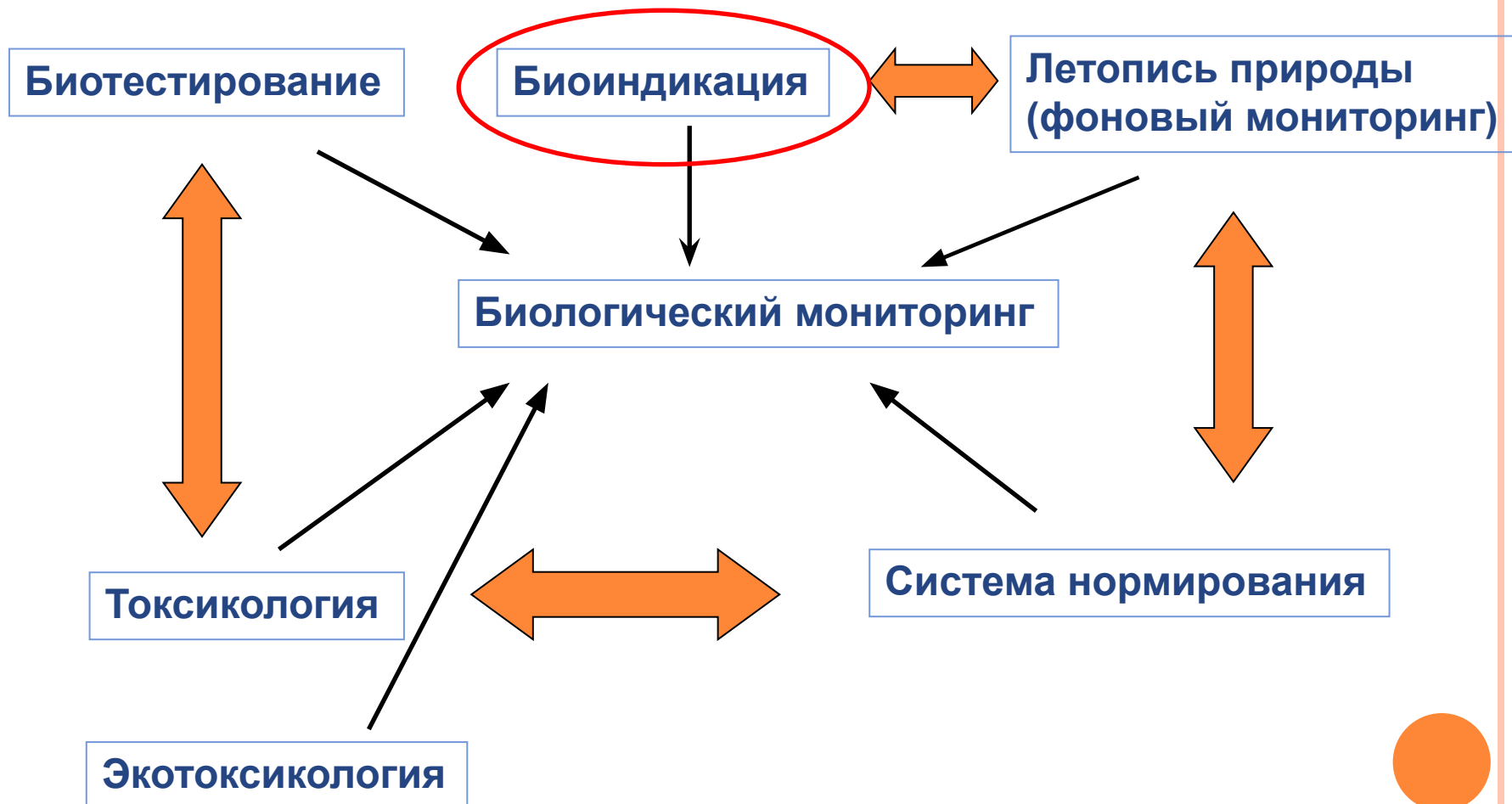




Дисциплина
«БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ»

Лекция № 5. Методы и основы биоиндикации

Структура биологического мониторинга



Наиболее часто цитируемой и, в то же время, наиболее идеологически расплывчатой областью экологии является некоторая совокупность методов, называемая “биоиндикацией” (Шитиков с соавт., 2003).

Биоиндикация – совокупность методов и критериев оценки качества среды обитания на основе реакций живых организмов и их сообществ в естественных условиях.

