

ФГБОУ ВПО «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра биологии, экологии и природопользования**

**Е.В. Рассадина, Е.Г. Климентова**

**БИОДИАГНОСТИКА И ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ**

**Ульяновск**

**2016**

УДК 579.26:631.45

Р 24

Биодиагностика и индикация почв: учебно-методическое пособие /Е.В. Рассадина, Е.Г. Климентова. – Ульяновск: УлГУ, 2016. – 186 с.

*Рецензенты:*

**Митрофанова Н.А.**- доцент кафедры лесного хозяйства УлГУ, кандидат биологических наук.

**Спирина Е.В.** – доцент кафедры ФГБОУ ВПО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», кандидат биологических наук.

*Авторы:*

**Рассадина Е.В.** – доцент кафедры биологии, экологии и природопользования УлГУ, кандидат биологических наук.

**Климентова Е.Г.** – доцент кафедры биологии, экологии и природопользования УлГУ, кандидат биологических наук.

В учебно-методическом пособии изложены теоретические основы и методология биодиагностики и индикации почв. Входящие в пособие примеры лабораторных занятий содержат современные методы активного обучения. Реализует общий (базовый) уровень обучения методологии биодиагностики и индикации почв и решает задачи формирования у студентов практических экологических знаний, освоения методов анализа антропогенной нагрузки на разных уровнях рассмотрения – глобальном, региональном и локальном. В пособие включена информация, расширяющая и углубляющая содержательные блоки (дополнительная информация по разделам).

Пособие предлагается использовать при проведении лекционных и семинарских занятий в высших учебных заведениях у студентов специальностей и направлений бакалавриата биолого-экологической направленности, а также для студентов других специальностей и направлений бакалавриата в рамках изучаемого ими учебного курса «Биодиагностика и индикация почв».

Пособие предназначено для студентов специальностей и направлений бакалавриата «почвоведение», «экология и природопользование», «биология», «химия», «лесное хозяйство» высших учебных заведений.

Издается по решению учебно-методического совета ИМЭиФК Ульяновского государственного университета

## Содержание

Введение .....	5
Раздел I Лекционный курс .....	6
Лекция 1. Общие вопросы биоиндикации и биомониторинга .....	6
Лекция 2. Биоиндикация на разных уровнях организации живого .....	30
Лекция 3. Биоиндикация в различных средах .....	48
Лекция 4. Причины и виды загрязнения почвы и их биоиндикация .....	59
Лекция 5. Фитоиндикация и диагностика почв .....	73
Лекция 6. Альгодиагностика и индикация почв .....	80
Лекция 7. Микробиологическая и биохимическая диагностика и индикация почв .....	85
Лекция 8. Зоодиагностика и индикация почв .....	92
Лекция 9. Биодиагностика и индикация антропогенно-нарушенных почв .....	99
Лекция 10. Здоровье среды: методика оценки .....	101
Раздел II Лабораторные работы .....	138
Лабораторная работа №1 Оценка солевого загрязнения почвы по листьям липы .....	138
Лабораторная работа №2. Индикация состояния среды по частотам встречаемости фенов белого клевера .....	140
Лабораторная работа №3. Биоиндикация состояния почв по наличию тех или иных видов растений .....	142
Лабораторная работа №4. Фитоиндикация избыточного содержания некоторых химических элементов в почве .....	145
Лабораторная работа №5. Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха .....	148
Лабораторная работа №6. Методики оценки стабильности развития и флуктуирующая асимметрия .....	150
Лабораторная работа №7. Определение содержания нитратов в растениях ....	155

Лабораторная работа №8. Определение содержания свинца и кадмия в листьях растений.....	158
Лабораторная работа №9. Насекомые как биоиндикатор качества среды.....	159
Лабораторная работа №10. Лихеноиндикация рекреационной нагрузки на пригородные биоценозы .....	161
Лабораторная работа №11. Исследование почвы на содержание беспозвоночных животных .....	166
Лабораторная работа №12. Анализ насыщенности почвы микроорганизмами .....	168
Лабораторная работа №13. Определение в почве радиоактивных веществ методом биоиндикации.....	169
Тесты.....	171
Примерный перечень вопросов к экзамену .....	180
Словарь используемых терминов .....	183
Библиографический список.....	185

## **ВВЕДЕНИЕ**

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

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

В основе принципа биологической диагностики и индикации почв лежит представление о том, что почва является средой обитания популяций разных организмов и составляет с ними единую систему. В зависимости от сочетания природных факторов, определяющих почвообразовательный процесс, разные почвы различаются по составу своей биоты, направленности биохимических превращений и содержанию продуктов этих превращений. Этот принцип был положен в основу учения о почве и биологических факторах почвообразования, созданного В.В. Докучаевым, П.А. и С.П. Костычевыми, В.Н. Сукачевым и др.

Использование биологических методов диагностики антропогенных нарушений, связано, прежде всего, с быстрой реакцией организмов на любые отклонения в окружающей среде от нормы. Кроме того, такая реакция позволяет оценить антропогенное воздействие в показателях, имеющих биологическое значение. Только изучив процессы, происходящие в различных биологических системах, возможно сформировать окружающую среду, гарантирующую охрану здоровья людей, возможность длительного использования природных ресурсов и предотвращение потерь лесной и сельскохозяйственной продукции, сохранение всего многообразия окружающей среды.

Цель биологической диагностики и индикации почв - использование отдельных видов организмов или их сообществ, а также активных метаболитов для характеристики почвы как среды их обитания.

## Раздел I Лекционный курс

### Лекция 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БИОИНДИКАЦИИ И БИОМОНИТОРИНГА

План:

1. Биомониторинг
2. Биоиндикация
3. Формы биоиндикации
4. Биоиндикаторы
5. «Контроль» в биоиндикации

-1-

Организм и окружающая его внешняя среда находятся в динамическом равновесии. Под воздействием загрязнения происходит изменение физических и химических характеристик среды, что ведет к нарушению динамического равновесия природных экосистем. Такая ситуация делает особо важными исследования, позволяющие определить качество или здоровье среды, степень её комфортности для живых организмов. Одним из современных и наиболее перспективных методов оценки качества среды является биоиндикация, которая позволяет дать интегральную оценку ситуации, так как живые организмы реагируют на все воздействия окружающей среды.

Биотестирование токсичности среды коренным образом отличается от ее химического анализа. В.М. Ахутин и др. (1988) отмечают, что биотестирование чувствительнее обычных физико-химических методов в десятки раз. Основное назначение биотестирования – быстрая интегральная оценка экологической ситуации.

При химическом анализе в экологических исследованиях выявление вредных веществ в воде не расшифровывает влияния поллютантов на биологические системы. При биоиндикации можно выявить результирующие накопления в организме токсических веществ, которые могут находиться в воде в сле-

довых количествах, а со временем накапливаться в тканях и органах, концентрируясь в них.

Еще одно преимущество биоиндикаторов – прямой учет влияния вредных веществ на биосистемы. Мониторинг загрязнения среды с использованием биоиндикации позволяет не только констатировать наличие токсикантов в среде, но и оценить последствия такого воздействия на биоту.

Биоиндикация дает возможность выявить степень и интенсивность воздействия того или иного загрязнителя, а также проследить динамику деградации экосистем во времени и пространстве. Наконец, реакции живого организма позволяют оценить антропогенное воздействие на среду обитания в показателях, которые часто могут быть экстраполированы на человека.

Конечно, с помощью биоиндикации невозможно выявить качественный состав загрязнителей и негативных факторов, но можно сравнительно быстро и точно определять степень загрязнения водотоков, и при необходимости, провести в дальнейшем детальное исследование.

Преимущества использования биоиндикаторов ещё и в том, что они реагируют не только на отдельные загрязнители, но и на весь комплекс воздействующих веществ определенными реакциями организма в целом. А влияние комплекса загрязнителей на живые организмы может сильно отличаться от влияния каждого загрязняющего вещества в отдельности. Для локальных оперативных исследований предпочтительней использовать виды животных, которые характеризуются массовостью в природе, доступностью для оперативной оценки и диагностики, обладают реагентными и индикаторными свойствами.

Поскольку оценка качества почвы, воды и воздуха приобретает в настоящее время жизненно важное значение, необходимо определять как реально существующую, так и возможную в будущем степень нарушения окружающей среды. Для этой цели используют два принципиально разных подхода: физико-химический и биологический. Биологический подход развивается в рамках направления, которое получило название биоиндикации и биомониторинга.

Биомониторинг является составной частью экологического мониторинга -

слежения за состоянием окружающей среды по физическим, химическим и биологическим показателям [1]. В задачи биомониторинга входит регулярно проводимая оценка качества окружающей среды с помощью специально выбранных для этой цели живых объектов.

Лучше других отработана система биомониторинга водной среды. Росгидромет использует классификатор качества вод, включающий шесть классов. Оценивают показатели донных беспозвоночных, перифитона (обитатели водных растений), фито-, зоо- и бактериопланктона. Для примера приведем табл. 1 классификации качества вод суши по показателям зообентоса [2]:

Таблица 1. Классификация качества вод суши по биопоказателям

Класс вид	Воды	Относительная численность олигохет от общего количества зообентоса, %	Биотический индекс Вудивисса
1	Очень чистые	1-20	10-8
2	Чистые	21-35	7-5
3	Умеренно загрязненные	36-50	4-3
4	Загрязненные	51-65	2-1
5	Грязные	66-85	1-0
6	Очень грязные	86-100 или макробентос отсутствует	0

В 1990 г. экономическая комиссия Европы под эгидой ООН приняла программу интегрированного мониторинга (1М) окружающей среды по следующим группам показателей (в скобках указано их количество): общая метеорология (6), химизм воздуха (3), химизм почвенных и подземных вод (4), химизм поверхностных вод (4), почва (6), биологические показатели (11).

