

Глава 4

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В экологическом мониторинге используют различные методы исследования. Среди них можно выделить дистанционные (аэрокосмические) и наземные методы. К наземным методам относятся биологические (биоиндикационные) и физико-химические методы. Простейшие варианты наземных методов экологических исследований доступны в школьной практике по изучению природной среды своей местности [7].

1 4.1. Биощронные методы

4.1.1. Кракя ниц Шиццтт нсщмш!

О возможности использования живых организмов в качестве показателей определенных природных условий писали еще ученые Древнего Рима и Греции. В России в рукописях XV и XVI вв. уже упоминались такие понятия как «лес пашенный» и «лес непашенный», т. е. участки леса, пригодные для его сведения под пашню и непригодные.

В трудах М.В. Ломоносова и А.Н. Радищева есть упоминания о растениях — указателях особенностей почв, горных пород, подземных вод.

В XIX в. с развитием экологии растений была показана связь растений с факторами окружающей среды. О возможности растительной биоиндикации писал геолог А.М. Карпинский. Другой геолог — П.А. Ососков — использовал характер распределения растительных сообществ для составления геологических карт, а

почвовед С.К. Чайнов — почвенных карт. Большой вклад в развитие биоиндикации внес русский ученый почвовед В.В. Докучаев.

В начале XX в., в период, когда началось освоение окраин нашей страны, биоиндикационные исследования стали развиваться особенно интенсивно. Под биоиндикацией в эти годы в основном понимали регистрацию наличия или отсутствия того или иного явления (природного или антропогенного фактора среды), отмечая в терминах «есть» — «нет». К концу XX в. биоиндикационные закономерности претерпели качественный скачок. В настоящее время для целого класса индикаторных видов растений и животных целесообразно говорить не только о наличии или отсутствии фактора, но и о степени его влияния на природный комплекс. Разные степени влияния на окружающую природную среду, регистрируемые с помощью этих видов, позволяют ввести шкалу воздействий (например, нет воздействия — слабое — среднее — сильное). Наличие шкалы экологического фактора позволяет намного более верно оценивать исследуемую территорию. В таком случае следует говорить не о биоиндикации, а о биодиагностике территорий — методе количественной оценки степени воздействия экологического фактора на окружающую природную среду.

4.1.2. Виду к методы бишдшрк

По современным представлениям биоиндикаторы — организмы, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. Биоиндикация — метод, который позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту встречи, отсутствия, особенностям развития организмов — биоиндикаторов.

Условия, определяемые с помощью биоиндикаторов, называются объектами биоиндикации. Ими могут быть как определенные типы природных объектов (почва, вода, воздух), так и различные свойства этих объектов (механический, химический состав и др.) и определенные процессы, протекающие в окружающей среде

(эрозия, дефляция, заболачивание и т. п.), в том числе происходящие под влиянием человека.

При выборе биоиндикаторов один из крупнейших американских экологов Ю. Одум предлагает учитывать следующие соображения.

1. Стенотопные виды (то есть виды, приспособленные к существованию в строго определенных условиях), более редкие в сообществах, как правило, являются лучшими индикаторами, нежели эвритопные (широко распространенные, обладающие широким диапазоном экологической выносливости).
2. Более крупные виды являются обычно лучшими индикаторами, чем мелкие, так как скорость оборота последних в биоценозах выше и они могут не попасть в пробу в момент исследований (при наблюдениях с длительной периодичностью).
3. При выделении вида (или группы видов), используемого в качестве индикатора воздействия того или иного фактора, необходимо иметь полевые и экспериментальные сведения о лимитирующих значениях данного фактора с учетом возможных компенсаторных реакций организма и толерантности вида (группы видов).
4. Численное соотношение разных видов (популяций или сообществ) более показательно и является более надежным индикатором, нежели численность одного вида («...целое лучше, чем часть, отражает общую сумму условий»).

Биоиндикационные исследования подразделяются на два уровня: видовой и биоценотический. Видовой уровень включает в себя констатацию присутствия организма, учет частоты его встречаемости, изучение его анатомо-морфологических, физиолого-биохимических свойств. При биоценотическом мониторинге учитываются различные показатели разнообразия видов, продуктивность данного сообщества.