Биоиндикация – определение и обнаружение биологически значимых антропогенных нагрузок на основании реакции на них живых организмов непосредственно в среде их обитания.

Биоиндикация – метод обнаружения и оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем.

Биоиндикация - оценка качества среды обитания и ее отдельных характеристик по состоянию ее биоты в природных условиях.

Биоиндикация – метод определения качества среды обитания организмов по видовому составу и показателям количественного развития видов биоиндикаторов и структуре образуемых ими сообществ.

Биоиндикация – это оценка качества среды по состоянию тех или иных представителей ее населения – биоты, осуществляемая путем наблюдения за ними, без активного (экспериментального) вмешательства в природные процессы.



Ключевые положения

1. **Биоиндикация – область и Экологии и Биологического мониторинга**
2. **Оценивается Качество среды обитания и Факторы среды обитания**
3. **В качестве оценочного параметра используется Реакция живых организмов**
4. **Оценка реальной ситуации, а не эксперимент***

* - активная биоиндикация



Биоиндикация как наука?

- специальная терминология
- специальные законы

Экология
Общая теория систем,
Системная экология/биология

Экосистема / окружающая среда



- Информация об объекте системы
- **Информация о системе**

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



Проблемы биоиндикации



Многообразие естественных факторов



Многообразие антропогенных факторов

Экосистема / окружающая среда



Разнообразие биологических переменных характеризующих биоиндикатор

- специфические реакции
- неспецифические реакции



Разнообразие критериев качества среды



Задача биоиндикации – плохо формализуемая, по причине

1. существенной многомерностью факторов среды и измеряемых параметров экосистем;
2. сильной взаимообусловленностью всего комплекса измеренных переменных, не позволяющей выделить в чистом виде функциональную связь двух индивидуальных показателей $F(y,x)$;
3. нестационарностью большей части информации об объектах и среде;
4. трудоемкостью проведения всего комплекса измерений в единых координатах пространства и времени, в результате чего обрабатываемые данные имеют обширные пропуски.

Пути решения

1. сформированы банки многолетних данных по наблюдениям за природными экосистемами;
2. разработан и апробирован ряд методов и математических моделей интегральной оценки состояния сложных систем различного типа, позволяющих, по терминологии А.П. Левича и А.Т.Терехина [1997], осуществлять “поиск детерминации и распознавание образов в многомерном пространстве экологических факторов для выделения границ между областями нормального и патологического функционирования экосистем”;
3. развиваются аппаратные и программные информационные компьютерные технологии, позволяющие анализировать необходимые массивы экологических данных;
4. существует огромный объем неформальных знаний высококвалифицированных специалистов, частично сконцентрированный в методических разработках [Экологический мониторинг., 1995; Мокров, Гелашвили, 1999].

Истоки биоиндикации

Краткий исторический очерк развития биоиндикации

Период	Авторы	Направление исследований
234-149 гг. до н. э.	Катон Старший	Выбор участков, пригодные для посева культур бобовых по густоте травостоя до перепашки;
36-29 гг. до н.э.	Вергилий	Каменистость и расчлененный рельеф указывают на территории, пригодные для возделывания маслин; заросли папоротников типичны для земель, осваиваемых под виноградники
24-79 гг. до н.э.	Плиний Старший	Признаки плодородия почвы по характеру растительности
I в. до н. э.	римский агроном Колумелла	Определение свойств почвы по листве деревьев и травам; выбор участков для посадок винограда по диким растениям;
	римский инженер Витрувий	Признаки присутствия воды в породах по растениям
XVII-XVIII вв	Гумбольдт	Зонально-климатическое распределение растительности
XIX в	Унгер (1838)	Индикационный характер изучения географии растений - растения на кальцефилы и силицифилы; три группы растений: почвобезразличные, почвопредпочитающие, почвопостоянные.
	Гризебах (1872)	Составление карт климатов по ботаническим данным
	Карпинский (1841)	Учение о комплексных индикаторах - растительных сообществах; схемы растений-индикаторов горных пород;
	Рупрехта (1866) Краснов (1888) Аболин (1910)	Учение о формациях как организованных группах растений, приуроченных к определенным, им свойственным, почвам и климату.

