

Методы биоиндикации

Лекция 2. Теоретические основы
биоиндикации

Место биологического контроля качества среды

- Человек, как и всякий живой организм, неразрывно связан с биосферой. Но его воздействие на биосферу принципиально отличается от воздействия других организмов, поскольку обусловлено общественной природой человека, совершается в ходе и в результате, прежде всего трудовой, производственной деятельности.
- При обосновании требований к параметрам биосферы необходимо знать оценку разных факторов и состояние элементов окружающей среды до и после вредного воздействия. При этом большое значение имеют методы и организационные формы проведения экологического контроля. Биологический контроль делает возможной прямую оценку качества среды.
- *Объектом экологических исследований* в широком смысле является окружающая среда, под которой понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Структурные единицы окружающей среды

- *Компонентами среды* являются:
 - земля,
 - недра,
 - почвы,
 - поверхностные и подземные воды,
 - атмосферный воздух,
 - растительный, животный мир и иные организмы,
 - озоновый слой атмосферы,
 - околоземное космическое пространство.
- *Природные объекты* представлены:
 - естественными экологическими системами (экосистемами),
 - природными ландшафтами и составляющими их элементами, сохранившими свои природные свойства.
- Под *природно-антропогенными объектами* понимаются природные объекты, изменённые в результате хозяйственной деятельности, а также объекты, созданные человеком, обладающие свойствами природного объекта и имеющие рекреационное и защитное значение.
- *Антропогенный объект* – это объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Экологическая оценка

- *Экологическая оценка* - определение параметров природной среды, обеспечивающих существование сообществ живых организмов, характерных для этих состояний в условиях естественного и антропогенного режимов их развития. Она неразрывно связана с качеством объекта - совокупностью характеристик, описывающих данный объект (Международный стандарт № 8402-86 (94)).
- *Качество окружающей среды* определяется как состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью.
- *Оцениваемым свойством* может быть как собственно качество среды, так и:
 - устойчивость экосистемы,
 - биологическая продуктивность,
 - ресурсный потенциал,
 - ассимиляционная ёмкость

Недостатки традиционных методов оценки

- В настоящее время при оценке состояния окружающей среды ведущая роль отводится физическим и химическим методам экологического контроля.
- Их сущность сводится к сравнению загрязнения отдельных компонентов природных комплексов с ПДК или ПДУ.
- Однако существующие системы нормативов не обеспечивают экологическую безопасность экосистем - состояние защищённости природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий - и чаще носят антропоцентрический характер.
- Другие недостатки:
 - 1) невозможность учёта в практической деятельности синергического и антагонистического эффектов поллютантов;
 - 2) неразрешимость проблемы оценки влияния на токсичность или иные лимитирующие свойства поллютантов разнообразных природных факторов;
 - 3) невозможность получения информации о вторичных эффектах действия поллютантов, вызванных их накоплением и трансформацией в различных звеньях экосистем

Недостатки традиционных методов оценки

- Прямые инструментальные методы исследования часто очень трудоёмкие, дорогие и недостаточно обеспечены соответствующими приборами, которые могли бы давать возможность получать экспресс-данные непосредственно в полевых условиях.
- Современные исследования не дают возможности быстро охватить достаточно большие территории и, в лучшем случае, ограничиваются отдельными мониторинговыми площадками.
- Не всегда дают возможность получить единый временной срез или сравнимые временные данные.
- Многие важные экологические показатели не имеют количественной оценки, а выражаются исключительно в качественных (номинальных) или ранговых шкалах, соответственно, не определяются инструментальными методами.

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 её 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, причём дают возможность контролировать их действие.

Определение биоиндикации

- *Биоиндикация* - оценка состояния окружающей среды, экологических факторов и их динамики при помощи признаков и свойств самих экосистем, их биоты.
- *Биоиндикация* изучает теоретические основы и практические способы использования организмов для оценки условий среды.
- *Биоиндикация*:
 - раздел экологии, который занимается оценкой экологических факторов по биологическим признакам;
 - наука, изучающую зависимость между биотическими признаками и состоянием экосистем в целом и их составляющих;
 - наука, которая занимается диагностикой состояния экосистем по показателям биотических признаков и свойств.
- *Объектом* биоиндикации являются экологические характеристики и биотические признаки.
- *Предметом* биоиндикации являются закономерности взаимосвязей между ними.