Среди отслеживаемых показателей видное место заняли биологические

индикаторы: эпифитные лишайники, напочвенная растительность, кустарниковая и древесная растительность, проективное покрытие деревьев, биомасса деревьев, химический состав хвойных игл, микроэлементы в хвое, почвенные ферменты, микориза, скорость разложения растительных остатков и один из прочих методов биомониторинга по выбору.

На территории бывшего СССР было намечено шесть площадей для проведения регионального мониторинга по перечисленным выше биологическим показателям.

Наиболее развиты системы регионального мониторинга в Германии и Нидерландах.

Для примера рассмотрим одну из систем биомониторинга, принятую в Германии (земля Баден-Вюртемберг). Она предполагает оценку следующих показателей:

- степени дефолиации (преждевременной потери листвы) бука, ели и пихты;
- состава поллютантов в листьях и хвое;
- сукцессии (закономерной смены) травянистой растительности;
- жизненности травостоя и содержания в нем поллютантов;
- площади покрытия эпифитных лишайников;
- численности коллембол (мелких почвенных членистоногих) и наземных моллюсков;
- аккумуляции поллютантов в дождевых червях.

Результаты мониторинга представляют в виде таблиц и графиков. К числу удачных способов относится метод «Амебы» [3]. Рисуют круг, который делят линиями на равные секторы по числу измеряемых показателей. Линия окружности означает их нормальные значения. Показатели могут быть химическими (содержание тяжелых металлов, фосфора и т.д.), физическими (уровень грунтовых вод, мутность и пр.) и биологическими (численность, разнообразие и другие характеристики биоиндикаторов). Далее в каждом секторе закрашивают площадь, пропорциональную значениям соответствующего показателя. Линии могут выходить за пределы круга, если значения «зашкаливают», тогда у «Аме-

бы» появляются «выросты-ложноножки». Результаты мониторинга, представленные в виде ряда таких рисунков, наглядно выявляют направление «движения Амебы» и, соответственно, направление изменений в экосистеме.

-2-

**Биоиндикация** - это оценка состояния среды с помощью живых объектов. Живые объекты (или системы) - это клетки, организмы, популяции, сообщества. С их помощью может проводиться оценка как абиотических факторов (температура, влажность, кислотность, соленость, содержание поллютантов и т.д.), так и биотических (благополучие организмов, их популяций и сообществ). Термин «биоиндикация» чаще используется в европейской научной литературе, а в американской его обычно заменяют аналогичным по смыслу названием «экотоксикология».

Поскольку изменения биологических систем довольно часто могут быть обусловлены антропогенными факторами, то само понятие «биоиндикация» можно сформулировать следующим образом: *«Биоиндикация - это обнаружение и определение биологически и экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ»* (Криволицкий и соавт., 1987).

Биологические методы позволяют получать сведения о непосредственной реакции организмов, сообществ или экосистем на естественные или антропогенные изменения, поскольку биота реагирует даже на незначительные изменения внешних условий (Керженцев и др., 1984). Применение биологических методов для оценки среды подразумевает выделение видов животных или растений, чутко реагирующих на тот или иной тип воздействия. Организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки, называются **биоиндикаторами**.

С помощью биоиндикаторов можно обнаруживать места скоплений в экологических системах различного рода загрязнений; по ним можно проследить скорость происходящих в окружающей среде изменений; только по биоиндикаторам можно судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы. Жи-

вые биоиндикаторы имеют ряд преимуществ перед химическими методами оценки состояния окружающей среды, широко применяемыми в настоящее время:

- они суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом;
- в условиях хронической антропогенной нагрузки биоиндикаторы могут реагировать на очень слабые воздействия в силу аккумуляции дозы;
- исключают необходимость регистрации физических и химических параметров среды;
- делают необязательным применение дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров; живые организмы постоянно присутствуют в окружающей человека среде и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсикантов, которые можно не зарегистрировать при помощи автоматической системы контроля с периодичным отбором проб на анализы;
- фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;
- указывают пути и места скопления различного рода загрязнений в экологических системах и возможные пути попадания этих веществ в пищу человека;
- позволяют судить о степени вредности синтезированных человеком веществ для природы и человека и контролировать действие этих веществ;
- помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, различающиеся по своей устойчивости к антропогенному воздействию, так как одинаковый состав и объем загрязнений может привести к различным реакциям природных систем в разных географических зонах. Наконец, биоиндикаторы вскрывают тенденции развития окружающей среды.

Часто задают вопрос: «Почему для оценки качества среды приходится использовать живые объекты, когда это проще делать физико-химическими методами?» По мнению Ван Штраалена (1998), существуют, по крайней мере, три

случая, когда биоиндикация становится незаменимой.

1. *Фактор не может быть измерен.* Это особенно характерно для попыток реконструкции климата прошлых эпох. Так, анализ пыльцы растений в Северной Америке за длительный период показал смену теплого влажного климата сухим прохладным и далее замену лесных сообществ на травяные. В другом случае остатки диатомовых водорослей (соотношение ацидофильных и базофильных видов) позволили утверждать, что в прошлом вода в озерах Швеции имела кислую реакцию по вполне естественным причинам.

2. *Фактор трудно измерить.* Некоторые пестициды так быстро разлагаются, что не позволяют выявить их исходную концентрацию в почве. Например, инсектицид дельтаметрин активен лишь несколько часов после его распыления, в то время как его действие на фауну (жуков и пауков) прослеживается в течение нескольких недель.

3. *Фактор легко измерить, но трудно интерпретировать.* Данные о концентрации в окружающей среде различных поллютантов (если их концентрация не предельно высока) не содержат ответа на вопрос, насколько ситуация опасна для живой природы. Показатели предельно допустимой концентрации (ПДК) различных веществ разработаны лишь для человека. Однако, очевидно, эти показатели не могут быть распространены на другие живые существа. Есть более чувствительные виды, и они могут оказаться ключевыми для поддержания экосистем. С точки зрения охраны природы, важнее получить ответ на вопрос, к каким последствиям приведет та или иная концентрация загрязнителя в среде. Эту задачу и решает биоиндикация, позволяя оценить биологические последствия антропогенного изменения среды. Физические и химические методы дают качественные и количественные характеристики фактора, но лишь косвенно судят о его биологическом действии. Биоиндикация, наоборот, позволяет получить информацию о биологических последствиях изменения среды и сделать лишь косвенные выводы об особенностях самого фактора. Таким образом, при оценке состояния среды желательно сочетать физико-химические методы с биологическими.

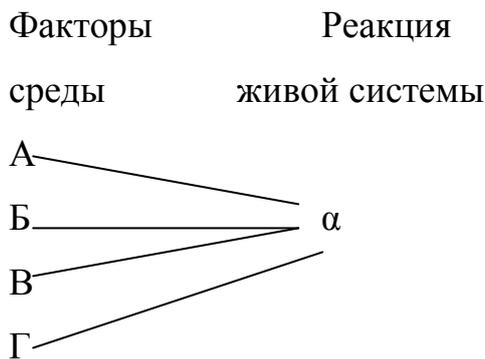
Актуальность биоиндикации обусловлена также простотой, скоростью и дешевизной определения качества среды. Например, при засолении почвы в городе листья липы по краям желтеют еще до наступления осени. Выявить такие участки можно, просто осматривая деревья. В таких случаях биоиндикация позволяет быстро обнаружить наиболее загрязненные местообитания.

-3-

Биоиндикация может быть специфической и неспецифической. В первом случае изменения живой системы можно связать только с одним фактором среды (рис. 1). Например, высокая концентрация в воздухе озона вызывает появление на листьях табака (сорта BelW3) серебристых некрозных пятен. Во втором случае различные факторы среды вызывают одну и ту же реакцию. Например, снижение численности почвенных беспозвоночных может происходить и при различных видах загрязнения почвы, и при вытаптывании, и в период засухи и по другим причинам.

#### НЕСПЕЦИФИЧЕСКАЯ

биоиндикация



#### СПЕЦИФИЧЕСКАЯ

биоиндикация

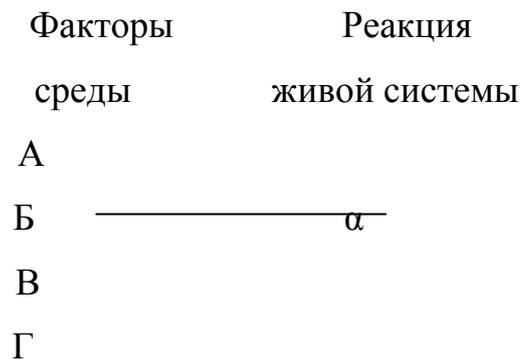
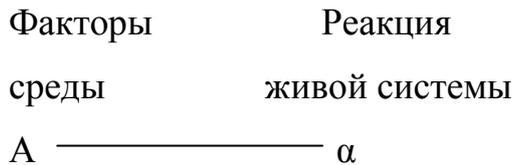


Рис. 1. Формы биоиндикации

При другом подходе различают *прямую* и *косвенную* биоиндикацию. О прямой биоиндикации говорят, когда фактор среды действует на биологический объект непосредственно (рис. 2). В описанном выше случае серебристые пятна на листьях табака возникают от прямого действия озона.