Первое направление работ по биоиндикации – утилитарные работы, в области общей экологии. Биоиндикаторы как дешевый аналог аналитического прибора. Внимание на факторах антропогенной природы не акцентируется.

2.2. 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. Например, на содержание в почве свинца указывают виды овсяницы (*Festuca ovina* и др.), полевицы (*Agrostis tenuis* и др.); цинка — виды фиалки (*Viola tricolor* и др.), ярутки (*Traspi alpestre* и др.); меди и кобальта — смолевки (*Silene vulgaris* и др.), многие злаки и мхи.

...Белка низко гнездо строит - быть морозной зиме, высоко -жди теплой погоды...

...Если рано утром пчелы дружно отправляются на медосбор - будет ясный день, сидят на прилетных досках - быть дождю...

Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др.; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 288 с.



Второе направление работ по биоиндикации – описание фактического состояния биологического объекта, с нечеткой привязкой к факторам антропогенной природы. В качестве меры сравнения часто используется фон.

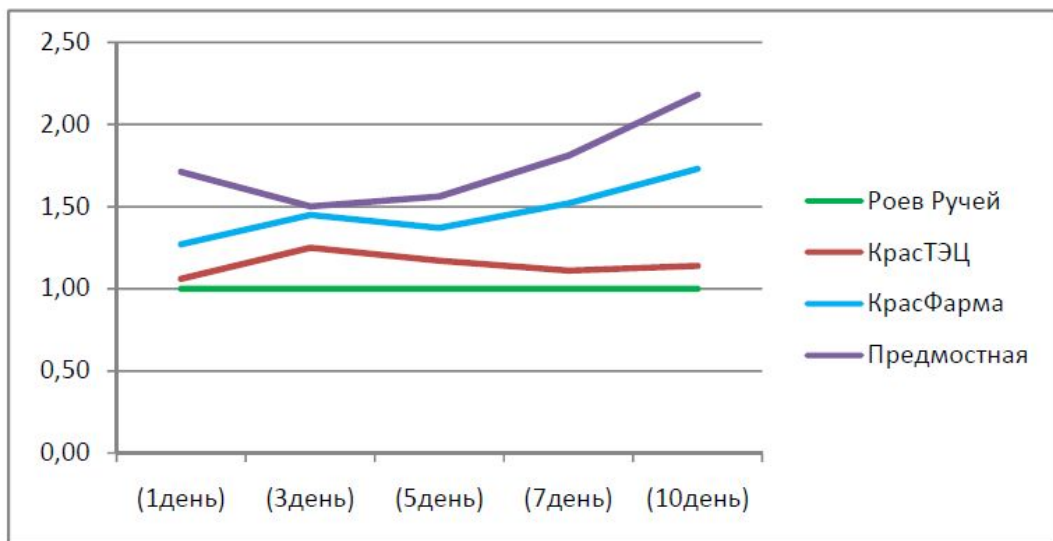
**БИОИНДИКАЦИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА**

Фидельская К.В.

Научный руководитель - к. б. н., доцент Сорокина Г.А.

Сибирский федеральный университет

Образцы отбирались в пределах г. Красноярска с четырёх пробных площадок (ПП), разных по уровню атмосферного загрязнения, три из которых являются территориями, подверженными группам загрязнителей достаточно специфичных, ввиду расположения на них промышленных предприятий: р-н. КрасТЭЦ (зона сильного промышленного загрязнения), Свердловский р-н, прилегающая территория завода медицинских препаратов «КрасФарма» (интенсивные выбросы биологических загрязнителей) и р-н Предмостной площади (интенсивные выбросы выхлопных газов автомобильного транспорта). В качестве чистого (контрольного) района взята территория парка «Роев ручей».