Направления в биоиндикации

1. В зависимости от уровня исследуемых экосистем выделяют
2. В зависимости от используемых систематических групп организмов
3. В зависимости от направлений исследований

Биоиндикация в зависимости от уровня исследуемых экосистем

Биоиндикация	Оценка выполняется по
аутбиоиндикация	отдельным признакам или организмам
синбиоиндикацию	сообществам или комплексу видов

Биоиндикация в зависимости от используемых систематических групп организмов

Биоиндикация	Использование в качестве индикаторов признаков или сообществ
альгоиндикация	водорослей
лихеноиндикация	лишайников
бриоиндикация	мохообразных
фитоиндикация	сосудистых растений
дендроиндикация	древесных растений
зооиндикация	животных

Биоиндикация в зависимости от направлений исследований

Биоиндикация	Область применения
агроиндикация	оценка природных угодий -пастбищ, сенокосов и т.д. с точки зрения сельскохозяйственного использования, а также природных условий земледелия, садоводства, виноградарства, кормопроизводства и т.п.
лесная индикация	раздел лесоведения и лесной типологии, изучающий оценку лесорастительных условий и их классификацию по климатическим и почвенным факторам
гидроиндикация	оценка глубины залегания и минерализованности грунтовых вод
геоиндикация и биогеохимическая индикация	оценка геологического состава и литологии залегающих близко к земной поверхности горных пород и геохимических особенностей территории и связанных с ними рудных и нерудных ископаемых
дендроиндикация	оценка динамики природных условий по характеру образования годичных колец древесных пород
почвенная индикация	оценка экологических режимов почв трофности, степени, характера и глубины засоления, кислотности, режима увлажнения, содержания органических и минеральных соединений
инженерная биоиндикация	оценка характера и степени техногенных нарушений, в том числе уровня загрязнения окружающей среды

Базовые понятия биоиндикации

- *индикатор* - биологическая характеристика или признак, которая даёт представление о явлениях и процессах и используется при оценке интересующего параметра окружающей среды (что показывает);
- *индикат* - параметр окружающей среды, который оценивается (что определяется).
- Основными требованиями к индикатору и индикату являются:
 - 1) уровень точности и отклика, то есть индикатор и индикат должны между собой значимо и однозначно коррелировать;
 - 2) индикатор должен характеризоваться критическим уровнем информации или пределами, в которых он работает и даёт однозначную оценку индиката, а за пределами которых оценка некорректна.

Этапы биоиндикации

Этап	Сущность
Что определять?	Ответ обуславливает выбор объекта индикации (индиката)
Где определять?	Ответ обуславливает выбор способа и масштаба индикации
Чем определять?	Ответ определяет выбор конкретного индикатора и включает поиск и доказательства однозначной связи индикатора и индиката
Как определять?	Ответ связан с разработкой индикационной шкалы, в которой показатели индикатора однозначно привязываются к исследуемым параметрам (показателям индиката)
Насколько точно определять?	Ответ обуславливает определение вероятности ошибки и точности биоиндикации

Общие требования к биоиндикации

- 1) методы биоиндикации должны быть проще и доступнее соответствующих инструментальных методов исследования экосистем, выбор индикаторов и оценка могут сопровождаться сложными расчётами, но сами индикаторы должны быть максимально простыми и интуитивно понятными;
- 2) методы биоиндикации должны быть не менее информативными и наглядными, чем соответствующие инструментальные методы;
- 3) методы биоиндикации должны быть не менее оперативными, чем соответствующие инструментальные методы;
- 4) методы биоиндикации должны использоваться на всех уровнях организации экосистем;
- 5) методика биоиндикации не должна иметь несколько толкований, должна быть достаточно стандартизированной, а также проверяемой, и при этом сопоставимой с требованиями экологического мониторинга;
- 6) результаты биоиндикации должны быть достаточно точными и достоверными (безусловно, инструментальные методы будут точнее, но простота и оперативность получения результатов методами биоиндикации должна нивелировать меньшую точность), при этом результаты биоиндикации должны быть научно обоснованными и обеспечивать возможность их экстраполяции и прогнозирования.

Общие принципы биоиндикации

1. Высокая скорость оценки и лёгкость её выполнения.
2. Чувствительность к колебаниям определяемых параметров и получение воспроизводимых точных результатов.
3. Достаточно высокая численность индикатора, его однородность и достаточно широкая распространённость в разных географических и экологических условиях. Т.е. индикатор не должен быть малочисленным, редко встречающимся и иметь высокую изменчивость.
4. Индикатор должен давать возможность количественной оценки исследуемого признака.
5. Диапазон ошибки биоиндикации по сравнению с другими методами не должен быть выше 20%.