Существуют различные виды биоиндикации. Если одна и та же реакция вызывается различными факторами, то говорят о неспецифической биоиндикации.

- г. Если же те или иные происходящие изменения можно
 ПИ связать только с одним фактором, то речь идет о спе-

цифической биоиндикации. Например, лишайники и хвойные деревья могут характеризовать чистоту воздуха и наличие промышленных загрязнений в местах их произрастания. Видовой состав животных и низших растений, обитающих в почвах, является специфическим для различных почвенных комплексов, поэтому изменения этих группировок и численности видов в них могут свидетельствовать о загрязнении почв химическими веществами или изменении структуры почв под влиянием хозяйственной деятельности.

Методы биоиндикации подразделяются на два вида: регистрирующая биоиндикация и биоиндикация по аккумуляции. Регистрирующая биоиндикация позволяет судить о воздействии факторов среды по состоянию особей вида или популяции, а биоиндикация по аккумуляции использует свойство растений и животных накапливать те или иные химические вещества (например, содержание свинца в печени рыб, находящихся на конце пищевой цепочки, может достигать 100 — 300 ПДК). В соответствии с этими методами различают регистрирующие и накапливающие индикаторы.

Регистрирующие биоиндикаторы реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями (в том числе уродливостью), изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками. В качестве примера регистрирующих биоиндикаторов можно назвать лишайники, хвою деревьев (хлороз, некроз) и их суховершинность. Однако с помощью регистрирующих биоиндикаторов не всегда возможно установить причины изменений, то есть факторы, определившие численность, распространение, конечный облик или форму биоиндикатора. Это один из основных недостатков биоиндикации, поскольку наблюдаемый эффект может порождаться разными причинами или их комплексом.

Накапливающие индикаторы концентрируют загрязняющие вещества в своих тканях, определенных органах и частях тела, которые в последующем используются для выяснения степени загрязнения окружающей среды при помощи химического анализа. Примером подобных индикаторов могут служить хитиновые панцири ракообразных и личинок насекомых, обитаю-

ших в воде, мозг, почки, селезенка, печень млекопитающих, раковины моллюсков, мхи.

Какой бы современной ни была аппаратура для контроля загрязнения и определения вредных примесей в окружающей среде, она не может сравниться со сложно устроенным «живым прибором». Правда, у живых приборов есть серьезный недостаток — они не могут установить концентрацию какого-либо вещества в многокомпонентной смеси, реагируя сразу на весь комплекс веществ. В то же время физические и химические методы дают количественные и качественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии. С помощью биоиндикаторов можно получить информацию о биологических последствиях и сделать только косвенные выводы об особенностях самого фактора.

Мониторинг с применением накапливающих биоиндикаторов зачастую требует применения сложных и дорогостоящих приборов, оборудования, трудоемких методик, что под силу только специальным лабораториям. Но в основном методы биоиндикации не требуют значительных затрат труда, сложного и дорогостоящего оборудования, а поэтому могут широко использоваться в школьном экомониторинге.

Наиболее конструктивно использовать биоиндикаторы одновременно с инструментальным контролем за состоянием окружающей природной среды, применяемым при локальном мониторинге источников или объектов загрязнения.

Методы биоиндикации, позволяющие изучать влияние техногенных загрязнителей на растительные и животные организмы, на неживую природу, являются наиболее доступными для школьников. В главах 5 — 7 данной книги описаны некоторые методики исследований, включенных в программу школьного экологического мониторинга, с использованием биоиндикаторов состояния окружающей среды.

1 4.2. Физико-химические методы

Наиболее доступным в школьных условиях является качественный анализ. Он всегда предшествует

Методы з а п я в ш о мониторинга

количественному, так как выбор метода количественного определения зависит от данных качественного анализа [8].