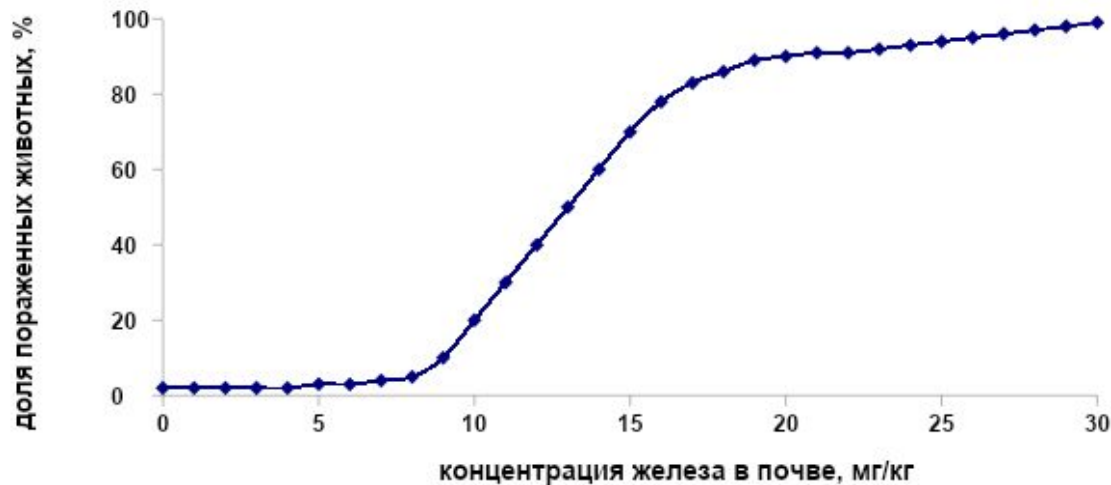
Таким образом, введение расчетного параметра А позволяет количественно оценить сравнительный уровень загрязнения атмосферы в разных районах города, что **позволяет** эффективно использовать метод регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции для биоиндикации.

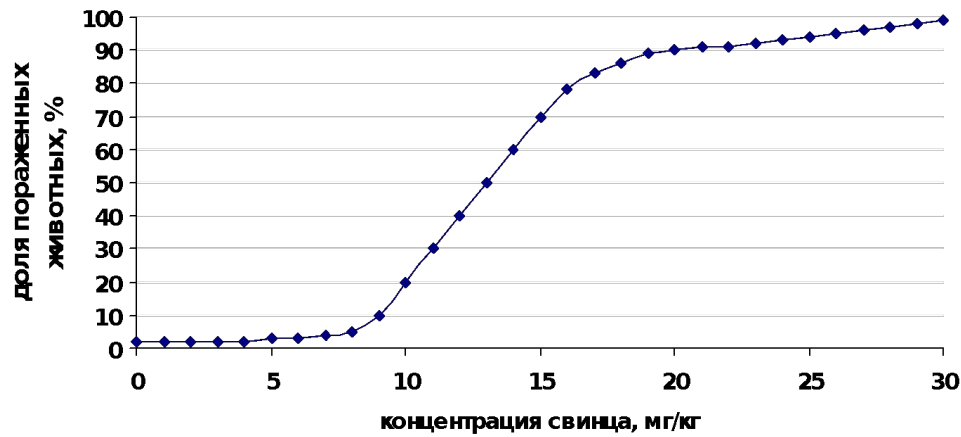
Рис.1 Величина параметра А в период выхода тополя бальзамического состояния покоя в лабораторных условиях.

Третье направление работ по биоиндикации – описание функциональной связи между биологической переменной и фактором / факторами

1. Выделение одного или нескольких факторов среды
2. Сбор полевых данных биоты в широком диапазоне варьирования исследуемого фактора
3. Оценка индикаторной значимости вида или группы видов

Состояние биологического объекта, Y	y1	y2	y3	y4
Состояние фактора, X	x1	x2	x3	x4

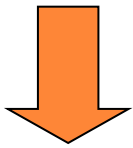




Изучение взаимосвязи – доза-эффект

Токсикология

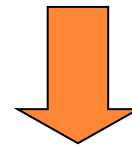
Возможность моделирования,
 Возможность оценки доза-эффект,
 Отсутствие экологического реализма



ПДК

Биоиндикация

Сложности в формализации,
 Сложности оценки доза-эффект,
 Полный экологический реализм



ЭДУ (экологически допустимые уровни воздействия)



Четвертое направление работ по биоиндикации – разработка нормативов качества среды на основе априорных суждений или/и выявленной взаимосвязи между факторами и реакцией биоиндикаторов.

