего, противостоящего лепесткам, пока необъяснимо ни с точки зрения внутренних корреляций, ни с точки зрения влияния экологии.

Compositae. По аналогии с ворсянковыми, предковую группу для сложноцветковых надо искать среди семейств с нижней завязью и щитковидным соцветием. Такие признаки имеются у *Goodeniaceae*, *Brunoniaceae*, *Calyceraceae*, обычно сближаемыми со сложноцветными. Однако среди них нет древесных форм и, напротив, очень много однолетников. Процесс образования головчатого соцветия происходил и у колокольчиковых (в связи с ксерофитизацией), однако и у них древесные формы имеют крупное, но метельчатое соцветие из крупных цветков. Особенно обращает на себя внимание в качестве возможного предка сложноцветных семейство аралиевых, как весьма обширное, широко распространенное в тропиках и довольно примитивное по формам роста, содержащее много олигобластических, слабоветвистых и даже колонновидных деревьев и деревец. Таким образом, по формам роста намечается плавный переход между ним и сложноцветными, которые также содержат много колонновидных деревьев и деревец.

Происхождение сложноцветных можно трактовать как процесс приспособления влаголюбивых предков аралиевого типа к жизни в более ксеро- и криофитных условиях, например, тропических высокогорий. Это и повлекло за собой сгущение соцветий (средство сохранения в них тепла) со

всеми следствиями редуционного порядка: уменьшением числа гнезд в завязи, уменьшением числа семян, исчезновением в семенах эндосперма, превращением чашечки в пучок волосков, исчезновением сочного околоплодника. В результате и плоды из ягод и костянок превратились в семянки, которые в процессе дальнейшей редукации (уменьшение размера) образовали летательный аппарат и стали распространяться ветром.

Valerianaceae. Обычно сближается с жимолостными. Но то, что наибольшее сходство валериановых обнаруживается не с исходными, а с явно вторичными типами жимолостных (бузиной, абелиями и особенно линнеей), и притом только в области цветка, свидетельствует в пользу происхождения их не от жимолостных, а скорее от каких-то общих предков. Да и форма соцветий у большинства валериановых далека от щитковидной и скорее приближается к густометельчатой. Концентрация большинства валериановых обнаруживается в андийских высокогорьях, следовательно, в альпийском поясе, и логично поэтому, как и в случае со сложноцветными, искать их предков среди тропических семейств.

Скорее всего их предками могут быть растения семейства *Rubiaceae*, которые всегда сближались не только с валериановыми, но и со всем порядком *Dipsacales*.

Mimosaceae. Его представители обитают преимущественно в засушливых областях тропиков. Сгущение их соцветий и редукация в связи с этим строения цветков вызваны, несомненно, действием засушливых условий. Предковая группа обитала, очевидно, в более влажных областях тропиков. Скорее всего это были древесные раналии с мелковетвистыми, собранными в большие соцветия цветками. Но от кого в наследство мимозовые получили свои чрезвычайно сложные листья — неизвестно.

3.11. Индикация загрязнения окружающей среды

Общие принципы использования биоиндикаторов

Состояние биологической системы (организм, популяция, биоценоз) в той или иной степени характеризует воздействие на нее природных или антропогенных факторов и условий среды и может применяться для их оценки. Биоиндикаторы — организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. Их индикаторная значимость определяется экологической толерантностью биологической системы. В пределах зоны толерантности организм способен поддерживать свой гомеостаз. Любой фактор, если он выходит за пределы «зоны комфорта» для данного организма, является стрессовым. В этом случае организм реагирует ответной реакцией различной интенсивности и длительности, проявление которой зависит от вида и является показателем его индикаторной ценности. Именно ответную реакцию определяют методы биоиндикации. Биологическая система реагирует на воздействие среды в целом, а не только на отдельные факторы, причем амплитуда колебаний физиологической толерантности модифицируется внутренним состоянием системы — условиями питания, возрастом, генетически контролируемой устойчивостью.

Многолетний опыт ученых разных стран по контролю состояния окружающей среды показал преимущества, которыми обладают живые индикаторы:

- в условиях хронических антропогенных нагрузок могут реагировать даже на относительно слабые воздействия вследствие кумулятивного эффекта; реакции проявляются при накоплении некоторых критических значений суммарных дозовых нагрузок;
- суммируют влияние всех без исключения биологически важных воздействий и отражают состояние окружающей среды в целом, включая ее загрязнение и другие антропогенные изменения;
- исключают необходимость регистрации химических и физических параметров, характеризующих состояние окружающей среды.

- фиксируют скорость происходящих изменений;
- вскрывают тенденции развития природной среды;
- указывают пути и места скоплений в экологических системах различного рода загрязнений и ядов, возможные пути их попадания в пищу человека;
- позволяют судить о степени вредности любых синтезируемых человеком веществ для живой природы и для него самого, при чем дают возможность контролировать их действие.

Выделяют две формы отклика живых организмов, используемых в целях биоиндикации, — *специфическую* и *неспецифическую*. В первом случае происходящие изменения связаны с действием одного какого-либо фактора. При неспецифической биоиндикации различные антропогенные факторы вызывают одинаковые реакции. В зависимости от типа ответной реакции биоиндикаторы подразделяют на чувствительные и кумулятивные. Чувствительные биоиндикаторы реагируют на стресс значительным отклонением от жизненных норм, а кумулятивные накапливают антропогенное воздействие, значительно превышающее нормальный уровень в природе, без видимых изменений. В качестве биоиндикаторов могут быть использованы представители всех «царств» живой природы. Для биоиндикации не пригодны организмы, поврежденные болезнями, вредителями и паразитами.

Идеальный биологический индикатор должен удовлетворять ряду требований:

- быть типичным для данных условий;
- иметь высокую численность в исследуемом экотопе;
- обитать в данном месте в течение ряда лет, что дает возможность проследить динамику загрязнения;
- находиться в условиях, удобных для отбора проб;
- давать возможность проводить прямые анализы без предварительного концентрирования проб;

- характеризоваться положительной корреляцией между концентрацией загрязняющих веществ в организме-индикаторе и объекте исследования;
- использоваться в естественных условиях его существования;
- иметь короткий период онтогенеза, чтобы была возможность отслеживания влияния фактора на последующие поколения.

Ответная реакция биоиндикатора на определенное физическое или химическое воздействие должна быть четко выражена, т.е. специфична, легко регистрироваться визуально или с помощью приборов. При выборе индикатора необходимо принимать во внимание соображения экономии и учитывать характер использования тех или иных организмов. Например, широко распространенные на исследуемой территории и не занесенные в «Красную книгу».