## ПРЯМАЯ БИОИНДИКАЦИЯ



## КОСВЕННАЯ БИОИНДИКАЦИЯ

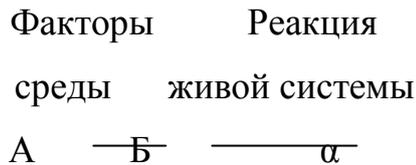


Рис. 2. Прямая и косвенная биоиндикация

При косвенной биоиндикации фактор действует через изменение других (абиотических или биотических) факторов среды. Например, применение одного из гербицидов (2,2-дихлорпропионовой кислоты) на лугу ведет к уменьшению злаков в растительном покрове (с 55 до 12%) и, соответственно, увеличению разнотравья, что может рассматриваться как прямая биоиндикация. Эти изменения растительного покрова ведут к падению численности саранчовых и росту численности тлей. Изменение в соотношении двух групп насекомых - пример косвенной биоиндикации применения гербицида.

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

По реакции на один и тот же фактор среды, выделяются следующие типы чувствительности биоиндикаторов:

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

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

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

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

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

6 тип - реакция пятого типа неоднократно повторяется.

-4-

**Биоиндикаторы** - это биологические объекты (от клеток и биологических макромолекул до экосистем и биосферы), используемые для оценки состояния среды. Когда хотят подчеркнуть то, что биоиндикаторы могут принадлежать к разным уровням организации живого, употребляют термин «биоиндикаторные системы».

**Критерии выбора биоиндикатора** [4]:

- быстрый ответ;
- надежность (ошибка <20%);
- простота;
- мониторинговые возможности (постоянно присутствующий в природе объект).

**Типы биоиндикаторов:**

1. *Чувствительный*. Быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы. Например, отклонения в поведении животных, в физиологических реакциях клеток могут быть обнаружены практически сразу после начала действия нарушающего фактора.

2. *Аккумулятивный*. Накапливает воздействия без проявляющихся нарушений. Например, лес на начальных этапах его загрязнения или вытаптывания будет прежним по своим основным характеристикам (видовому составу, разнообразию, обилию и пр.). Лишь по прошествии какого-то времени начнут исчезать редкие виды, произойдет смена преобладающих форм, изменится общая численность организмов и т.д. Таким образом, лесное сообщество как биоиндикатор не сразу обнаружит нарушение среды.

Биоиндикаторы принято описывать с помощью двух характеристик: *специфичность* и *чувствительность*.

При низкой специфичности биоиндикатор реагирует на разные факторы,

при высокой - только на один (см. примеры по специфической и неспецифической биоиндикации).

При низкой чувствительности биоиндикатор отвечает только на сильные отклонения фактора от нормы, при высокой - на незначительные.

*Тест-организмы* - это биоиндикаторы (растения и животные), которых используют для оценки качества воздуха, воды или почвы в лабораторных опытах.

Примеры тест-организмов:

- одноклеточные зеленые водоросли (хлорелла, требоуксия из лишайников и пр.);
- простейшие: инфузория-туфелька;
- членистоногие: рачки дафния и артемия;
- мхи: мниум;
- цветковые: злак плевел, кресс-салат.

Одно из основных требований к тест-организмам - это возможность получения культур из генетически однородных организмов. В таком случае отличия между опытом и контролем с большей вероятностью могут быть отнесены на счет нарушающего фактора, а не индивидуальных различий между особями.

Использование живых организмов в качестве биологических индикаторов на изменение среды вызывает необходимость разработки ряда критериев, на основе которых можно подбирать индикаторные виды. По отношению к животным такими критериями могут быть: доступность в большом спектре местообитаний в течение сезона, невысокая миграционная способность, питание в загрязняемых экосистемах, высокий метаболизм, быстрое чередование генераций. Этим требованиям, а также ряду других в высокой степени удовлетворяют почвообитающие беспозвоночные, составляющие 90-99% биомассы или 95% видового состава наземных биоценозов. Они реагируют на антропогенное воздействие более чутко и раньше, чем это можно обнаружить на основе анализов почвы и физических измерений.

В сельском хозяйстве по почвенным беспозвоночным можно оценивать влияние пестицидов, минеральных удобрений, агротехники. На урбанизированных тер-

риториях они являются биоиндикаторами распространения тяжелых металлов, радионуклидов, кислых осадков, загрязнения воздуха, свидетельствуют об изменении водного режима почв при мелиорации земель. Почвообитающие беспозвоночные, подходящие для биоиндикации, имеют следующие достоинства: достаточную многочисленность во всех биотопах, ведут оседлый образ жизни, являются накопителями некоторых элементов, имеют широкий ареал распространения, методы их сбора достаточно хорошо разработаны. Очень важной особенностью этой группы животных является тот факт, что циклы развития многих из них длятся по 3-4 года и в результате даже при малых концентрациях животные получают высокую суммарную дозу загрязняющего вещества. Следует также учитывать, что почвообитающие беспозвоночные находятся в контакте с загрязняющими почву веществами практически в течение всей своей жизни.

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

Наряду с беспозвоночными для целей биоиндикации могут быть использованы и животные иных групп, в частности, некоторые позвоночные. Требования, предъявляемые к данной группе организмов, несколько отличаются от таковых для беспозвоночных. Это связано с рядом причин, ограничивающих биоиндикационную роль наземных позвоночных животных.

В отечественной литературе предлагаются следующие критерии для позвоночных-биоиндикаторов:

- принадлежность к разным трофическим звеньям (поскольку степень концентрации веществ растет от автотрофов к гетеротрофам и крупным хищникам, целесообразно при индикации какого-либо загрязнения среды брать представителей разных звеньев);
- оседлость;

- широкий ареал распространения;
- сравнительно высокая эвритопность;
- принадлежность к естественным сообществам (синантропные виды часто весьма существенно отличаются по микроэлементному составу от степени загрязнения региона);
- простые методы добычи животных.

Учитывается также и тот факт, что численность вида должна обеспечивать достаточное количество материала для химических анализов. Считается также, что число видов - индикаторов для каждого региона должно быть ограничено. В связи с этим в лесной зоне для целей биоиндикации предлагались следующие виды животных: европейский и алтайский крот, обыкновенная бурозубка, рыжая и красная полевки, бурый медведь, а также лось. Большинство исследователей не предлагает для целей аккумулятивной биоиндикации использование птиц, поскольку в большинстве своем они мигрируют либо перемещаются на большие расстояния и в разных направлениях в поисках корма, что не позволяет оценивать степень загрязнения среды с достаточно высокой надежностью.

Достаточно удобны для биоиндикации земноводные и пресмыкающиеся, хотя и им в настоящее время отведена незначительная роль. В то же время лягушки и ящерицы могут быть четким показателем содержания в почве и воде многих токсичных веществ. Например, при содержании в почве свинца в количестве 22,4 мг/кг сухого вещества в лишайниках его было 65,2 мг, а в ящерицах - 75,3 мг/кг. В теле лягушек в городе содержание свинца в 8 раз выше, чем на селе, а хрома у городских ящериц в 15 раз больше. Лучшим индикатором загрязнения среды можно считать зеленую жабу.

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

роко используются в экологическом нормировании радиоактивного загрязнения почв.

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

Биоиндикация антропогенных нарушений может осуществляться на различных уровнях организации биологических систем: от макромолекул до биоценоза. С повышением уровня организации усложняются их взаимосвязи с факторами среды. При этом биоиндикация на низших уровнях включается в биоиндикацию на высших. На низших уровнях организации преобладают **прямые** и чаще **специфические** биоиндикаторы, связанные с воздействием одного определенного фактора. На высших - доминируют **косвенные** биоиндикаторы, связанные с целым комплексом факторов.

При поисках путей ранней биоиндикации необходимо учитывать следующее:

- биоиндикационные признаки, обнаруживаемые на высшем организационном уровне, связаны с соответствующим изменением на предыдущих уровнях;
- экосистемы, по сравнению с отдельными организмами, реагируют на нарушение с запаздыванием и в сильно измененной форме;
- изменения функций отдельных компонентов, обусловленные негативным воздействием, иногда полностью или частично сглаживаются за счет других.

В соответствии с организационными уровнями биологических систем выделяют следующие уровни биоиндикации:

**Биохимический и физиологический.** Удобен при ранней индикации. Клеточные органеллы (хлоропласта, митохондрии и др.), биохимические и физиологические процессы очень чувствительны к различным отклонениям от нормы. Такие индикаторные признаки, как изменение пигментации, способность образовывать

АТФ, активность ферментов аминокислотного обмена, белки и аминокислоты, гормоны и др. могут быть использованы для выявления начальных этапов трансформации окружающей среды. Это возможно тогда, когда соответствующий параметр быстро и чувствительно реагирует на изменение какого-либо параметра среды.

Физиологические, биохимические и особенно ферментативные анализы, как правило, сложны и связаны с определенным оборудованием. Кроме того, далеко не в каждом случае наблюдаемая реакция может быть однозначно сопоставима с диагностируемым воздействием. Например, признаки загрязнения четко обнаруживаются тогда, когда его воздействие явно превосходит влияние всех других факторов. Однако биоиндикация на первом уровне в целях ранней диагностики необходима тогда, когда наблюдать видимые нарушения, например, у тест-организмов еще невозможно.

**Морфологический и анатомический.** Наиболее часто применяемые на практике методы биоиндикации учитывают морфологические изменения, прежде всего, у высших растений. Изменение окраски (хлороз, побурение и т.п.), некрозы, дефолиация, изменение формы, количества и положения органов, направления, формы роста и ветвления и др. морфологические и анатомические нарушения можно использовать в качестве индикационных признаков. Для многих стрессовых факторов подобраны морфологические индикаторы. Например, таким тест-организмом для оценки различных загрязнений почвы является кресс-салат.

Воздействие антропогенных факторов на анатомо-морфологические структуры животных можно оценивать по изменению размеров тела, а также отдельных его частей (длины, ширины, массы и др.); микроструктуры поверхности тела или отдельных его областей; по изменению окраски тела или отдельных его частей. Однако различные факторы среды могут быть причиной, как модификаций, так и отбора особей с определенными морфологическими признаками при генетически обусловленном полиморфизме.