Качественные реакции на катионы

Li+	— пламя (красное)
Na+	— пламя (желтое)
K+	- пламя (фиолетовое)
Ca ²⁺	— пламя (кирпично-красное) карбонат-ионы (белый осадок) оксалат-ионы (белый осадок)
Ba ²⁺	— пламя (желто-зеленое) сульфат-ионы (белый осадок) хромат-ионы (желтый осадок)
Си ²⁺	— пламя (зеленое) в водном растворе гидратированные ионы [Си(Н20) ₄] ²⁺ имеют голубую окраску водный раствор аммиака (сине-фиолетовая окраска)
Pb ²⁺	— сульфид-ионы (черный осадок) иодид-ионы (желтый осадок) хромат-ионы (желтый осадок)
Ад+	— хлорид-ионы (белый осадок) хромат-ионы (кирпично-красный осадок)
Fe ²⁺	— красная кровяная соль (синий осадок)
Fe ³⁺	— желтая кровяная соль (синий осадок) роданид-ионы (красное окрашивание)
Cd ²⁺	— сульфид-ионы (желтый осадок)
Zn ²⁺	— сульфид-ионы (белый осадок)
NH ₄ ⁺	— раствор щелочи (запах аммиака)
[Нд] ²⁺	— раствор щелочи (черный осадок) хромат-ионы (красный осадок)
Нд ²⁺	— сульфид-ионы (черный осадок) иодид-ионы (красный осадок)
Sn ²⁺	— сероводород (темно-коричневый осадок)
Sn ⁴⁺	— сероводород (желтый осадок)

Качественные реакции на анионы

SO [^]	— соли бария (белый осадок)
CO ²ⁿ ₃	— соляная или серная кислоты (выделяется углекислый газ)
	известковое молоко (белый осадок)

PO	— магниальная смесь: $MgCl_2 + NH_4OH + NH_4Cl$ (белый осадок)
SiO	нитрат серебра (желтый осадок) - разбавленные растворы кислот (студенистый осадок)
B ₄ O	соли аммония (то же)
и BO"	— пламя (зеленое окрашивание)
J-	— нитрат серебра (желтый осадок)
O	соли свинца (желтый осадок)
Bг ⁻	— хлорная вода +
NOT"	крахмал (синее окрашивание)
	— нитрат серебра (белый осадок)
	— нитрат серебра (желтоватый осадок)
	— металлическая медь
	в концентрированной серной кислоте (газ бурого цвета)
	металлический алюминий
	в сильнощелочной среде (запах аммиака)
	смесь $H_2SO_4 + FeSO_4$ (окраска от фиолетовой до коричневой)
NO"	— сульфаниловая кислота +
CrO	а-нафтиламин (красное окрашивание)
и Cr ₂ O?"	— соли бария (желтый осадок)
S	— соли кадмия (желтый осадок)
	соли серебра (черный осадок)

Из количественных методов в школьной практике могут быть рекомендованы гравиметрический, титриметрический (объемный) и метод визуальной колориметрии.

Гравиметрический метод

Суть метода — определение массы и процентного содержания какого-либо элемента, иона или химического соединения, находящегося в испытуемой пробе. Искомую часть выделяют либо в чистом виде, либо в виде соединения известного состава. Гравиметрическим методом определяют содержание ряда тяжелых металлов, анионов, сухого вещества в плодах и овощах, клетчатки, «сырой» золы в растительном материале. Кроме того, этим методом определяют кристаллизационную воду в солях, общую и гигроскопическую влажность почвы и т. д.

Гравиметрический анализ проводят по следующим стадиям:

- а отбор средней пробы и подготовка ее к анализу;
 - взятие навески;
- а растворение навески;
- а выбор осадителя и осаждение определяемого элемента (с пробой на полноту осаждения);
- а фильтрование;
- а промывание осадка (с пробой на полноту промывания);
- а высушивание и прокаливание осадка;
- в взвешивание;
- а вычисление результатов анализа.

Аналитической практикой установлено, что при проведении гравиметрического анализа наиболее удобны навески от 0,5 до 2,0 г. Навеску вещества следует брать из расчета, чтобы после прокаливания получить гравиметрическую форму массой около 0,1—0,3 г для аморфного осадка и массой около 0,5 г — для кристаллического.

Титриметрический (объемный) метод

Этот метод имеет ряд преимуществ перед гравиметрическим (быстрота анализа, относительная простота операций, достаточная точность), в связи с чем он довольно широко применяется в лабораторной практике. В этом виде анализа взвешивание заменяется измерением объемов как определяемого вещества, так и реагента, используемого при данном определении. Если требуется провести объемным методом анализ сухого вещества, то берут его точную навеску массой 0,1—0,2 г, растворяют его в мерной колбе, перемешивают, пипеткой отбирают известный объем полученного раствора, при необходимости добавляют буферную смесь, индикатор и пр. и проводят титрование.