На уровне популяции биоиндикация проводится в том случае, если процесс распространения негативных изменений охватывает такое количество особей, при котором заметно сокращается численность популяции, изменяется ее половозрастная структура, сокращается продолжительность жизни, происходит сдвиг фенологических фаз и др. Экосистемный подход к оценке среды дает возможность ранней диагностики ее изменений. Сигналом тревоги служит разбалансировка продукционно-деструкционных процессов. Диагностическими признаками таких сдвигов являются, например, накопление органического вещества, заиление, зарастание водоемов, усиленное развитие микроорганизмов. В качестве объектов для биоиндикации применяются разнообразные организмы — бактерии, водоросли, высшие растения, беспозвоночные животные, млекопитающие. Для гарантированного выявления присутствия в природных средах токсического агента неизвестного химического состава, как правило, используется набор объектов, представляющих различные группы сообщества. С введением каждого дополнительного объекта эффективность схемы испытаний повышается, однако нет смысла бесконечно расширять

ассортимент обязательных объектов для использования в такой оценке. Для биоиндикации необходимо выбирать наиболее чувствительные сообщества, характеризующиеся максимальными скоростью отклика и выраженностью параметров. Например, в водных экосистемах наиболее чувствительными являются планктонные сообщества, которые быстро реагируют на изменение среды благодаря короткому жизненному циклу и высокой скорости воспроизводства. Бентосные сообщества, где организмы имеют достаточно длинный жизненный цикл, более консервативны: перестройки происходят в них при длительном хроническом загрязнении, приводящем к необратимости процессов. К методам биоиндикации, которые можно применять при исследовании экосистемы, относится выявление в изучаемой зоне редких и исчезающих видов. Список таких организмов, по сути, является набором индикаторных видов, наиболее чувствительных к антропогенному воздействию.

Особенности использования растений в качестве биоиндикаторов

С помощью растений можно проводить биоиндикацию всех природных сред. Индикаторные растения используются при оценке механического и кислотного состава почв, их плодородия, увлажнения и засоления, степени минерализации грунтовых вод и степени загрязнения атмосферного воздуха газообразными соединениями, а также при выявлении трофических свойств водоемов и степени их загрязнения поллютантами. Чувствительные фитоиндикаторы указывают на присутствие загрязняющего вещества в воздухе или почве ранними морфологическими реакциями — изменением окраски листьев (появление хлорозов; желтая, бурая или бронзовая окраска), различной формы некрозами, преждевременным увяданием и опаданием листы. У многолетних растений загрязняющие вещества вызывают изменение размеров, формы, количества органов, направления роста побегов или изменение плодовитости. Подобные реакции обычно неспецифичны. Некоторые естественные факторы могут вызывать симптомы, сходные с антропогенными нарушениями. Так, например, хлороз листьев может быть

вызван недостатком железа в почве или ран ним заморозком. Поэтому при определении морфологических изменений у растений необходимо учитывать возможность действия других повреждающих факторов. Индикаторы другого типа представляют собой растения-аккумуляторы. Они накапливают в своих тканях загрязняющее вещество или вредные продукты метаболизма, образуемые под действием загрязняющих веществ, без видимых изменений. При превышении порога токсичности ядовитого вещества для данного вида проявляются различные ответные реакции, выражающиеся в изменении скорости роста и длительности фенологических фаз, биометрических показателей и, в конечном счете, снижении продуктивности. Получить точные количественные данные о динамике и величине стрессовых воздействий на основе морфологических изменений невозможно, но можно довольно точно определить величину потерь продукции и, имея график зависимости «доза — эффект», рассчитать величину стрессового воздействия. Б. В. Виноградов классифицировал индикаторные признаки растений как флористические, физиологические, морфологические и фитоценотические. Флористическими признаками являются различия состава растительности изучаемых участков, сформировавшиеся вследствие определенных экологических условий. Индикаторное значение имеет как присутствие, так и отсутствие вида. К физиологическим признакам относятся особенности обмена веществ растений, к анатомо-морфологическим признакам — особенности внутреннего и внешнего строения, различного рода аномалии развития и новообразования, к фитоценотическим признакам — особенности структуры растительного покрова: обилие и рассеянность видов растений, ярусность, мозаичность, степень сомкнутости. Очень часто в целях биоиндикации используются различные аномалии роста и развития растения — отклонения от общих закономерностей. Ученые систематизировали их в три основные группы, связанные: (1) с торможением или стимулированием нормального роста (карликовость и гигантизм); (2) с деформациями стеблей, листьев, корней, плодов, цветков и соцветий; (3) с

возникновением новообразований (к этой группе аномалий роста относятся также опухоли). Гигантизм и карликовость многие исследователи считают уродствами. Например, избыток в почве меди вдвое уменьшает размеры калифорнийского мака, а избыток свинца приводит к карликовости смолевки.

В целях биоиндикации представляют интерес следующие деформации "растений:

- фасциация — лентовидное уплощение и сращение стеблей, корней и цветоносов;
- махровость цветков, в которых тычинки превращаются в лепестки;
- пролификация — прорастание цветков и соцветий;
- асцидия — воронковидные, чашевидные и трубчатые листья у растений с пластинчатыми листьями;
- редукция — обратное развитие органов растений, вырождение;
- нитевидность — нитчатая форма листовой пластинки;
- филлодий тычинок — превращение их в плоское листовидное образование.

Биомониторинг может осуществляться путем наблюдений за отдельными растениями-индикаторами, популяцией определенного вида и состоянием фитоценоза в целом. На уровне вида обычно производят специфическую индикацию какого-то одного загрязнителя, а на уровне популяции или фитоценоза — общего состояния природной среды.

Особенности использования животных в качестве биоиндикаторов

Позвоночные животные также служат хорошими индикаторами состояния среды благодаря следующим особенностям:

- являясь консументами, они находятся на разных трофических уровнях экосистем и аккумулируют через пищевые цепи загрязняющие вещества;
- обладают активным обменом веществ, что способствует быстрому проявлению воздействия негативных факторов среды на организм;

- имеют хорошо дифференцированные ткани и органы, которые обладают разной способностью к накоплению токсических веществ и неоднозначностью физиологического отклика, что позволяет исследователю иметь широкий набор тестов на уровне тканей, органов и функций;
- сложные приспособления животных к условиям среды и четкие поведенческие реакции наиболее чувствительны к антропогенным изменениям, что дает возможность непосредственно наблюдать и анализировать быстрые отклики на оказываемое воз действие;
- животных с коротким циклом развития и многочисленным потомством можно использовать для проведения ряда длительных наблюдений и проследить воздействие фактора на последующие поколения; для долгоживущих животных можно выбрать особо чувствительные тесты в соответствии с особо уязвимыми этапами онтогенеза.