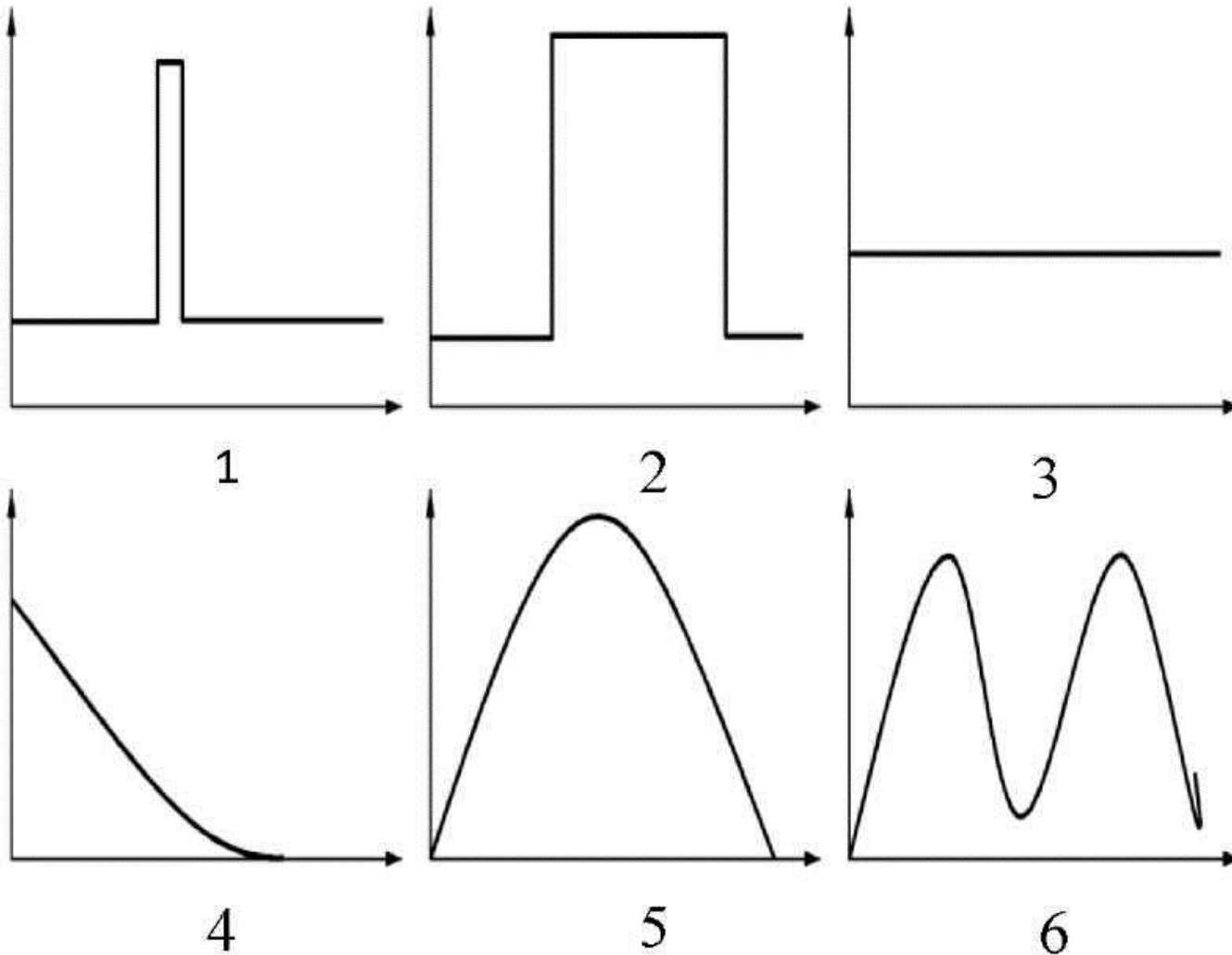
Общие принципы фито-, альго-, лихено-, бриоиндикации

1. Фитоиндикатор должен быть простым и интуитивно понятным.
2. Методика должна быть научно валидной, не занимать много времени в полевых условиях, легко повторяться и отталкиваться от принятых ботанических описаний растительности.
3. Методика должна характеризовать не только текущее состояние окружающей среды, но и быть прогностической.
4. Индикаторы должны быть достаточно гибкими, т.е. используемыми в различных экологических и географических условиях.
5. Индикаторы должны иметь однозначный уровень применения (пространственную обусловленность) - глобальный, региональный или локальный: интерпретация индикаторов не должны выходить за рамки определённого уровня.