При оценке морфолого-анатомических нарушений необходимо правильно определить степень воздействия климатического фактора, а также стадий развития и времени года. Некоторые естественные факторы могут вызывать симптомы, сход-

ные с антропогенно обусловленными, и лишь в немногих случаях можно доказать, что они таковыми являются. Данный уровень организации биологических систем не совсем удобен для почвенной биодиагностики и чаще всего используется в случаях, когда оценивается влияние одного определенного фактора.

**Флористический, фаунистический, хорологический и популяционно-динамический.** Популяции, а также их структурно-функциональные особенности могут быть использованы как биоиндикаторы, если непосредственно коррелируют с определенными факторами. Такие параметры, как изменение флористического и фаунистического состава сообществ, продуктивность популяций, их возрастная структура, плотность, расширение или сокращение ареала широко используются при широкомасштабном мониторинге состояния природных и антропогенно нарушенных ландшафтов. Трудности при проведении сопутствующей индикации такого типа связаны с тем, что в природных условиях на популяции воздействует целый комплекс антропогенных и природных факторов. Поэтому изменения на данном уровне организации необходимо рассматривать как ответ на комплексное воздействие.

Чаще всего в качестве так называемых индикаторных популяций используют популяции высших растений с небольшим хорошо изученным ареалом и с ярко выраженной реакцией на любые отклонения от нормального состояния в среде обитания.

**Ценогический и биогеоценогический.** Антропогенное вмешательство в экосистемы приводит к уменьшению или увеличению числа видов или частоты их встречаемости, следовательно, к изменениям системы взаимоотношений в биогеоценозе. Биоиндикацию антропогенно обусловленных нарушений можно проводить отдельно на уровне фито-, зоо-, реже микробоценозов.

Параметры ценоза как индикационные признаки:

- материальный баланс (например, изменение газообмена);
- пространственно-структурные параметры (общее число видов, численность особей, доминирование, биомасса, ритм продуктивности).

При использовании животных в качестве индикаторов имеет значение оценка

трофической структуры зооценозов, соотношение консументов и деструкторов.

Наряду с методами количественной оценки особый интерес представляют методы причинной интерпретации и оценки:

- установление количественного соотношения между степенью изменения ценоза в результате нарушения и источника этого нарушения;
- стабильность ценоза или масштабы и тенденции их изменений при длительном воздействии.

Антропогенные нарушения, как правило, затрагивают все компоненты биогеоценоза, имеющие различную устойчивость к ним и реакцию. Это обуславливает проведение биодиагностики на уровне биогеоценоза. Такой тип оценки приемлем для проведения локальной и региональной индикации.

**Ландшафтный.** Основной задачей ландшафтной биоиндикации является прогнозирование развития природных и антропогенно-преобразованных ландшафтов при тех или иных планируемых воздействиях и управление им. Чтобы оценить степень антропогенного преобразования ландшафта, необходим эталон для сравнения. Учитывая средообразующую роль высшей растительности, таким эталоном можно считать потенциальную естественную растительность, которая поддается реконструкции путем сравнения местообитаний и анализа еще сохранившихся естественных фитоценозов, а также **синантропных** растительных сообществ.

Экологическая оценка ландшафта проводится с точки зрения утилитарных требований и ориентирована на специфику его использования. Если рассмотреть экологическую значимость ландшафтов по критериям естественности, биологического разнообразия, редкости определенных видов и ценозов, то экологическая оценка будет более объективной. Например, для этой цели используется индекс **экологической ценности**:

$$\text{ЭЦ} = \sum_{i=1}^n (ERSV),$$

где  $n$  - число биоценозов;  $E$  - доля биоценозов в общей площади;  $R$  - относительная редкость биоценозов;  $S$  - богатство растений;  $V$  - богатство видов животных.

ИЭЦ может выступать в качестве индикатора при проведении биоиндикации ландшафтов. Существует множество подходов классификации ландшафтов на основе степени их антропогенных изменений. Оценку преобразований и нарушений можно проводить по следующим направлениям:

- вынос органического материала и минеральных веществ, важных для бюджета экосистемы;
- поступление минеральных веществ или органического материала, в том числе и живых организмов;
- отравление, т.е. поступление веществ, нетипичных для экосистемы и сразу же или с течением времени наносящих вред важным организмам или группам организмов;
- изменение спектра видов, т.е. оттеснение или подавление одних имеющихся видов другими или ранее присутствовавших видов интродуцированными в экосистему.

**Степень гемеробности** ландшафтов также используется для классификации естественных и преобразованных ландшафтов. Для расположения единиц растительности по шкале гемеробности используются следующие критерии: 1) доля терофитов; 2) доля неофитов; 3) утрата видов естественной флоры (табл. 2). Помимо этого учитываются общие признаки изменения почвы и экосистемы. Зная степень гемеробности отдельных растительных сообществ, а также взаимосвязь между направлением и интенсивностью использования местности и соответствующей структурой растительности, можно прогнозировать и направлять ее развитие, планируя в результате экологическую ценность ландшафта в будущем. Исследования степени гемеробности ландшафтов дают ценные данные с природоохранной точки зрения. Например, агемеробные и олигогемеробные территории представляют собой земли, максимально нуждающиеся в охране. Создание карт гемеробности городов позволит выделить требующие охраны биотопы, а также районы, нуждающиеся в более интенсивном озеленении.

С повышением уровня организации возрастает и сложность системы, вследствие чего биоиндикация более низкого уровня включается в более высокий. Ис-

пользование биоиндикации с целью оценки изменения среды выдвигает ряд требований, соблюдение которых весьма необходимо для получения достоверных результатов. Среди последних можно назвать следующие: относительная быстрота проведения исследований, получение достаточно точных и воспроизводимых результатов, присутствие объектов, применяемых в биоиндикации в большом количестве и с однородными свойствами, а также диапазон погрешности по сравнению с иными методами тестирования не более 20% (Биоиндикация загрязнений..., 1988).

Поскольку с возрастанием степени воздействия человека на окружающую природную среду биоиндикация приобрела весьма большую актуальность, еще в 1982 г. на XXI Общей ассамблее Международного союза биологических наук была выработана программа «Биоиндикаторы» Эта программа подразделила все биологические системы, которые могут быть использованы в целях биоиндикации, на 6 групп в соответствии с шестью биологическими дисциплинами.

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

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

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

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

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

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

Таблица 2. Характеристика степеней гемеробности (по Э. Ваннерт, Р. Вольтер и др., 1988)

Степень гемеробности	Антропогенные воздействия	Доля неофитов, %	Доля терофитов, %	Изменения
Агемеробная	Отсутствуют	0	<20	Без изменений
Олигогемеробная	Незначительное изъятие древесины, выпас, воздействие загрязнений воздуха и воды (затопление поймы эвтрофной водой)	<5	<20	Незначительные
Мезогемеробная	Раскорчевка, распашка, сплошные рубки, использование подстилки, снятие дернины, слабое удобрение	5-12	<20	Незначительные изменения воды или кислотности
α-Эвгемеробная	Удобрение, известкование, применение биоцидов, небольшой дренаж	13-17	21-30	Повышенное содержание подвлияющих веществ в воде или кислотности

Степень гемеробности	Антропогенные воздействия	Доля неофитов, %	Доля теро-	Изме
β-Эвгемеробная	Выравнивание почвы, регулярная вспашка, умеренное внесение минеральных удобрений	15-17	30-40	См. выше. Нарушение па верхних гориз
γ-Эвгемеробная	Интенсивное орошение сточными водами	18-22	30-40	Сильно возро веществ при п
Полигемеробный	Глубокая или плантажная вспашка, постоянное и глубокое осушение и (или) интенсивное орошение, интенсивное удобрение и использование биоцидов, полное уничтожение биоценоза одновременно занятием эконопачужеродным материалом Биоценозы сильно обеднены, биотоп постоянно подвержен сильному изменению	18-22	>40	Сильно возро при зависящем циала уменьш подпочвы ко воды, изменен ний, перемещ
Метагемеробный	Биоценозы уничтожены	>23	>40	Уменьшение ции, отсутстви Преобладание толщи

В последние годы в связи с быстрым развитием атомной энергетики возникла также необходимость выбора видов-индикаторов для оценки теплового и радиоактивного загрязнения среды.

Биомониторинг и биоиндикация в настоящее время довольно широко используются при оценке влияния промышленности на окружающую природную среду и разработке параметров экологического нормирования.

**Экологическое нормирование - совокупность проблем, связанных с определением нормы экосистем, изучением их антропогенной трансформации и нахождением предельных величин нагрузок.** Экологическое нормирование имеет важное значение в системе обеспечения экологической безопасности. С целью нормирования загрязнения окружающей среды промышленными

выбросами рядом исследователей выделены параметры экосистем, а также компоненты последних, наиболее чувствительные к токсическому влиянию загрязняющих веществ.

В отношении промышленного загрязнения среды эти компоненты располагаются в следующий ряд: лишайники > крупные почвенные сапрофаги > почвенные ферменты=почвенные микроорганизмы > лесная подстилка > лесное разнотравье > древесный ярус > подрост > население птиц > население млекопитающих > беспозвоночные > фитофаги > муравьи. Данный ряд построен на основе анализа параметров надорганизменного уровня. Он имеет важное значение для биоиндикационных работ и экологического нормирования, поскольку является эмпирическим обоснованием выбора наиболее чувствительных компонентов экосистем.

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

Для почвы это - скорость разложения активных фракций спада (масса подстилки и ее толщина, подстилично-опадочный коэффициент, скорость деструкции экспонируемой в почве чистой целлюлозы), запас гумуса в почвенном профиле, буферность почв против кислотных агентов, актуальная кислотность почвенного раствора верхних горизонтов, запас доступных растениям соединений азота и фосфора.