Основное преимущество использования позвоночных животных в качестве биоиндикаторов заключается в их физиологической близости к человеку. Основные недостатки связаны со сложностью их обнаружения в природе, поимки, определения вида, а также с длительностью морфо-анатомических наблюдений. Кроме того, эксперименты с животными зачастую дороги, требуют многократной повторяемости для получения статистически достоверных выводов. Оценка и прогнозирование состояния природной среды с привлечением позвоночных животных проводятся на всех уровнях их организации. На организменном уровне с помощью сравнительного анализа оцениваются морфо-анатомические, поведенческие и физиолого-биохимические показатели. Морфо-анатомические показатели описывают особенности внешнего и внутреннего строения животных и их изменение под воздействием определенных факторов (депигментация, изменение покровов, структуры тканей и расположения органов, возникновение уродств, опухолей и других патологических проявлений).

Поведенческие и физиолого-биохимические параметры особенно чувствительны к изменению внешней среды. Токсиканты, проникая в кости или кровь позвоночных животных, сразу же воздействуют на функции, обеспечивающие жизнедеятельность. Даже при узкоспецифичном влиянии токсиканта на определенную функцию ее сдвиги отражаются на состоянии всего организма вследствие взаимосвязанности процессов жизнедеятельности. Достаточно отчетливо присутствие токсикантов проявляется в нарушении ритма дыхания, сердечных сокращений, скорости пищеварения, ритмике выделений, продолжительности циклов размножения.

Для того чтобы иметь возможность сравнивать материал, собранный разными исследователями в различных районах, набор видов-индикаторов должен быть един и невелик. Вот некоторые критерии пригодности различных видов млекопитающих для био- индикационных исследований:

- принадлежность к разным звеньям трофической цепи — растительноядным, насекомоядным, хищным млекопитающим;
- оседлость или отсутствие больших миграций;
- широкий ареал распространения (сравнительно высокая эвритопность), т.е. этот критерий исключает использование в качестве тест-индикаторов эндемиков;
- принадлежность к естественным сообществам: критерий исключает синантропные виды, питающиеся вблизи жилища человека и неадекватно характеризующие микроэлементный состав загрязнения данного региона;
- численность вида должна обеспечивать достаточный материал для анализа;
- простота и доступность методов добывания видов.

Особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов

Микроорганизмы — наиболее быстро реагирующие на изменение окружающей среды биоиндикаторы. Их развитие и активность находятся в

прямой связи с составом органических и неорганических веществ в среде, так как микроорганизмы способны разрушать соединения естественного и антропогенного происхождений. На этом основаны принципы биоиндикации с использованием микроорганизмов. Необходимо иметь сведения о составе, количестве и функциональной активности последних. При прямом микроскопировании, например воды, количество обнаруживаемых микроорганизмов оказывается небольшим, по этому для изучения морфологического разнообразия и оценок их общего числа в единице объема проводят концентрирование пробы. Для фильтрации воды используют фильтры Зейтца или иной конструкции с размером пор 0,35; 0,5; 0,23; 0,3; 0,4 мкм. Объем фильтруемой воды может быть от 10 до 20 мл в зависимости от типа водоема. Для подсчета численности микроорганизмов фильтр прокрашивают, переносят на предметное стекло в каплю иммерсионного масла и микроскопируют с перемещением сетчатого микрометра. Просчитывается 20 полей зрения; в каждом поле зрения должно быть не менее 50 микробов. Число колониеобразующих клеток бактерий в 1 мл воды рассчитывают по формуле где $K = 8/51$ (5 — площадь фильтра, мкм²; 5, — площадь, на которой просчитываются клетки, мкм²); n — среднее число бактерий в одном поле зрения; V — объем профильтрованной воды, мл. Для определения биомассы бактерий необходимо определить размер клеток с помощью микрометра. Выявление микроорганизмов и их учет можно произвести путем посева проб в жидкие и агаризованные питательные среды. Для учета сапрофитов используют мясопептонный агар, олиго- трофных бактерий выращивают на агаризованной воде из исследуемого водоема. Чаще всего для оценки качества вод используют показатель микробного числа — это число клеток аэробных сапрофитных организмов в 1 мл воды. В водопроводной воде согласно ГОСТ микробное число не должно превышать 100. В чистых водоемах число сапрофитов может исчисляться десятками и сотнями, а в загрязненных и грязных водоемах этот показатель достигает сотен тысяч и миллионов. Помимо микробного числа используются данные

по видовому составу микроорганизмов. В полисапробной зоне наблюдается массовое развитие нитчатых бактерий. В загрязненной фекалиями воде высок коли-индекс, характеризующий наличие в среде энтеробактерий *Escherichia coli* — условных патогенов и постоянных обитателей кишечника человека и животного. Определение коли-индекса ведется в среде Эндо (фуксин-сульфатный агар) подсчетом колоний *E. Coli*. Иногда делают пересчет, определяя коли-титр — наименьший объем воды (в мл), содержащий одну кишечную палочку. Коли-титр = 1000/коли- индекс.

Симбиологические методы в биоиндикации

Симбиоз широко распространен в природе, а симбиотические ассоциации часто играют ключевую роль в поддержании нормального функционирования наземных, пресноводных и морских эко систем. Симбиоз грибов и азотфиксирующих бактерий с высшими растениями и водорослей с грибами обеспечил процветание этих ассоциаций в наземной среде. Лишайники, симбиотическая ассоциация водорослей и грибов, очень чувствительны к качеству среды и уже давно используются как традиционные биомаркеры состояния атмосферного воздуха. Мадрепоровые кораллы (склерактинии) — симбиоз одноклеточных водорослей зооксантелл с кишечнорастворимыми животными, определяющий важную ландшафтообразующую роль этой ассоциации в тропических морях. Все более значительной признается роль симбиотических микроорганизмов в трофике практически всех видов организмов. Прямо или косвенно регулируя численность своих хозяев, симбионты оказывают существенное влияние на их динамику численности и структуру популяции. Биоразнообразие симбионтов (паразитов, комменсалов, мутуалистов), как правило, значительно превышает разнообразие их хозяев. Так, на Большом Барьерном рифе (коралловая постройка) водится около 2 000 видов рыб, а их паразитофауна представлена более чем 20000 видов; три вида австралийских промысловых креветок в качестве симбионтов имеют 38 видов организмов из

разных систематических групп. Помимо уточнения оценки биоразнообразия по числу видов учет симбионтов позволяет получать достоверную информацию о качестве среды, так как степень интенсивности инвазии (относительное количество хозяев, имеющих симбионтов) и экстенсивность инвазии (среднее количество симбионтов на хозяине) напрямую зависят от условий, в которых находится популяция хозяев. Многие симбионты чувствительны к изменениям внешней среды, в частности симбионты водных организмов — к загрязнению и опреснению, а симбионты наземных организмов — к радионуклидам. При оценке разнообразия фауны симбионтов широко используют статистические методы. Учет симбиотических, в том числе и паразитических, организмов, а также исследование состояния симбиотических ассоциаций позволяют более точно оценить биоразнообразие и характер динамических процессов в экосистемах и могут быть рекомендованы в качестве важных элементов экодиагностических исследований.