Пятое направление работ по биоиндикации – оценка качества среды по разработанным нормативам

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Микробиологические показатели			Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)	Градации по В.А. Яковлеву [1988] индекса видового разнообразия Шеннона
		По фитопланктону, зоопланктону, перифитону	По зообентосу		Общее количество бактерий, 10^6 кл/см ³ (кл/мл)	Количество сапрофитных бактерий, 10^3 кл/см ³ (кл/мл)	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий, 10^3 кл/см ³ (кл/мл)		
		Индекс сапробности по Пангелю и Букву (в модификации Сладкеча)	Отклонение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Буди-киссу, баллы					
I	Очень чистые	Менее 1.00	1 - 20	10	Менее 0.5	Менее 0.5	Более 10^3	Менее 0.3	>2
II	Чистые	1.00 - 1.50	21 - 35	7 - 9	0.5 - 1.0	0.5 - 5.0		0.3 - 1.0	>2
III	Умеренно загрязненные	1.51 - 2.50	36 - 50	5 - 6	1.1 - 3.0	5.1 - 10.0	$10^3 - 10^2$	1.0 - 2.5	>2
IV	Загрязненные	2.51 - 3.50	51 - 65	4	3.1 - 5.0	10.1 - 50.0	Менее 10^2	2.5 - 4.0	1.0 - 2.0
V	Грязные	3.51 - 4.00	66 - 85	2 - 3	5.1 - 10.0	50.1 - 100.0		4.0 - 6.0	0 - 1.0
VI	Очень грязные	Более 4.00	86 - 100 или макробентос отсутствует	0 - 1	Более 10.0	Более 100.0		6.0 - 10.0	0

"Правила контроля качества воды водосливов и водотоков" [ГОСТ 17.1.3.07-82]



Методы экологического мониторинга

Физико-химические методы мониторинга

Оценка физико-химических факторов

1. Возможность непосредственного контроля источника загрязнения
2. Ясность в постановки задачи и интерпретации результатов мониторинга
3. Получение результатов в четких количественных единицах
4. Высокая точность измерения показателей
5. Возможность автоматизации процесса получения данных

Биоиндикация

Оценка реакции биологических объектов

1. Возможность оценки воздействия неизученных, трудно-обнаружимых веществ или веществ, в данный момент не присутствующих в биоте.
2. Возможность оценки крайне малых доз веществ
3. Возможность оценки эффектов синергизма и антагонизма, комплекса факторов
4. Относительная дешевизна методов



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

Биологические переменные – любой признак, свойство или функция организма (биоиндикатора), популяции, экосистемы

Уровни	Ступени		
	Молекулярно-клеточная	Организменная	Надорганизменная
Низший	Молекулы одного класса	Ткани	Популяции
Средний	Органоиды, клетки	Органы, их системы	Биоценотические комплексы
Высший	Клетки	Организмы	Биоценозы

Чем ниже ранг биологической переменной, используемой в качестве биоиндикатора, тем более частными и специфичными могут быть выводы о воздействиях факторов среды, и наоборот.



Действие поражающего вещества (фактора)

Острое

Хроническое

Чувствительный
биоиндикатор

Материальная
кумуляция

Функциональная
кумуляция

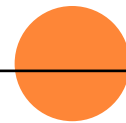
Кумулятивный
биоиндикатор



Принципы выбора биоиндикаторов (биологических переменных)

1. Фундаментальность биологического воздействия
2. Эффективность биологических измерений
3. Экономическая целесообразность

Фундаментальность биологического воздействия	Эффективность биологических измерений
Существование связи между переменной и переменными роста, воспроизводства, выживаемости особей, популяции и экосистемы	Характер связи отклика переменной с действующим загрязнением
Характер связи между переменной и откликами на высшем и низшем уровнях	Интенсивность действующего фактора, вызывающего наблюдаемый отклик переменной
Специфичность отклика к фактору, его вызывавшему	Пределы изменения величины действующего фактора, вызывающие наблюдаемый эффект
Возможность возврата переменной к своему первоначальному значению после прекращения действия вызвавшего его фактора	Величина отрезка времени, в течение которого формируется отклик
	Легкость обнаружения превышения сигнала над природным фоном
	Точность измерения отклика