Среди параметров почвенной биоты следует назвать общую численность почвенной мезофауны, плотность дождевых червей, биомассу почвенных грибов, интенсивность почвенного дыхания, азотфиксации и нитрификации.

Для фауны наземных ярусов предлагается оценивать плотность населения орнитофауны.

Следует заметить, что население почвообитающих беспозвоночных в разных географических зонах и ландшафтах дает сходные реакции и на разные виды загрязнений. Прежде всего, они проявляются в уменьшении общего обилия, сни-

жении таксономического разнообразия, возрастании доли эвритопных видов, увеличении пространственной неоднородности и перемещении основной массы животных в более нижние горизонты почвы, а также изменении трофической структуры сообщества в сторону возрастания доли зоофагов. Все эти показатели и могут быть использованы в биомониторинге и экологическом нормировании. Что же касается орнитофауны, то здесь в биоиндикационных работах используются такие показатели, как общая численность, структура населения, видовое богатство, плодовитость, количество вылупившихся птенцов, параметры яиц, динамика роста и масса птенцов накануне вылета, параметры крови птиц, ферментативная активность и другие. Популяционные и организменные показатели позволяют достаточно четко определить объективный порог, за которым наблюдаются патологические изменения, - исследуемая группировка птиц не воспроизводит себя, либо энергетические ресурсы яиц и слетков не обеспечивают необходимую жизнеспособность вылупляющихся птенцов и молодых птиц.

Таким образом, биологическая индикация - это система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биологических систем под влиянием антропогенных воздействий и загрязнения.

-5-

Отклонение характеристик биоиндикатора в нарушенной среде необходимо сравнить с нормой или «контролем». В зависимости от ситуации используют разные подходы:

1. Сравнение с характеристиками объекта вне зоны воздействия. Например, чтобы выявить изменение растительных сообществ при промышленном загрязнении, их сравнивают с сообществами, расположенными вне зоны антропогенного воздействия.
2. Сравнение с результатами эксперимента. В лабораторных опытах часть тест-организмов контактирует с загрязненной почвой, водой или воздухом, другая же часть (это контроль) с заведомо чистыми субстратами. Для тестирования воздуха, например, применяют специальные камеры с тест-растениями. Через опытные камеры пропускают загрязненный воздух, а через контрольные - про-

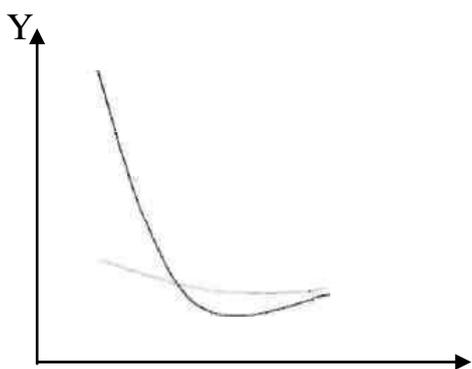
фильтрованный с помощью активированного угля.

3. Сравнение с характеристиками объектов в прошлом до воздействия человека (исторические стандарты). Некоторые типы экосистем, например, европейские степи, практически утратили свой начальный облик. В таких случаях о степени их нарушенности можно судить по подробным научным описаниям, сделанным около века назад.

4. Контроль - определенный вид функциональной зависимости, отклонение от которой рассматривается как нарушение. Например, в многовидовых ненарушенных сообществах распределение видов по классам встречаемости, обилия или доминирования соответствует кривой Раункиера (рис.3). При выявлении нарушений среды изучаемое распределение видов сравнивают не с конкретным значением какого-либо показателя, а с серией этих значений, описываемых кривой, форма которой при загрязнении среды изменяется.

Во всех случаях, когда речь идет о контроле, без которого биоиндикация в принципе невозможна, встает вопрос, что считать нормой для того или иного биоиндикатора? В одних случаях ответ будет простой. Например, появление на листьях растений некротических пятен любой формы и размера - всегда индикатор загрязнения среды, поскольку в норме их быть не должно.

Ситуация усложняется, когда нормой является не одно конкретное состояние биоиндикатора, а целый набор, диапазон таких состояний. К таким биоиндикаторам относятся численность популяций, разнообразие сообществ, их видовой состав и т.д. Эти характеристики меняются по сезонам и по годам, они могут отличаться в различных местообитаниях.



Р М С Д

×

Рис.3. Распределение видов по классам встречаемости (кривая Раункиера).

*Виды: Р - редкие, М - малочисленные, С - субдоминанты, Д - доминанты. По оси Y - количество видов. Обычная линия соответствует контрольному.*

Следовательно, чтобы установить норму для таких биоиндикаторов, нужно располагать данными об их сезонной и многолетней динамике, их изменении по местообитаниям. Так, численность мелких почвенных членистоногих коллембол на одном и том же участке ненарушенного леса может меняться в течение года в 10-20 раз, разнообразие их сообществ - в 2-3 раза.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие преимущества и недостатки имеет биоиндикация по сравнению с физико-химическими методами оценки состояния окружающей среды?
2. Каким требованиям должен удовлетворять биоиндикатор?
3. Какие тест-организмы Вы знаете?
4. Дайте определения: что такое активный и пассивный мониторинг? специфическая и неспецифическая биоиндикация? прямая и косвенная биоиндикация? Приведите примеры.
5. Что такое экологическое нормирование?
6. Что такое индекс экологической ценности ландшафта?
7. Охарактеризуйте степень гомогенности различных ландшафтов?

## **Лекция 2. БИОИНДИКАЦИЯ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОГО**

### **План:**

1. Клеточный и субклеточный уровни
2. Организменный уровень
3. Примеры биоиндикации на организменном уровне
4. Примеры биоиндикации на популяционно-видовом уровне
5. Примеры биоиндикации на биоценоотическом уровне
6. Примеры биоиндикации на экосистемном уровне
7. Биоиндикация на уровне биосферы

Биоиндикация может осуществляться на всех уровнях организации живого: биологических макромолекул, клеток, тканей и органов, организмов, популяций (пространственная группировка особей одного вида), сообществ, экосистем и биосферы в целом. Признание этого факта - достижение современной теории биоиндикации.

На низших уровнях биоиндикации возможны прямые и специфические формы биоиндикации, на высших - лишь косвенные и неспецифические. Однако именно последние дают комплексную оценку влияния антропогенных воздействий на природу в целом.

Биоиндикация на этих уровнях основана на узких пределах протекания биотических и физиологических реакций. Ее достоинства заключаются в высокой чувствительности к нарушениям, позволяющим выявить даже незначительные концентрации поллютантов, и выявить их быстро. Именно на этих уровнях возможно наиболее раннее выявление нарушений среды. К числу недостатков относится то, что биоиндикаторы-клетки и молекулы требуют сложной аппаратуры.

Результаты действия поллютантов следующие:

- нарушение биомембран (особенно их проницаемости);
- изменение концентрации и активности макромолекул (ферменты, белки, аминокислоты, жиры, углеводы, АТФ);
- аккумуляция вредных веществ;
- нарушение физиологических процессов в клетке;
- изменение размеров клеток.

Чтобы разработать тот или иной способ биоиндикации на этом уровне, необходимо выяснить механизмы действия поллютантов.

#### ***Влияние поллютантов на биомембраны (на примере клеток растений)[4]***

1. *Сернистый газ*.  $\text{SO}_2$  проникает в лист через устьица, попадает в межклеточное пространство, растворяется в воде с образованием  $\text{SO}_2^{2-}/\text{HSO}_3^-$  ионов, раз-

рушающих клеточную мембрану. В итоге снижается буферная емкость цитоплазмы клетки, изменяются ее кислотность и редокс-потенциал.

2. *Озон и другие окислители*, например, пероксиацетилнитрата. Нарушают проницаемость мембран. Этот эффект усугубляется в присутствии ионов тяжелых металлов.

Во всех случаях особенно сильно страдают мембраны хлоропластов - тилакоидные. Их разрушение - основная причина снижения фотосинтеза при воздействии поллютантов. Процесс фотосинтеза как очень чувствительный служит для биоиндикации загрязнения среды. При этом оценивают: 1) интенсивность фотосинтеза, 2) флуоресценцию хлорофилла. В качестве тест-организма часто используют мох мниум.

### ***Изменение концентрации и активности макромолекул***

*Ферменты.* Действие поллютантов на ферменты нарушает процесс нормального присоединения фермента к субстрату (С-Ф). Это может происходить тремя различными способами:

- 1) к ферменту вместо субстрата присоединяется поллютант-ингибитор с образованием комплекса Ф-И (отравление СО);
- 2) поллютант ингибирует фермент, расщепляя его связь с субстратом: ОФ;
- 3) присоединяясь к субстрату вместе с ферментом, поллютант ингибирует его: С-Ф-И.

В итоге нарушаются различные процессы, например:

- ассимиляция углекислого газа в процессе фотосинтеза.  $\text{SO}_2$  связывается с активным центром ключевого фермента фотосинтеза (рибулозодифосфаткарбоксилазы) вместо  $\text{CO}_2$  и тормозит фиксацию  $\text{CO}_2$  в цикле Кальвина. Газообмен  $\text{CO}_2$  в принципе пригоден для биоиндикации;
- взаимодействие  $\text{SO}_2$  с HS-группами белков, что ведет к разрушению ферментов (показано для малатдегидрогеназы).