3.12. Метод морфофизиологических индикаторов

Живые организмы в течение всей жизни находятся в постоянном взаимодействии с окружающими их условиями среды обитания. Это взаимодействие проявляется в различных формах в зависимости от видовых особенностей, периода развития организма и его пола. Богатство связей организма со средой обитания определяет разнообразие и интенсивность физиологических процессов, направленных на приспособление к влиянию факторов окружающей среды. Любой вид животных характеризуется определенными морфофизиологическими особенностями, которые в совокупности определяют его биологическую специфику. Эколого-физиологические исследования и позволяют установить степень соответствия физиологических особенностей отдельных видов и популяций животных их экологическим особенностям. Важнейшей целью таких

исследований является установление закономерностей динамики популяций животных. Для этого необходимо применение методов, которые позволяли бы оценить физиологическое состояние отдельных особей и конкретных популяций с учетом возрастной, половой, сезонной и микроэволюционной специфики животных, составляющих популяцию. Изучение физиологических особенностей популяции является средством анализа реакции популяции на меняющиеся условия существования.

В качестве индикаторов физиологического состояния животных должны использоваться признаки, которые обладают следующими свойствами:

1. являются жизненно важными для организма;
2. обладают высокой реактивной способностью, то есть четко реагируют на изменение условий внешней среды;
3. в своей совокупности дают более или менее полное представление о физиологическом состоянии животных;
4. не требуют для обследования сложного лабораторного оборудования (обследование может быть проведено в природной обстановке);
5. допускают обследование массового материала, в связи с чем создаются возможности для характеристики популяции в целом.

Метод исследования популяций животных, позволяющий учитывать все эти условия, был предложен С.С. Шварцем и назван методом морфофизиологических индикаторов. При этом морфофизиологическая характеристика животных рассматривается в качестве индикатора состояния популяции. Метод морфофизиологических индикаторов дает возможность оценить физиологические особенности животных в природе, в процессе роста и сезонной цикличности их жизнедеятельности по комплексу косвенных признаков. Главная задача метода состоит в том, чтобы уловить реакцию животных на изменение условий среды или их общего физиологического состояния, связанного с цикличностью жизнедеятельности

(размножение, спячка, линька и т.п.). Большую роль метод морфофизиологических индикаторов играет в оценке нормальной изменчивости морфофизиологических показателей в зависимости от уровня антропогенной нагрузки на популяции животных. Он позволяет зафиксировать самые первые стадии нарушения хода внутривидовых процессов. Для этого необходимо знание нормы, особенностей географической, возрастной и сезонной изменчивости индикаторных признаков, различий между самцами и самками, зависимости морфофизиологических показателей от экологических особенностей животных и от их размеров.

Для морфофизиологического анализа используются основные органы, принимающие активное участие в процессах метаболизма: сердце, почки, легкие, селезенка, гонады, поджелудочная железа и др. Известно, что степень варьирования какого-либо признака связана со степенью его биологической значимости. Органы, имеющие меньшую значимость, варьируют очень сильно и при недостатке корма теряют в весе больше, чем органы, от работы которых зависит судьба организма. Кроме того, чем однообразнее проходит развитие органа у разных особей, тем меньше будет вариабельность его размеров у взрослых животных данной группы. Чем больше защищен орган от недостатка питательных веществ при общем голодании организма, тем стабильнее будет его развитие и меньше изменчивость. Большинство показателей связано с общей массой тела животного. Нужно отметить, что чаще всего масса дает более полное представление об истинных размерах животного, чем линейные показатели. Кроме того, с изменением массы тела связан целый комплекс физиологических изменений в организме. Поэтому при оценке морфофизиологической специфики животных необходимо учитывать закономерности циклических колебаний массы их тела, связанных с определенными физиологическими изменениями в организме, приуроченными к сезонным циклическим явлениям (спячка, линька, миграции и др.). Показано, что изменение степени вариабельности является

более чутким показателем экологической изменчивости гомойотермных животных, чем пойкилотермных. При этом в разных группах животных наблюдаются общие закономерности в характере варибельности отдельных органов. Наибольшей индивидуальной изменчивостью отличаются печень и поджелудочная железа. Их функциональная деятельность связана с изменением массы, поэтому для этих органов характерно изменение абсолютной и относительной массы в течение короткого периода времени.

Условия существования не остаются постоянными, поэтому относительно высокая варибельность индексов печени и поджелудочной железы следует считать нормой. А снижение их изменчивости можно рассматривать в качестве индикатора экологического своеобразия исследуемой популяции. Согласно существующим данным, печень является не только пищеварительной железой, важным органом кроветворения и энергетическим депо организма, но и служит хранилищем запасов белков, среди которых находятся и ферменты, выполняющие функцию детоксикации ксенобиотиков разного происхождения. Масса печени изменяется преимущественно за счет накопления или расходования углеводов. По изменению массы печени можно судить о напряженности обменных процессов. К изменению величины печени приводят и сезонная смена характера питания и кратковременные перерывы в обеспеченности кормами.

Способность животных к изменению морфофизиологических особенностей в разные сезоны года является важным экологическим приспособлением, в связи с чем изучение сезонной динамики индекса печени имеет важное значение для оценки состояния популяций. В период размножения у животных проявляется половой диморфизм по относительной массе печени. Биологический смысл этого явления заключается в специфике расходования и накопления энергетических резервов самцами и самками, поскольку вынашивание и выкармливание потомства требует увеличения запасов питательных веществ. Сердце играет важную роль в кровоснабжении организма, транспорте кислорода к органам и тканям. Его масса зависит от

физических нагрузок. Более активные, подвижные, способные к длительному мышечному напряжению виды имеют более высокие индексы сердца. К увеличению размеров сердца и интенсификации его функций приводят любые изменения, требующие повышения уровня метаболизма (усиление активности, снижение температуры окружающей среды, рост, размножение и т.п.). Следовательно, варибельность индекса сердца может служить индикатором условий существования. Зная закономерности сезонной изменчивости относительной массы сердца, можно судить о состоянии популяции в целом, а также разных в физиологическом отношении групп животных. Таким образом, метод морфофизиологических индикаторов имеет особое значение и для сравнения разных популяций одного и того же вида, обитающих в различных экологических условиях, а также при сравнении разных видов животных.

3.13. Методы биоэкологических исследований (группового анализа)

Полевые, лабораторные и экспериментальные исследования.