Характер связи отклика переменной с действующим загрязнением

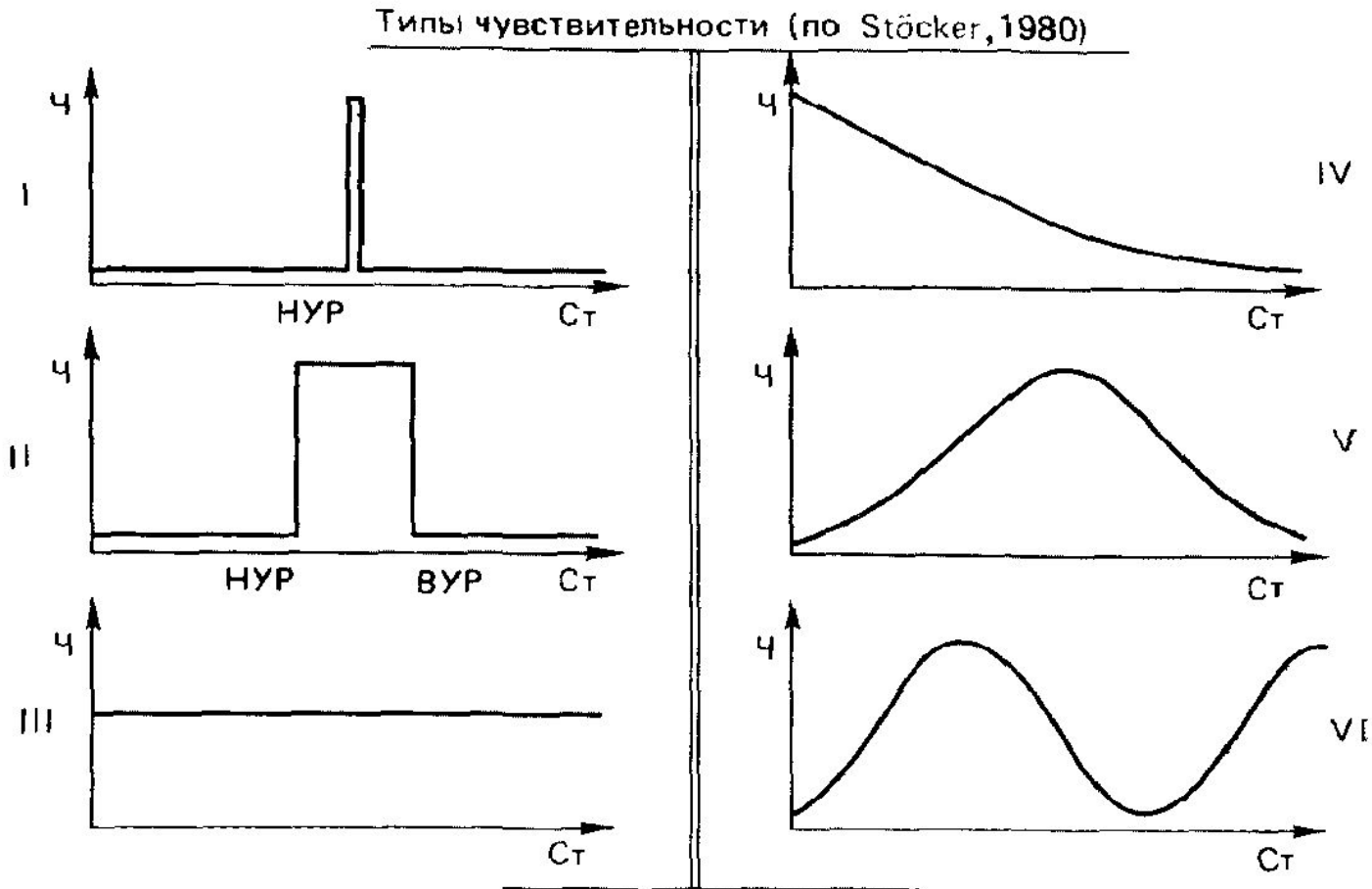


РИС. 1.4. Типы биоиндикации в зависимости от развития реакции во времени (по Stöcker из Schubert, 1984): НУР — ниже уровня реакции; ВУР — выше уровня реакции; Ст — стрессор; Ч — чувствительность

Критерии отбора биоиндикаторов:

- быть типичным для данных условий;
- иметь высокую численность в исследуемом экотопе;
- обитать в данном месте в течение ряда лет, что даёт 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.