*Синтез защитных веществ в клетке.* В клетках растений под действием различных нарушений накапливаются определенные защитные вещества. Биоиндикация связана с определением концентрации этих веществ в растениях:

- пролин - аминокислота, считающаяся индикатором стресса. Ее концентрация возрастала в листьях тиса вблизи дорог с интенсивным движением транспорта, в листьях каштана при засолении почвы;
- аланин - аминокислота, накапливалась в клетках водоросли требуксии, со-сны и кукурузы при загрязнении;
- пероксидаза и супероксиддисмутаза. При воздействии стрессоров образуются токсичные перекиси, которые пероксидаза обезвреживает. Например, SO<sub>2</sub> вызывает увеличение активности пероксидазы и появление изоферментов супероксиддисмутазы, что можно выявить с помощью гель-электрофореза.

*Пигменты.* При загрязнении в клетках растений происходят следующие изменения пигментов:

- уменьшается содержание хлорофилла. Этапы его разрушения (феофетин, феофорбиды, распад пиррольного кольца);
- понижается отношение хлорофилл α / хлорофиллβ. Отмечается, в частности, у ели при хроническом задымлении SO<sub>2</sub>;
- замедляется флуоресценция хлорофилла.

При биоиндикации все эти изменения фиксируют с помощью приборов: хроматографа, спектрофотометра и флуориметра.

*Аденозинтрифосфорная кислота.* Содержание АТФ - универсального источника энергии в клетке - важный показатель ее жизнеспособности. Для его количественной оценки предложен показатель «энергетического заряда» (ЭЗ).

АТФ + 0,5А,5

АТФ + АДФ + АМФ

АДФ и АМФ - менее насыщенные энергией молекулы аденозиндифосфорной и аденозинмонофосфорной кислот. Показано, что с ростом концентрации SO<sub>2</sub> в воздухе ЭЗ клеток растений (сосна, водоросль требуксия) снижается.

*Белки.* При загрязнении в клетках уменьшается концентрация растворимых белков.

*Углеводы.* В целях биоиндикации может быть использовано наблюдение о

росте содержания глюкозы и фруктозы в листьях гороха при действии газодымных выбросов.

*Липиды.* Газовые выбросы ведут к уменьшению содержания миристиновой, пальмитиновой и лауриновой кислот и к увеличению линолевой и линоленовой кислот в составе липидов.

### ***Аккумуляция вредных веществ***

Хорошим показателем загрязнения среды может служить повышенная концентрация поллютантов в клетках живых организмов. Так, обнаружена корреляция между содержанием свинца в листьях тиса и интенсивностью движения в городах.

Накопление ртути в перьях птиц позволило с помощью чучел проследить динамику загрязнений ртутью. Обнаружено, что с начала 40-х годов XX века содержание ртути в перьях фазана, куропаток, сапсана и других увеличилось в 10-20 раз, по сравнению с 1840-1940 гг.

### ***Изменение размеров клеток***

Показано, что при газодымном загрязнении:

- увеличиваются клетки смоляных ходов у хвойных деревьев;
- уменьшаются клетки эпидермиса листьев.

### ***Нарушение физиологических процессов в клетке***

*Плазмолиз.* В клетках растений под действием кислот и SO<sub>2</sub> цитоплазма отслаивается от клеточной стенки.

-2-

Еще в древности некоторые виды растений использовали для поиска руд и других полезных ископаемых. Повреждения растений дымом были отмечены в середине XIX века вокруг содовых фабрик Англии и Бельгии.

Преимущества биоиндикации на этом уровне - это небольшие затраты труда и относительная дешевизна, поскольку не требуются специальные лаборатории и высокая квалификация персонала.

## **Растения**

**Морфологические изменения растений, используемые в биоиндикации:**

**1. Изменения окраски листьев** (неспецифическая, реже специфическая, реакция на различные поллютанты):

- *Хлороз* - бледная окраска листьев между жилками. Отмечали при избытке в почве тяжелых металлов и при газодымовом загрязнении воздуха.
- *Пожелтение* участков листьев. Характерно для лиственных деревьев при засолении почвы хлоридами.
- *Покраснение*, связанное с накоплением антоциана. Возникает под действием сернистого газа.
- *Побурение* или *побронзовение*. Часто означает начальную стадию некротических повреждений.
- Листья *как бы пропитаны водой* (как при морозных повреждениях). Возникает под действием ряда окислителей, например, пероксиацетил-нитрата.
- *Серебристая* окраска листьев. Возникает под действием озона на листьях табака.

**2. Некрозы** - отмирание участков ткани листа, их форма иногда специфична.

- *Точечные и пятнистые*. Серебристые пятна на листьях табака сорта BelW3 возникают под действием озона.
- *Межжилковые* - некроз тканей между боковыми жилками 1 порядка. Часто отмечаются при воздействии сернистого газа.
- *Краевые*. На листьях липы под влиянием соли (хлорида натрия), которой зимой посыпают городские улицы для таяния льда.
- *«Рыбий скелет»*- сочетание межжилковых и краевых некрозов.
- *Верхушечные* некрозы. У однодольных покрытосеменных и хвойных растений. Например, хвоинки пихты и сосны после действия сернистого газа становятся на вершине бурыми, верхушки листьев гладиолусов после окуривания фтористым водородом становятся белыми.

**3. Преждевременное увядание.** Под действием этилена в теплицах не раскрываются цветки у гвоздики, увядают лепестки орхидей. Сернистый газ вызывает обратимое увядание листьев малины.

**4. Дефолиация** - опадание листвы. Обычно наблюдается после некрозов и хло-

розов. Например, осыпание хвои у ели и сосны при газодымовом загрязнении воздуха, листьев лип и конских каштанов - от соли для таяния льда, крыжовника и смородины - под действием сернистого газа.

**5. Изменения размеров органов** обычно неспецифичны. Например, хвоя сосны вблизи заводов удобрений удлиняется от нитратов и укорачивается от сернистого газа. У ягодных кустарников дым вызывает уменьшение размеров листьев.

**6. Изменения формы, количества и положения органов.** Аномальную форму листьев отмечали после радиоактивного облучения. В результате локальных некрозов возникает вздувание или искривление листьев, сращение или расщепление отдельных органов, увеличение или уменьшение частей цветка.

**7. Изменение жизненной формы** растения. Кустовидная или подушечная форма роста свойственна деревьям, особенно липе, при сильном устойчивом загрязнении воздуха ( $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ).

**8. Изменение жизненности.** В присутствии многих поллютантов бонитет деревьев понижается от 1-2 класса до 4-5. Обычно это сопровождается изреживанием кроны и уменьшением прироста. Изменения прироста неспецифичны, но широко применяются, так как чувствительнее, чем некрозы. Измеряют радиальный прирост стволов, прирост в длину побегов и листьев, корней, диаметр таллома лишайника.

**9. Изменение плодовитости.** Обнаружено у многих растений. Например, при действии поллютантов уменьшается образование плодовых тел у грибов, снижается продуктивность у черники и ели. Некоторые виды лишайников не образуют плодовых тел в сильно загрязненном воздухе, неспособны размножаться вегетативно.

-3-

## **Растения**

**1. Мониторинг озона по табаку BELW3.** Этот сорт табака специально выведен для биоиндикации. Уже при слабом воздействии озона через несколько дней на всей листовой пластинке образуются некротические пятна серебристого цвета.

Для сравнения одновременно высаживают устойчивый к озону сорт Be1 В.

**2. Мониторинг загрязнения почвы и воздуха с помощью кресс-салата.** Семена проращивают в чашках Петри на фильтрах или исследуемой почве. Наблюдение длится 10 дней. При наличии вредных веществ снижается процент всхожести семян и уменьшается скорость роста зародышевых корешков. У растений, высаженных в открытом грунте в городских центрах с интенсивным движением транспорта, под влиянием газовых выбросов отчетливо снижается длина проростков.

**3. Индикация соли (применяемой для таяния льда) по листе липы.** Сначала возникают ярко-желтые неравномерно расположенные краевые зоны, затем край листа отмирает, а желтая зона передвигается к середине и основанию листа. Разработана бонитировочная шкала, позволяющая по степени нарушения листовых пластинок оценить уровень засоления почвы. Метод ограничен во времени второй половиной лета.

**4. Индикация общего газодымового загрязнения по продолжительности жизни хвои.** Для определения у 25 взрослых деревьев ели из средней части кроны вырезают по 1 ветви. Определяют среднее количество хвоинок на побегах разного возраста. Поскольку хвоинки живут в норме 4 года, то четырехлетние побеги должны быть покрыты хвоинками. При загрязнении продолжительность жизни хвои сокращается вплоть до одного года, соответственно большая часть ветвей оголена, а хвоинки остаются лишь на концах ветвей. Бонитировочная шкала некрозов и продолжительности жизни хвои позволяет количественно оценить степень загрязнения среды.

## **Животные**

Наблюдать за изменениями животных в нарушенной среде значительно сложнее, чем за неподвижными растениями. Более доступны насекомые и моллюски. Эти группы чаще других и используют в целях биоиндикации.

**1. Морфологические изменения**(размеров, пропорций, покровов, окраски, уродства) [5]:

**а.) размеры и пропорции** тела на загрязненных участках достоверно отличаются

ся:

- у ряда тлей (ширина головы, длина бедра и голени, усиков, хвостика и сифона);
- некоторых брюхоногих моллюсков в почве (размеры раковин);
- на загрязненном корме размеры личинок и имаго насекомых обычно уменьшаются;

б) **покровы.** У тли (*Aphisfabae*) после добавления к пище сульфит-ионов существенно изменялись полигоны и зернистость кутикулы у потомков;

в) **окраска.** Явление промышленного меланизма (более темной окраски) в загрязненных районах отмечено у:

- бабочки пяденицы березовой;
- двухточечной божьей коровки (доля черных форм обычно 2-3%, а в загрязненных районах много выше);
- коллемболы (*Orchesellavillosa*);

г) **уродства.** Под действием ксенобиотиков (дизельного топлива, ДДТ и др.) возникают нарушения формообразующих процессов в онтогенезе насекомых. В опытах доля аномальных бабочек огневки выросла от 5 до 35% при добавлении в пищу PbO.