Экология, имеет свою специфику: объектом ее исследований служат не единичные особи, а группы особей, популяции (в целом или частично) и их сообщества, то есть биологические макросистемы. Многообразие связей, формирующихся на уровне биологических макросистем, обуславливает разнообразие методов экологических исследований. Для эколога первостепенное значение имеют полевые исследования, то есть изучение популяций видов и их сообществ в естественной обстановке, непосредственно в природе. При этом обычно используются методы физиологии, биохимии, анатомии, систематики и других биологических, да и не только биологических, наук. Наиболее тесно экологические исследования связаны с физиологическими. Однако между ними имеется принципиальная разница. Физиология изучает функции организма и процессы, протекающие в нем, а также влияние на эти процессы различных факторов. Экология же, используя физиологические методы, рассматривает реакции организма как

единого целого на констелляцию внешних факторов, то есть на совместное воздействие этих факторов при строгом учете сезонной цикличности жизнедеятельности организма и внутривидовой разнородности. Полевые методы позволяют установить результат влияния на организм или популяцию определенного комплекса факторов, выяснить общую картину развития и жизнедеятельности вида в конкретных условиях. Однако наблюдения не могут дать вполне точного ответа, например, на вопрос, какой же из факторов среды определяет характер жизнедеятельности особи, вида, популяции или сообщества. На этот вопрос можно ответить только с помощью эксперимента, задачей которого является выяснение причин наблюдаемых в природе отношений. В связи с этим экологический эксперимент, как правило, носит аналитический характер. Экспериментальные методы позволяют проанализировать влияние на развитие организма отдельных факторов в искусственно созданных условиях и таким образом изучить все разнообразие экологических механизмов, обуславливающих его нормальную жизнедеятельность. На основе результатов аналитического эксперимента можно организовать новые полевые наблюдения или лабораторные эксперименты. Выводы, полученные в лабораторном эксперименте, требуют обязательной проверки в природе. Это дает возможность глубже понять естественные экологические отношения популяций и сообществ. Эксперимент в природе отличается от наблюдения тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно строго дозировать тот или иной фактор и точнее, чем при наблюдении, оценить его влияние. Эксперимент может носить и самостоятельный характер. Например, результаты изучения экологических связей насекомых дают возможность установить факторы, влияющие на скорость развития, плодовитость, выживаемость ряда вредителей (температура, влажность, пища). В экологическом эксперименте трудно воспроизвести весь комплекс природных условий, но изучить влияние отдельных факторов на вид, популяцию или сообщество вполне возможно. Примером экологических

экспериментов широких масштабов могут служить исследования, проводимые при создании лесозащитных полос, при мелиоративных и различных сельскохозяйственных работах. Знание при этом конкретных экологических особенностей многих растений, животных и микроорганизмов позволяет управлять деятельностью тех или иных вредных или полезных организмов. В современных условиях экологические исследования играют существенную роль в решении ряда теоретических и практических задач. Динамика численности организмов, сезонное развитие, расселение и акклиматизация полезных и вредных видов, прогнозы размножения и распространения — вот основные в настоящее время экологические проблемы. Разработка их требует рационального сочетания полевых, лабораторных и экспериментальных исследований, которые должны взаимно дополнять и контролировать друг друга.

Изучение растительных ассоциаций

В 1910 г. на Брюссельском международном ботаническом конгрессе за основную единицу растительного покрова была принята ассоциация. Определение растительной ассоциации уточняется до сих пор. Однако нет необходимости приводить все существующие формулировки данного понятия. Мы будем придерживаться взглядов отечественных геоботаников, и в частности В. Н. Сукачева, согласно которым растительной ассоциацией называется основная единица классификации растительного покрова, которая представляет совокупность однородных фитоценозов с одинаковой структурой, видовым составом и со сходными взаимоотношениями организмов как друг с другом, так и со средой. Любая растительная ассоциация тесно связана с климатом, почвой, населяющими ее животными, характеризуется определенной продуктивностью и изменяется в зависимости от условий и флористического состава. Чаще всего ассоциацию называют по двум господствующим в ней растениям. Так, названия бор-зеленомошник, бор- брусничник, бор-кисличник довольно четко характеризуют растительные ассоциации. Но не всегда в ассоциации можно вычлениить два

типичных растения. Тогда ее называют по господствующим в ней видам. К примеру: ельник сфагново-травяной, сосновый бор- черничник с моховым покровом, сосняк с брусникой в напочвенном покрове на сухой и бедной почве. Сходные ассоциации объединяются в группы, группы — в формации, затем следуют группы формаций, классы формаций и типы растительности.

Специфическим методом исследования ассоциаций является закладка и описание пробных площадей и учетных площадок. Размеры пробных площадей для травяных сообществ обычно колеблются в пределах от 1 до 100 м², для лесов — от 100 до 5000 м². Они могут иметь строго определенную форму (прямоугольник, квадрат) или естественные границы изучаемого сообщества. На пробной площади производится общее описание растительности. Для более точного подсчета всходов деревьев, побегов, отдельных видов растений в пределах пробной площади выделяются учетные площадки, обычные размеры которых не превышают 1—4 м², а для определения биомассы травостоя — 0,25 м². При характеристике растительных сообществ производится подробное качественное и количественное их описание. При описании растительных сообществ, прежде всего, составляется список растений в определенной последовательности: деревья, кустарники, кустарнички и полукустарники, многолетние, однолетние травы, мхи, лишайники, грибы, водоросли. При этом в каждой группе растения располагаются в систематическом либо в алфавитном порядке. Кроме того, отмечаются угнетенные и буйно развитые виды, то есть их жизненность. Часто этот показатель устанавливается путем взвешивания сухой массы, приходящейся на единицу площади, что дает точный количественный учет. Описывается также ярусность, мозаичность (микрогруппировки) и фенология (периодичность в развитии). Ярусы обозначаются римскими цифрами, начиная с верхнего уровня. При характеристике микрогруппировок в пределах пробной площади закладывают более 8 мелкие, метровые площадки. Их размещают так, чтобы по возможности охватить все типы микрогруппировок (микроассоциаций),

или исследование ведут по линейным трансектам. В каждой микрогруппировке описывают преобладающие виды растений и специфические условия среды (микрорельеф, влажность, накопление ветоши и др.). При характеристике периодичности отмечается фенологическая фаза каждого описываемого вида. Обычно фенология изучается не на всей пробной площади, а на учетных площадках. Важным признаком сообщества является его физиономичность. Здесь обращается внимание на состояние ассоциации, на ее общий вид, на момент появления цветущих, плодоносящих, отмирающих и вегетирующих растений. После описания структуры растительной ассоциации характеризуют место обитания сообщества: рельеф, склон (если таковой имеется), почву (окраска, структура, мощность горизонтов), ее скелет (включения), механический состав, органические остатки (в толще и на поверхности), а также подстилку в лесах или войлок в степях. Важно дать агрономическую или лесоводческую оценку почвы и определить тип и разность, к которым она принадлежит (чернозем, подзол, бурая, лесная, торфянистая). Для более полной характеристики почвы образцы ее подвергаются лабораторному анализу, при котором следует определить не только химический и механический составы, но и выяснить особенности микрофауны и микрофлоры и, прежде всего, установить тип бактериального процесса (анаэробный, аэробный). Вместе с описанием пробных площадей описывается геоботанический профиль. Этот метод четко показывает связь растительности и рельефа, что имеет особое значение в гористой местности. С этой целью выбирают какой-то ориентир и в данном направлении отмечают все изменения в растительности по уклону местности. По полученным результатам вычерчивают профиль описываемой площади. Существенным показателем является хозяйственная оценка ассоциации. Для лесных угодий отмечается бонитет древостоя и обеспеченность семенным возобновлением. Для сенокосов и пастбищ — наличие в травостое полезных и вредных растений, степень плодородия почвы и поедаемости различных растений животными. Применяются и другие методы для изучения