Методы титриметрического анализа разделяют на 4 группы.

Методы кислотно-основного титрования. В основу этих методов положены реакции нейтрализации. Точка эквивалентности фиксируется при помощи индикаторов, которые меняют свою окраску в зависимости от реакции среды (величины pH). Этими методами определяют концентрации кислот, щелочей и солей,

гидрализующихся в водных растворах. В качестве рабочих растворов используют титрованные растворы кислот и сильных оснований.

Методы осаждения. Методом осадительного титрования определяют элемент, который, взаимодействуя с титрованным раствором, может осаждаться в виде малорастворимого соединения; при этом изменяются свойства среды, что позволяет установить точку эквивалентности.

Методы окисления-восстановления. Эти методы основаны на окислительно-восстановительных реакциях, которые протекают между искомым веществом и веществом рабочего раствора (перманганато-метрия, иодометрия, хроматометрия и др.). Их используют для обнаружения различных восстановителей (Fe^{2+} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, NO_2^- и др.) или окислителей ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, MnO_4^- , ClO_2 , Fe^{3+} и т. д.). Точка эквивалентности определяется по изменению окраски либо самого раствора, либо редокс-индикатора.

Методы комплексообразования. Эти методы дают возможность определять целый ряд катионов (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Al^{3+} и др.) и анионов (CN^- , F^- , Cl^-), которые обладают способностью образовывать малодиссоциированные комплексные ионы. Особый интерес представляет комплексон III (трилон Б), широко используемый в количественном анализе. Точку эквивалентности чаще всего устанавливают по исчезновению анализируемого катиона в растворе с помощью так называемых металл-индикаторов. В качестве индикаторов для определения суммарного содержания кальция и магния могут быть взяты эриохром черный Т и хромовый темно-синий, для обнаружения кальция — мурексид, железа — роданид аммония в сульфаниловой кислоте и т. д.,

Колориметрические методы

Колориметрия — один из наиболее простых методов абсорбционного анализа. В школьной практике можно рекомендовать использование метода визуальной колориметрии, в частности, метод стандартных серий: исследуемый раствор сравнивают с набором стандартных растворов, которые должны быть свежеприготовленными и отличаться друг от друга не менее, чем на 10-15%.

Например, колориметрическое определение рН по Дьямовскому основано на свойстве индикаторов изменять свою окраску в зависимости от концентрации ионов водорода, присутствующих в растворе.

Шкала прибора Алямовского представляет из себя ряд запаянных пробирок, заполненных окрашенным раствором. Этот устойчивый к действию света раствор имитирует окраску универсального индикатора при определенном значении рН. Испытуемый раствор сравнивают со шкалой и находят в ней пробирку, наиболее совпадающую с ним по цвету. Если окраска жидкости не соответствует цвету растворов шкалы, то берут среднее значение между двумя приближающимися по цвету пробирками. Иногда может встретиться набор Алямовского, в котором стандартная цветная шкала представлена не ампулами с растворами, а стеклянными пластинками с цветными пленками.

Для удобства сравнения к прибору прилагается компаратор, но техника сравнения растворов со шкалой в этом случае другая. Пробирку с окрашенным испытуемым раствором нужно поместить в левое гнездо компаратора. В пробирку из правого гнезда компаратора наливают 5 мл дистиллированной воды. В пазы компаратора вставляют стандартную цветную шкалу, при этом ее окрашенная часть должна находиться против пробирки с дистиллированной водой, а бесцветная — против испытуемого раствора. Компаратор берут левой рукой и поднимают до уровня глаз, держа шкалой от себя и повернув ее к свету. Передвигая стандартную шкалу вверх и вниз, находят ту ее часть, которая по окраске совпадает с испытуемым раствором. Повернув компаратор шкалой к себе, отсчитывают значение рН и записывают результат анализа.

Для более точного определения анализируемого элемента применяют специальные приборы — фотоэлектроколориметры (ФЭК). При работе на ФЭК чаще всего используют метод градуировочной кривой, основанный на построении калибровочного графика в осях «оптическая плотность — концентрация» (для стандартных растворов). Измерив оптическую плотность анализируемого раствора, по графику находят его концентрацию.