Исследование рыб (плотва, лещ, карась и др.) в р. Москве в пределах города выявило следующие уродства: нарушение формы тела, искривление позвоночника, нарушение пигментации, «оплавление» лучей спинного плавника, редукцию плавников, «мопсовидность» головы, слепоту, редукцию зрачка, бельмо на глазу, выпуклость глаз, ожирение, длиннохвостость и пр. У плотвы доля особей с уродствами (иногда несколькими сразу) колебалась от 10 до 70%; д) изменение **толщины скорлупы яиц** птиц. Индекс Ратклиффа отражает зависимость толщины скорлупы яиц от концентрации ДДТ.

2. **Физиологические изменения.** Следующие примеры покажут принцип использования физиологических показателей в целях биоиндикации:

а) у личинок водных насекомых имеются хлоридные клетки, способные активно поглощать анионы, особенно хлорид-ионы, обеспечивая постоянство их

концентрации в гемолимфе. Эти клетки обычно расположены на жабрах (личинки поденок) или на брюшке (личинки ручейников). Число этих клеток обратно пропорционально уровню солености. При каждой линьке их число приводится в соответствие с соленостью среды. От линьки к линьке можно определить тенденции в изменении солености водоема;

б) общее физиологическое состояние организма насекомого может быть охарактеризовано общим количеством гемоцитов (клеток гемолимфы) в единице объема и соотношением их основных типов. Например, в зоне загрязнения сернистым газом количество гемоцитов у гусениц сосновой пяденицы падает вдвое, при этом возрастает количество фагоцитов с 5 до 32%;

в) неспецифическая биоиндикация индустриальных загрязнений возможна по содержанию гемоглобина в крови обыкновенной полевки [6];

г) в тканях моллюсков при загрязнении водоемов возрастает удельное содержание каротиноидов.

**3. Размножение.** Плодовитость обычно падает, например:

- у тлей и непарного шелкопряда при окулировании их сернистым газом;
- у птиц при действии тяжелых металлов и ДДТ уменьшается кладка; повышается смертность зародышей и птенцов.

Иногда плодовитость повышается, например:

- у коллембол (*Onychiurus armatus*, *Orchesellacincta*) на участках, загрязненных тяжелыми металлами.

В лабораторных условиях в качестве тест-организмов могут быть использованы саранчовые (*Acrotylus patruelis*, *Aiolopus thalassinus*). При действии хлорида ртути у этих видов возрастает число яиц в кладке, при действии мочевины (>0,055 г/кг почвы) уменьшается число яиц в кладке и количество кладок.

**4. Онтогенез и продолжительность жизни:**

а) нарушение течения линек у насекомых:

- при загрязнении у бабочек снижается доля окукливающихся гусениц и процент вылета имаго;
- удлинение личиночной стадии у совки (*Scotia segetum*) при интоксикации ме-

дью и у непарного шелкопряда при фумигации фтористым водородом (HF) и метилмеркаптаном;

б) *сокращение сроков развития:*

- у совки (*Scotia segetus*) на 4-7 дней при добавлении хлорида кадмия ( $CdCl_2$ );
- у коллембол (*Isotomanotabilis*, *Onychiurus armatus*) при загрязнении тяжелыми металлами;

в) *изменение срока жизни.* Обычно он сокращается, например:

- у кобылки (*Acrotylus patruelis*) при увеличении концентрации  $HgCl_2$ .
- у гусениц (особенно младших возрастов) непарного, тутового и соснового шелкопряда, сосновой пяденицы и многих других при питании загрязненным кормом и фумигации промышленными выбросами;
- у личинок мухи (*Calliphora vicina*) пропорционально концентрации сернистого газа.

Реже наблюдают удлинение срока жизни, например, у дрозофилы при добавлении в пищу 0.3% антиоксиданта пропилгаллата срок жизни возрастает на треть.

**5. Поведение**- это чувствительный индикатор нарушений в среде:

а) изменение циркадного (суточного) ритма рыб в рыборазводных прудах - пример неспецифической биоиндикации. Двигательная активность рыб отражает условия содержания, реагируя на обеспеченность кислородом и органическое загрязнение;

б) у крабов (*Pachygrapsus*) после воздействия масляного экстракта (результат утечки горючего) нарушается половое поведение: самцы не реагируют на самок.

-4-

**Популяция**- естественная пространственная группировка особей одного вида. Характеризуется плотностью, структурой (половозрастной, экологической и пр.), особенностями динамики. Отклонения этих показателей от нормы и положены в основу биоиндикации с помощью популяций.

**Растения**

1. *Плотность* - количество особей вида на единицу площади или объема (величины которых выбираются в зависимости от размера организмов и среды обитания:  $1\text{ м}^2$ ,  $1\text{ км}^2$ ,  $1\text{ га}$ ,  $1\text{ см}^2$  и т.д.).

В целом, под влиянием антропогенного вмешательства у большинства видов, особенно чувствительных, плотность популяций падает. Биоиндикация основана на учете плотности популяции чувствительных к нарушениям видов, например, площади, покрытой лишайником леканора (*Lecanoraconizaeoides*). Этот относительно дымоустойчивый лишайник встречается в Европе на всех древесно-кустарниковых породах, что позволяет произвести первую оценку интенсивности многолетнего загрязнения воздуха на данной территории. Площадь покрытия лишайника хорошо коррелирует с концентрацией сернистого газа в воздухе, причем в безлесных ландшафтах влияние последнего намного сильнее, чем в лесных.

Увеличивать плотность могут популяции сорняков, галофилов и других устойчивых к антропогенному прессу видов, что также может служить целям биоиндикации.

2. *Возрастная структура популяции*. При антропогенном вмешательстве нарушается соотношение между молодыми, размножающимися и старыми особями в популяции:

а) популяция *омолаживается*, если смертность возрастает, а стадии развития укорачиваются. Это отмечено на сенокосных лугах, по сравнению с некосимыми, на городских газонах, в напочвенной растительности после прореживания лесов;

б) популяция *стареет*, если нарушается возобновление. Например, загрязнение сернистым газом нарушает возобновление в буковых лесах.

3. *Экологическая структура популяций*. Природные популяции обычно состоят из нескольких экотипов - групп особей, приспособленных к разным условиям среды. Экотипы способствуют выживанию популяции при изменении условий местообитания. Популяции многих видов включают экотипы с высокой устойчивостью к определенным антропогенным воздействиям. Распространение ус-

тойчивых, вытеснение ими чувствительных экотипов происходит иногда очень быстро. Например, химизация и механизация сельского хозяйства привела к сильному сужению спектра изменчивости у мака-самосейки, что обнаружено при сравнении данных за 1950 и 1980 гг.

Известно много случаев отбора экотипов в природе, способствующих выживанию видов в нарушенной среде. Злак полевица побегоносная растет по морским побережьям и выносит засоление почвы, а полевица тонкая, у которой такие экотипы не обнаружены, избегает засоленных участков.

Сернистого газа в природе много вблизи вулканов, растущие здесь растения относительно устойчивы к этому газу. Например, японская лиственница, по сравнению с европейской, лучше переносит высокую концентрацию  $SO_2$  в воздухе.

Популяции многих видов (ежа сборная, овсяница красная) из областей с сильным загрязнением  $SO_2$  устойчивее к нему и к кислотным дождям, чем растущие в чистых районах. У подорожника ланцетолистного обнаружены экотипы, устойчивые к мышьяку, у полевицы тонкой - к меди.

4. Изменение ареалов видов растений под влиянием антропогенного вмешательства иллюстрируется данными табл. 3.

Таблица 3. Изменение ареалов видов растений под влиянием антропогенного вмешательства [4]

Вид вмешательства	Изменение среды	Влияние на ареалы
Железные дороги	Перегрев, механическая нагрузка, загрязнение	Распространение рудеральных видов
Водные каналы	Смягчение климата, эвтрофикация (сточные воды)	Распространение автотрофных водных и болотных видов
Урбанизация	Сильный нагрев, загрязнение пылью	Распространение на север южных видов, исчезновение мхов и лишайников, появление декоративных видов
Свалки	Нагрев, уплотнение	Распространение эври-

	почвы, эвтрофикация, ядовитые газы	топных и рудеральных видов
--	------------------------------------	----------------------------

В глобальном масштабе происходит:

- сокращение ареала лесных видов, особенно в тропиках;
- распространение сорных рудеральных видов и галофитов. Засоление почвы происходит при орошении почвы в отсутствие достаточного дренажа. Например, Месопотамская низменность сейчас представляет собой огромные солончаки. Вместо природных лесов здесь галофитная растительность, а также ивы и тополя.

## **Животные**

**1. Плотность популяций.** Для биоиндикации важен выход этого показателя за пределы нормы:

а) *сокращение* популяций:

- многочисленные примеры редких и вымирающих видов;
- ртутьсодержащие соединения, которыми протравливали посевной материал, вызвали массовые отравления зерноядных птиц и, соответственно, сокращение плотности их популяций в Швеции в начале 50-х годов XX века:
- хлорорганические соединения (ДДТ) привели к сокращению популяций дневных хищных птиц;
- тяжелые металлы в сочетании с SO<sub>2</sub> приводят к резкому сокращению численности дождевых червей - начало уменьшения численности наблюдается, когда фоновое загрязнение превышено в 2,0-2,3 раза, при 4,0-4,5-кратном превышении черви исчезают [7];

**Активный мониторинг:** почвообитающих клещей-орibatидов (*Humerobates rostromellatus*) выдерживают в специальных камерах в течение недели в разных районах города. Существует корреляция между смертностью клещей и концентрацией в воздухе сернистого газа;

б) *рост популяций:*

- озерных чаек в Средней Европе обусловлен эвтрофикацией культурных ландшафтов;

- короеда-типографа при действии газодымовых выбросов;
- сосущих растительноядных насекомых (в основном тлей) при действии выхлопных газов (причины - уменьшение врагов, а также физиологические и биохимические изменения растений-хозяев под действием поллютантов).