растительных ассоциаций. Химическими методами устанавливают накопление тех или иных минеральных и органических веществ в отдельных растениях определенного сообщества, в сообществе в целом, одними и теми же видами в разных сообществах. Этими методами также изучаются выделения растений, влияющие на соседние, на всю ассоциацию, на круговорот элементов питания в сообществе. Важны и физиологические методы, с помощью которых в полевых условиях исследуют физиологические процессы, происходящие в отдельных растениях и сообществах в целом. Физиологические и химические исследования имеют большое значение, поскольку фитоценозу принадлежит основная роль в аккумуляции и превращении веществ и энергии в биогеоценозе. Учетные площадки закладываются при определении минимального ареала ассоциации. Как известно, каждая растительная ассоциация состоит из многочисленных участков. Среди них нет тождественных, обладающих одинаковым растительным покровом. Есть виды, характерные для всех участков или только для некоторых. Виды, свойственные данной ассоциации, называются константами. Константы разделяются на десять классов. Константы X класса встречаются на 91—100 % участков, IX — на 81—90 % и т.д. Константность многих видов по мере увеличения размеров площадок вначале растет, а затем становится постоянной. Наименьший размер площади, включающий все ее константы, называется *минимальным ареалом ассоциации*. Однако более объективную характеристику всех признаков сообщества дает не минимальный ареал, а площадь выявления, то есть минимальная площадь, на которой выявляются все наиболее существенные особенности изучаемого сообщества. Завершающим этапом изучения растительных ассоциаций служит геоботаническое картирование, которое производится на основе описания пробных площадей, профилей и т.д. В зависимости от масштаба на карту наносятся либо растительные ассоциации, либо группы ассоциаций, формации. При картировании широко применяется аэрофотосъемка.

Экологическое изучение животных

Одной из характерных черт экологических исследований животных является изучение их питания, то есть определение состава пищи и количества ее компонентов. Эти показатели могут изменяться в течение сезона. Для учета их анализируются содержимое желудков, погадок и остатков пищи, химический состав самой пищи, устанавливаются важнейшие компоненты и их значение для жизни животных на разных фазах развития и в различные сезоны. При изучении животных, так же как и растений, важно знать абиотические условия среды (химизм, влажность, температуру, степень освещенности, в целом метеорологические, почвенные, гидрологические факторы) и биотические связи в сообществе. Состав популяций видов животных, их структура, количество и другие показатели зависят от динамики размножения. Вот почему большое внимание уделяется вопросам размножения животных. Решение их позволяет выяснить фенологию размножения, степень участия в нем особей разного возраста и различного физиологического состояния, интенсивность размножения популяции, а также зависимость всех этих показателей от абиотических и биотических факторов. Знание особенностей поведения животных в разные сезоны, периоды жизни, в той или иной среде обитания также весьма существенно, поскольку с этими показателями связано состояние популяции, способность ее приспосабливаться к изменяющимся условиям. Чтобы изучить образ жизни животных, их сезонные биологические циклы, необходимо выявить закономерности миграций и размещения популяций. Для этого используются различные способы мечения животных (кольцевание птиц, закрепление на теле млекопитающих меток, окраска, прикрепление к телу радиопередатчиков, введение в организм меченых атомов и т. д.). Экологические исследования животных, как и растений, направлены на изучение у них интенсивности газообмена, водного обмена, накопления запасных питательных веществ, темпов роста, скорости размножения, биохимических процессов и ряда других показателей. Для этого широко применяются

общенаучные и общебиологические методы, но в отличие, например, от физиологических или анатомических исследований, когда изучается отдельный организм или процесс, происходящий в нем, в экологии с помощью этих методов мы познаем макросистему, то есть группу особей, популяцию или сообщество. Основные показатели численности организмов. Учет численности организмов и ее динамика являются основными показателями экологических исследований. Количественный учет может быть визуальным (глазомерным) и инструментальным. При визуальном учете организмы подсчитываются на определенном участке (площадной учет), маршруте (линейный учет) или в определенном объеме воды, почвы (объемный учет). Такой учет менее точный, чем инструментальный, при котором используются различные приборы. Например, в гидробиологии широко применяются дночерпатели и планктоночерпатели, позволяющие довольно точно подсчитать количество водных организмов на той или иной площади или в конкретном объеме. Различают также полный и выборочный учеты. Полный учет обычно применяется в лабораторных условиях. При этом подсчитываются все без исключения организмы. В природных условиях такая возможность практически исключена, и здесь, как правило, применяется выборочный учет — подсчитывается население на определенном участке (пробные площади, учетные площадки) и производится пересчет на всю площадь, занимаемую популяцией или сообществом. Выборочный учет может быть абсолютным и относительным. При абсолютном учете подсчитываются все организмы на пробной площади или в каком-то объеме. При относительном учете численность организмов учитывается приблизительно. Например, количество зверьков, попавших в определенное число ловушек на той или иной территории за сутки; количество птиц или растений, обнаруженных на маршруте.

В экологии используют следующие основные показатели численности организмов.

Встречаемость (частота встречаемости) — это относительное число выборок, в которых представлен данный вид. Этим показателем обычно пользуются ботаники. Степень встречаемости зависит от относительных размеров выборки. Кроме того, чем больше выборок, тем точнее можно выявить виды, свойственные большинству из них или только некоторым. Встречаемость характеризует распределение вида на пробной площади (выборка). Обычно на исследуемой площади намечается до 50 мелких выборок. Если вид встречается менее чем на 25 % выборок — он случайный, более чем на 50 % — встречаемость его высокая. В геоботанике часто рассчитывается коэффициент встречаемости, то есть процентное отношение числа площадок, где вид зафиксирован, к общему числу площадок.

Обилие — это количество особей вида либо всего сообщества, приходящееся на единицу площади или объема.

При описании растительных ассоциаций для характеристики обилия чаще всего пользуются 5-балльной шкалой Хульта:

5 — очень обильно,

4 — обильно,

3 — не обильно,

2 — мало,

1 — очень мало.

При учете животных различают разовое обилие и среднее для всего пространства за определенный период (сезон, месяц, год). Причем в данных исследованиях обилие часто называется *плотностью населения*. *Доминирование (относительное обилие)* представляет собой отношение числа особей данного вида к общему числу особей всех видов, выраженное в процентах. Оно характеризует преобладание одного вида над другими. В геоботанике этим показателем пользуются в основном при исследовании растений одинаковых размеров.