Организм и суборганизменные структуры

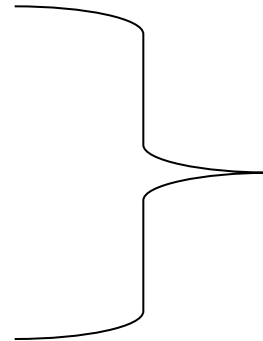
- химический состав клеток;
- состав, структура и степень функциональной активности ферментов;
- структурно-функциональные характеристики клеточных органоидов;
- размеры клеток, их морфологические характеристики, уровень активности;
- гистологические показатели;
- концентрации поллютантов в тканях и органах (кумулятивные биоиндикаторы);
- частота и характер мутаций, канцерогенеза, уродств;
- физиологические и анатомические показатели организма



Оценка стабильности развития (гомеостаз) живых организмов

Стабильность:

- Морфологическая
- Генетическая
- Физиологическая
- Биохимическая
- Иммунологическая

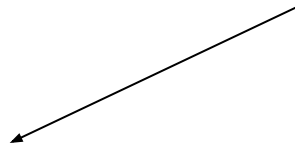


Фоновый мониторинг

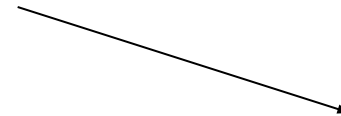


Локальный мониторинг

Оценка стабильности морфологического развития (наиболее простой и оперативный подход)



Определение величины флюктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков (Захаров и др., 2000).



Определение частоты появления фенотипических отклонений в развитии



Популяции

Статические характеристики (в момент времени t)

Численность (общее число особей в популяции)
Плотность (число особей в единице объема или на единице площади)
Биомасса (суммарная масса особей в единице объема или на единице площади)
Средняя масса особи (соотношение биомассы и плотности (простейшая характеристика размерно-весовой структуры))
Соотношение плотности особей разного пола (простейшая характеристика половой структуры популяции)
Показатели неравномерности пространственного распределения особей



Динамические характеристики (за период времени $\Delta t = t_2 - t_1$)

Скорость абсолютного изменения популяционной плотности и биомассы

Скорость относительного изменения популяционной плотности биомассы популяции

Удельная смертность и рождаемость

Реализуемая доля «биотического потенциала» вида (соотношение максимального значения рождаемости, реализуемого изучаемой популяцией, и «биотического потенциала» вида, т.е. максимального значения рождаемости, реализуемого данным видом в идеальных условиях)

Продукция популяции

Скорость продуцирования популяции



Многовидовые биосистемы

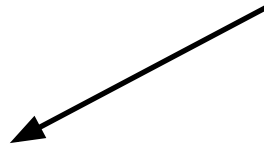
Экосистемы



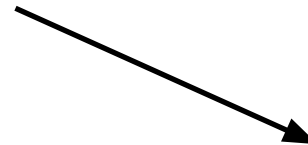
Сообщества

(планктон, бентос, почвенная фауна, фитоценоз и др.)

Биоиндикаторные показатели сообщества



**Структурные,
статические**



**Функциональные,
динамические**

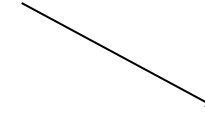
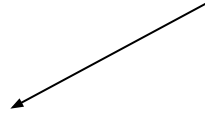


Структурные и статические показатели сообщества

- **Видовое разнообразие** (количество видов в сообществе);
- Показатели обилия (численность и биомасса);
- Соотношение суммарных показателей обилия:
 - видов (видовое разнообразие) или более крупных таксонов;
 - представителей разных стратегий питания (трофическая структура);
 - особей с разными размерами, массой (размерно-весовая структура);
 - видов с различными ценотическими стратегиями (например, *r*- и *K*-стратегов; виолентов, пациентов и эксплерентов);
 - видов с разной чувствительностью к воздействиям (эври- и стенобионтов);
 - видов с разным поведением.



Функциональные и динамические показатели сообщества



Эколого-физиологические показатели сообщества

Траты на обмен сообщества (или экосистемы)

$$R = \sum_{j=1}^N R_j$$

Первичная продукция

Вторичная продукция

Соотношения продукции,
деструкции и биомассы

P/V и P/R-коэффициенты

Показатели динамики статических характеристик сообщества

- изменение какой-либо статической характеристики X (плотности, биомассы сообщества, индексов разнообразия)
 $\Delta X_{\Delta t} = X_2 - X_1$ за изучаемый период времени $\Delta t = t_2 - t_1$;
- скорость абсолютного изменения значений статической характеристики $dX/dt \approx (X_2 - X_1)\Delta t^{-1}$ в момент времени t ;
- скорость относительного изменения значений статической характеристики $rX = (dX/dt)$