Классификация биоиндикаторов

Индикаторы	Сущность
специфические	реагируют только на один конкретный фактор
неспецифические	реагируют на комплекс факторов
прямые	реагируют непосредственно на изменение фактора
косвенные	реагируют на изменение фактора, связанного с исследуемым
активные	реагируют на изменение исследуемого признака появлением или исчезновением
пассивные	реагируют на изменение исследуемого признака изменением морфологии, анатомии или физиологических процессов
аккумулятивные	реагируют на изменение фактора накоплением химических элементов или соединений, пластических веществ или иных продуктов жизнедеятельности
прогностические	указывают на направление и характер динамики экосистемы
диагностические	указывают на определённое состояние окружающей среды или экосистемы
макроскопические	ответная реакция видна невооружённым глазом
микроскопические	

Чувствительность биоиндикаторов



Чувствительность биоиндикаторов

1. Индикатор реагирует спустя некоторое время после изменения признака, реакция одноразовая резкая и максимальная, с быстрым спадом до первоначального уровня.
2. Индикатор реагирует спустя некоторое время после изменения признака, реакция резкая и максимальная, длящаяся достаточно долгое время с последующим спадом до первоначального уровня.
3. Индикатор после изменения признака реагирует резко и сразу же, реакция длится с одинаковым характером проявления в течение длительного времени.
4. Индикатор после изменения признака реагирует резко и сразу же, после чего интенсивность реакции постепенно спадает до первоначального уровня.
5. Реакция постепенно нарастает со временем, достигая максимального значения, после чего постепенно спадает до первоначального уровня.
6. Ответная реакция характеризуется колебательными изменениями с повторяющимися циклами нарастания и спада.

Классификация биоиндикаторов зависимости от индикаторных признаков и целей биоиндикации

1. Индикаторы экосистемные.

- Сигнализаторы - виды, сигнализирующие о нетипичных для них условиях местообитания, как правило это виды в экстремальных условиях.
- Детекторы - виды, характерные для определённых условий местообитания, чётко и однозначно реагирующие на их изменения.
- Ключевые индикаторы - виды, появляющиеся на определённых стадиях сукцессии и исчезающие, когда стадия сменяется другой.
- Индикаторы деградации - виды, появляющиеся при катастрофических нарушениях экосистем.

2. Индикаторы факторные.

- Пользователи - индикаторы

появления какого-либо фактора, например, химического вещества.

- Аккумуляторы - накопители каких-либо химических веществ и соединений в своём организме.
- Биотесты - виды, использующиеся в качестве тестовых систем для оценки состояния окружающей среды.

3. Индикаторы здоровья.

- Индикаторы оценки асимметрии - виды, использующиеся для оценки отклонений признаков (например, морфологических) в результате действия факторов среды.
- Индикаторы оценки роста - виды, размер или масса которых реагируют на действия факторов среды.

Признаки, используемые при биоиндикации

1. Наличие или отсутствие видов - анализируется по видовым спискам.
2. Соотношения между таксонами (родами, семействами, классами и т.д.) организмов.
3. Соотношения между численностями организмов (числом особей, обилием, проективным покрытием) в экосистеме или на разных трофических уровнях.
4. Концентрация химических веществ или соединений в организмах.
5. Показатели процессов жизнедеятельности:
 - прирост,
 - продуктивность,
 - рождаемость и смертность,
 - выживаемость.
6. Комплексные показатели:
 - отношение дыхания к продуктивности,
 - отношение продуктивности к биомассе,
 - отношение продуцентов к консументам.
7. Холистические показатели, например, характеристики биоразнообразия.

На основе этих показателей часто составляют шкалы, рассчитывают различные индексы, служащие количественной мерой при биоиндикации. При этом индексы могут основываться на показателях числа индикаторных видов, типах экологических стратегий, биоразнообразии, биомассе и численности, комплексе этих показателей.

Биотесты

- Биотесты - организмы, которые искусственно помещают в экосистемы для оценки исследуемых параметров окружающей среды или используют в лабораториях для оценки отдельных составляющих среды (вода, атмосферный воздух, почва и т.д.).
- Чаще всего биотесты используют в качестве экспресс-методов оценки санитарного состояния.
- Как биотесты могут использоваться:
 - микроорганизмы - инфузория-туфелька (*Paramecium caudatum*),
 - водоросли из родов *Chlorella*,
 - растения - плевел многолетний (*Lolium perenne*), кресс-салат (*Lepidium sativum*), овёс посевной (*Avena sativa*)