Покрытие — площадь, покрываемая надземными частями того или иного вида растения в сообществе. Различают истинное покрытие (процент

площади, занятой основаниями побегов растений) и проективное (процент площади, покрываемой верхними частями растений).

В травостоях эти показатели обычно определяются при помощи специальных приборов (сеточки учета, масштабные вилочки, квадратсетки, зеркальные сеточки), в лесоводстве — полнотой древостоя, покрытием стволами (сумма поперечного сечения всех стволов данного вида на уровне груди человека от поверхности земли), кронами или сомкнутостью крон (отношение поверхности почвы, затененной кронами деревьев, ко всей поверхности почвы пробной площади).

Биомасса — это общая масса особей одного вида, группы видов или сообщества в целом, приходящаяся на единицу поверхности или объема местообитания. Выражается она в массе сырого или сухого вещества, а также углерода или азота (грамм на квадратный или кубический метр). Биомасса растений носит название фитомассы, животных — зоомассы. По биомассе отдельных компонентов судят о количественных соотношениях масс организмов. С помощью количественного учета устанавливают разовую, начальную (в начале вегетационного периода), конечную (в конце вегетационного периода), среднюю (за какой-то период времени — месяц, год) биомассу. Прирост биомассы организмов вида или всего сообщества за определенный период называется продукцией. Например, биомасса зерна пшеницы, полученная с гектара, является продукцией за год, или урожаем. При специальных исследованиях, кроме перечисленных, используют и другие показатели численности организмов: *индекс плотности, удельную продукцию, продуктивность, преобладание (весовой и объемный методы) и др.* Все показатели количественного учета имеют большое теоретическое и практическое значение. Позволяя выявить биологические ресурсы отдельных биогеоценозов и биосферы в целом, они дают возможность делать кратковременные и долгосрочные прогнозы численности полезных и вредных видов, разрабатывать меры по охране и рациональному использованию природных ресурсов.

Словарь основных понятий

Абиотические факторы - факторы неорганической (неживой) природы: свет, температура, влажность, давление, агрегатное состояние самой среды, химический состав среды, концентрация веществ в ней.

Автотрофные экосистемы - экосистемы, которые сами обеспечивают себя энергией, получаемой от Солнца, за счет собственных фото- или хемотрофных организмов.

Антропогенные (искусственные) экосистемы - экосистемы, созданные человеком, которые способны существовать только при поддержке человека.

Антропогенные – факторы человеческой деятельности.

Аутоэкология (греч. *autos* – сам) – раздел экологии, изучающий взаимоотношения отдельного организма с окружающей средой.

Базовый (фоновый) мониторинг - слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний.

Биогеохимическими циклами – это круговорот биогенных элементов из внешней среды в организмы и обратно во внешнюю среду.

Биологический мониторинг - мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

Биосфера (греч. - жизнь, *spharia* - шар) - глобальная экосистема всего земного шара, оболочка Земли, состоящая из совокупности всех живых организмов (биота), веществ, их составляющих, и среды их обитания.

Биотоп (греч. *bios* - жизнь, *topos* - место) - это пространство с однородными условиями (рельефа, климата), заселенное определённым биоценозом.

Биотический круговорот веществ - круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, в основе которого лежит реакция фотосинтеза.

Биогеохимический круговорот - циклический процесс химических превращений, обусловленных биотой.

Биогеоценоз – совокупность особей различных видов, обитающих в пределах конкретного географического ареала.

Биоценоз – совокупность особей различных видов.

БПК - биологическое потребление кислорода - это количество кислорода, которое необходимо для окисления бактериями и простейшими всей органики (обычно за 5 суток) в 1 л загрязненной воды;

Биотические факторы - это прямые или опосредованные воздействия других организмов, населяющих среду обитания данного организма.

Внешние факторы - воздействуют на организм, популяцию, экосистему, но не испытывают непосредственного обратного действия: температура, атмосферное давление, скорость ветра, солнечная радиация.

Внутренние факторы - связаны со свойствами самой экосистемы и образуют ее состав: численность популяций, пища, количество биогенов, состав воздуха, воды и т.д.

Внутривидовые факторы - контакты между членами одной семьи, группы, стада, популяции одного вида.

Вредное вещество – это инородный нехарактерный для природных экосистем ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на них и живые организмы, обитающие в этих экосистемах.

Географическая популяция - совокупность экологических популяций, заселяющих территорию с географически однородными условиями существования.

Глобальный мониторинг - слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях.

Государственная экологическая экспертиза – система государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия

проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства и природных ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.

Гетеротрофные экосистемы - это такие экосистемы, которые получают энергию, используя готовые органические соединения, синтезированные организмами, не являющимися компонентами данных экосистем, или использующих энергию созданных человеком энергетических установок.

Демэкология (греч. *demos* – народ) – раздел экологии, изучающий популяцию и ее среду.

Дистанционный мониторинг - в основном, авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

ДОК – допустимое остаточное количество вещества в продуктах питания.

Загрязнение окружающей среды – процесс привнесения в среду или возникновения в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие.

Емкость экосистемы - это максимальная численность популяции одного вида, которую данная экосистема способна поддерживать в определённых экологических условиях на протяжении длительного времени.

Импактный мониторинг - мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах.

Индекс загрязнения (ИЗ) – показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества-загрязнителя и степень его воздействия на живые организмы.

Канцерогенез – это способность металла проникать в клетку и реагировать с молекулой ДНК, приводя к хромосомным нарушениям клетки.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды - это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и

предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов.

Ландшафтная экология – наука, изучающая приспособление организмов в разной географической среде.

Лесная экология – наука, изучающая способы использования ресурсов лесов при их постоянном восстановлении.

Локальный мониторинг - мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника.

Мегаэкология или глобальная экология – наука о биосфере земли и положении человека в ней.

Межвидовые факторы - контакты между особями разных видов.

Миграция элементов – это перенос и перераспределение химических элементов в земной коре и на поверхности Земли.

Мониторинг факторов воздействия - мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнений - мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

Мониторинг состояния природной среды - комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий.

Надежность экосистемы - это способность экосистемы относительно полно самовосстанавливаться и саморегулироваться (в течение сукцессионного или эволюционного периода своего существования), т.е., удерживать свои основные параметры во времени и пространстве.

Национальный мониторинг - мониторинг в масштабах страны.

Окружающая среда - та часть экологической среды, с элементами которой данный организм в данное время контактирует и прямо или косвенно взаимодействует.

Популяция (лат.*populus* - народ) - это внутривидовая группировка особей, занимающая часть ареала данного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать свое существование.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – количество вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека.

Предельно допустимая концентрация вещества - в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з.}) - концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений заболеваний или отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы.

Предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест (ПДК_{м.р.}) - концентрация при вдыхании в течение 20 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека;

Предельно допустимая среднесуточная концентрация токсичного вещества в воздухе населенных мест (ПДК_{с.с.}) - концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно продолжительном вдыхании.

Предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_{в.}) – концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на органы человека в течение всей его жизни, а также на здоровье последующих поколений не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;

Предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы (ПДК_п) - концентрация не должна вызывать прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

ПДК_{в.р.} - предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей

ПДК_{п.р.} - предельно допустимая концентрация вещества в продуктах питания.

Плотность популяции - это число особей, приходящихся на единицу площади или объёма.

Природные (естественные) экосистемы - это такие экосистемы, в которых биологический круговорот протекает без прямого участия человека.

Размер экосистемы - это пространство, в котором возможно осуществление процессов саморегуляции и самовосстановления всех составляющих экосистему компонентов и элементов.

Региональный мониторинг - слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы.

Самовосстановление природных экосистем - это самостоятельный возврат экосистем к состоянию динамического равновесия, из которого они были выведены воздействием каких-либо природных и антропогенных факторов.

Саморегуляция природных экосистем - это способность природных экосистем к самостоятельному восстановлению баланса внутренних свойств после какого-либо природного или антропогенного воздействия с помощью принципа обратной связи между ее компонентами, т.е. экосистема способна сохранять свою структуру и функционирование в определённом диапазоне внешних условий.

Самоочищение экосистем - это естественное разрушение загрязнителя в среде в результате природных физических, химических и биологических процессов, происходящих в ней.

Синэкология (греч. *syn* – вместе) – раздел экологии, рассматривающий жизнь сообществ организмов (экосистем).

Структура популяции - это количественное соотношение особей разного пола, возраста, размеров, генотипов и т.п.

Техноэкосистемы - искусственные экосистемы, возникающие в результате промышленной деятельности человека.

Токсиканты – вещества или соединения, способные оказывать ядовитое действие на живые организмы.

Трофические цепи – это такие ряды, в которых каждый предыдущий вид служит пищей последующему.

Урбаноэкология (лат. *urbanus* - городской) - экология градостроения, изучает возможности расселения людей в городах и других населённых пунктах с учетом интересов населения и сохранения природной среды.

Урбаноэкосистемы (лат. городской) - экосистемы, возникающие в результате создания поселений человека.

Устойчивость экосистемы - это способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних и внутренних факторов, т.е. ее способность к реакции, пропорциональной по величине силе воздействия.

Физический мониторинг - система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (наводнения, вулканизм, землетрясения, цунами, засухи, эрозия почв и т.д.).

Химический мониторинг - это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ.

ХПК - химическое потребление кислорода - количество кислорода (мл/л или г/л воды), необходимое для полного окисления загрязняющих веществ с помощью химических реагентов (обычно бихроматом калия).

Численность популяции - это общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

Эйдэкология (греч. *eidōs* – образ) – экология видов.

Экология (греч. *oikos* – дом, *logos* - наука) – “наука о доме” – наука об взаимоотношениях живых организмов между собой и с окружающей средой.

Экосистема (греч. *oikos* - дом, *systema* - сочетание, объединение) - экологическая система, совокупность совместно обитающих организмов разных видов и условий их существования, в которой живые и неживые компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии.

Элементарная (локальная) популяция - это группа особей одного вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади.

Экобиохимический мониторинг - мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Экологическая популяция - совокупность элементарных популяций. В основном, это внутривидовые группировки, приуроченные к конкретным экосистемам.

Экологические факторы - это такие свойства компонентов экосистемы и ее внешней среды, которые оказывают влияние на особи данной популяции, а также на характер их отношений друг с другом и с особями других популяций.

Библиографический список

1. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. — М. : Мир, 1988. — 350 с.
2. Борздыко, Е.В. Методы биологического контроля: биоиндикация и биотестирование : учеб.-метод. пособие / Е.В. Борздыко, Л.Н. Анищенко. — Брянск : Наяда, 2008. — 70 с.
3. Булохов, А.Д. Фитоиндикация и ее практическое применение. — Брянск : Изд-во БГУ, 2004. — 245 с.
4. Израэль, Ю.А. Мониторинг загрязнения природной среды/ Ю.А. Израэль, И.К. Гасилина, Ф.Я. Ровинский. — Л. : Гидрометеиздат, 1978. — 560 с.
5. Круглова, О. Ю. Методические указания к лабораторным занятиям по специальному курсу «Экологическая физиология животных» / О. Ю. Круглова. — Минск: БГУ, 2012. — 23 с.
6. Кузенкова, Г. В. Введение в экологический мониторинг: учебное пособие. — Н.Новгород: НФ УРАО, 2002. — 72 с.
7. Любимов, В.Б. Интродукция растений. — Брянск: БГУ, 2009. — 364 с.
8. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева. — М. : Академия, 2007. — 288 с.
9. Методы экологических исследований : учебно-методическое пособие / В. Бирюкова, К.И. Дагаргулия, А.Ю. Прибылов, В.В. Черная ; Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. — Рязань, 2007. — 76 с.
10. Муртазов, А.К. Экологический мониторинг. Методы и средства: Учебное пособие. Часть 1 / А.К. Муртазов; Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина. - Рязань, 2008. - 146 с.

11. Неронов, В.В. Полевая практика по геоботанике в средней полосе Европейской России: метод. пособие. — М. : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2002. — 139 с.
12. Нолтинг, Б. Новейшие методы исследования биосистем. М.: Техносфера, 2005.-256 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Классификация методов применяемых в экологических исследованиях.....	5
2. Общенаучные методы исследований.....	5
2.1. Описание и наблюдения.....	7
2.2. Сравнительный метод.....	7
2.3. Эксперимент.....	8
2.4. Понятие экологического эксперимента.....	10
2.5. Стадии экологического эксперимента.....	12
2.6. Виды экспериментов в экологии.....	15
2.7. Метод математического моделирования.....	19
2.8. Статистические методы в экологии.....	23
3. Экологические методы исследований.....	24
3.1. Экологический мониторинг.....	25
3.2. Мониторинг состояния природных ресурсов.....	33
3.3. Системы автоматического мониторинга.....	43
3.4. Микроскопические методы.....	47
3.5. Изоферментный анализ.....	49
3.6. Рентгеноструктурный анализ.....	51
3.7. Интродукционный метод.....	52
3.8. Дистанционные методы.....	56
3.9. Атомно-абсорбционная спектроскопия в экологическом мониторинге.....	64
3.10. Биоморфологический анализ.....	67
3.11. Индикация загрязнения окружающей среды.....	74
3.12. Метод морфофизиологических индикаторов.....	85
3.13. Методы биоэкологических исследований (группового анализа).....	89
Словарь основных терминов.....	99
Библиографический список.....	105