2. **Динамика популяций.** Обычно возрастает амплитуда колебаний плотности популяций:

- рудеральные, навозные и компостные виды коллембол в городе;
- сезонные пики численности могут смещаться на иные сроки (в городе, где среднегодовая температура выше, чем в природе, на несколько градусов, коллемболы имеют ранневесенний пик, как в более южных зонах).

3. **Пространственная структура.** Распределение особей в пространстве обычно становится более мозаичным, поскольку животные концентрируются на менее нарушенных участках. С другой стороны, нарушается размещение особей, свойственное природным популяциям.

4. **Изменение ареала.** По антропогенным территориям (полям, городам) южные виды распространяются далеко на север, за пределы своей зоны [8].

-5-

Сообщества (или биоценозы) представляют собой совокупность видов растений, животных, микроорганизмов и грибов определенного местообитания. Принято также говорить о сообществах птиц, почвенных членистоногих, растений и т.д.

Для описания сообществ используют такие показатели, как общая численность, видовое богатство и разнообразие, видовая структура, экологическая структура (спектры жизненных форм, биотопических групп), а также их изменение во времени. Отклонения этих показателей от нормы - симптом нарушений окружающей среды.

1. **Общая численность.** Обычно падает, а если повышается, то за счет численности очень немногих устойчивых к нарушениям видов. Например, в городе численность птиц поддерживают стаи голубей, воробьев, ворон. На полях высокая численность насекомых достигается за счет вспышек численности вреди-

телей.

**2. Видовой состав и разнообразие сообществ.** При слабом нарушении среды (будь то загрязнение, рекреация или другие формы антропогенного воздействия) количество видов растет, так как сообщество становится «открытым» для видов других сообществ, больше становится рудеральных и синантропных видов. Дальнейшее усиление воздействия сопровождается выпадением редких и чувствительных к нарушению видов.

Таким образом, с ростом нарушения количество видов меняется нелинейно (гипотеза промежуточного нарушения Коннела).

**3. Видовая структура.** Все виды в сообществе можно разделить на 4 группы: а) многочисленные - доминанты, б) менее многочисленные - субдоминанты, в) малочисленные и г) редкие виды. Распределение видов по группам численности в природном и нарушенном сообществе четко различается. При нарушении в сообществе сокращается «запас прочности» - группы малочисленных и редких видов. Иногда для выделения этих групп используют не численность, а биомассу, встречаемость или проективное покрытие, как у растений, но закономерность сохраняется.

**4. Спектр жизненных форм.** При нарушениях наблюдается замещение одних жизненных форм другими. При рекреации в сообществе коллембол начинают исчезать группы подстилочной жизненной формы, но сохраняются почвенная и поверхностно-обитающая группы.

**5. Спектр биотопических групп.** Антропогенное воздействие любой природы сопровождается заменой специализированных видов сообщества на эврибионтные. Дальнейшее усиление нагрузки ведет к тому, что в сообществе сохраняются в основном рудеральные и синантропные виды.

**6. Изменение во времени.** При нарушениях среды сообщества сильнее меняются по годам; первыми - доминирующие виды, жизненные формы, биотопические группы и т.д.

токов энергии. Круговорот веществ осуществляется при участии запаса биогенов, организмов-продуцентов (растения, создающие органическое вещество из неорганических), организмов-консументов (животные, распределяющие и регулирующие потоки вещества и энергии) и организмов-редуцентов (грибы и бактерии, которые разрушают органические вещества, пополняя запас биогенов).

Среди различных показателей экосистем для биоиндикации представляют интерес трофическая структура и сукцессионные изменения.

**Трофическая структура.** Нарушение соотношения между блоками продуцентов, консументов, редуцентов. Например, вблизи комбинатов цветной металлургии, расположенных в таежной зоне, толщина подстилки достигает 20 см, превышая норму в 3-4 раза. Это происходит из-за угнетения почвенных беспозвоночных, ускоряющих процесс разрушения растительных остатков.

**Сукцессии** - естественные смены сообществ от простых и неустойчивых до сложных и устойчивых. Последние получили название зрелых, или климаксных. Антропогенный пресс нарушает естественный ход сукцессий. Страдают, прежде всего, заключительные стадии - зрелые климаксные сообщества, они не формируются. Процесс все время отбрасывается на более ранние стадии. Например, полная сукцессия лесов в Подмосковье предполагает не только смену березняков ельниками, но и формирование сложных смешанных лесов с участием дубов. Редкость таких лесов свидетельствует о глубоких преобразованиях территории. Попытки воспроизвести естественную сукцессию встречают большие трудности. При лесной рекультивации отвалов угледобывающей промышленности, посаженные деревья не образуют настоящих лесов. Даже спустя 30 лет в почве под ними не развивается характерный для лесов комплекс сапрофагов-разрушителей лесной подстилки, что свидетельствует о существенном отличии почвенных и лесорастительных условий на отвалах, по сравнению с лесами. Беспозвоночные животные являются в данном случае биоиндикаторами формирования «неполноценных» экосистем.

В целом, нарушения среды на ценотическом и экосистемном уровнях приводят к:

- упрощению структуры сообществ и экосистем;
- нарушению внутренних связей (между видами, экологическими группами, блоками экосистемы и т.д.), т.е. механизмов саморегуляции сообществ и экосистем.

Выявление этих признаков - основной путь биоиндикации на высших уровнях организации живого.

-7-

Некоторые примеры индикаторов глобальных изменений среды:

- «ползучая эвтрофикация». Присутствие в морской воде сточных вод все чаще индицируют красные и бурые приливы. Они возникают из-за вспышек численности одноклеточных водорослей: токсичных динофлагеллят (красные) и диатомовых (бурые);
- глобальное потепление климата. Обычным явлением становится «красный снег». Появляется в горах при повышенной инсоляции благодаря росту численности одноклеточных водорослей (в основном гомококков);
- фоновое загрязнение среды. Даже на заповедных территориях за последние 40 лет снизилось разнообразие и численность животных. Регулярное и повсеместное применение пестицидов привело к снижению численности почвенных членистоногих на полях за последние 30 лет в несколько раз.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Каковы особенности биоиндикации на разных уровнях организации жизни?
2. Какие способы биоиндикации разработаны на основе влияния поллютантов на ферменты, хлорофилл, АТФ?
3. Какие тест-растения используют при оценке содержания озона, загрязнения воздуха и засоления почвы?
4. Какие изменения в популяциях, биоценозах имеют биоиндикационное значение?
5. Приведите примеры индикаторов глобальных изменений среды

### **Лекция 3. БИОИНДИКАЦИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ**

#### **План:**

1. Биоиндикация в наземно-воздушной среде с помощью растений
2. Биоиндикация в водной среде
3. Биоиндикация в почве
4. Принципы экономических расчетов в биоиндикации
5. Особенности современного состояния биоиндикации

-1-

Как и в случае физико-химических методов экоаналитического контроля, при биоиндикации существуют определенные ее особенности в зависимости от исследуемой среды.

#### **Биоиндикация в наземно-воздушной среде с помощью растений**

*Фитоиндикация* - использование растений для оценки качества среды. Поскольку наибольший эффект дает использование растительных сообществ, то это направление получило специальное название - индикационная геоботаника [14].

#### ***Индикация на уровне видов***

*Индикатором* называют определяемое свойство или фактор среды, а индикатором - вид растений, с помощью которого определяют свойство среды.

#### ***Индикация свойств почв:***

- *оглеенность* - черника, таволга вязолистная, вербейник обыкновенный;
- *запас питательных элементов* в почве (трофность):
  - олиготрофы (сфагновые мхи и лишайники; из цветковых - виды с микоризой: черника, брусника, вереск, клюква, багульник; растения песчаных почв: кошачья лапка, ястребинка волосистая);
  - мезотрофы (зеленые мхи, земляника, грушанка, вероника дубравная, иван-да-марья, душица);
  - эвтрофы (мох мниум, папоротник страусово перо, малина, таволга вязолист-

ная, крапива двудомная, иван-чай, медуница);

• *содержание азота:*

- нитрофилы (недотрога, крапива двудомная, хмель, малина, иван-чай, звездчатка дубравная, лопух, пустырник);

- нитрофобы (дрок красильный);

• *кислотность (рН) почвы:*

- крайние ацидофилы (рН 3-4,5): сфагнум, гилокомиум, дикранум, плауны, водяника, марьянник луговой, ожика волосистая, пушица влагалищная, щучка, белоус, вереск;

- умеренные ацидофилы (рН 4,5-6): черника, брусника, багульник, сушеница, кошачья лапка, толокнянка;

- нейтральные (рН 6-7,3): растения дубрав - сныть, клубника зеленая, таволга шестилепестная;

- базофилы (рН >7,8): бузина, вяз, бересклет, крушина, крапива двудомная, хмель, недотрога, гравилаты.

Для количественной оценки индикаторов разработаны шкалы значимости и достоверности (табл. 4).

Таблица 4. Шкала достоверности индикаторов (за 100% принято число участков с индикатором)

% площадок, на которых индикат и индикатор сопрягаются	Степень достоверности	Оценка индикатора
100	Наивысшая	Абсолютный
>90	Высокая	Верный
75-90	Достаточная	Удовлетворительный
60-75	Низкая	Сомнительный
<60	Ничтожная	Индикация невозможна

Важно и то, насколько часто встречается индикатор в пределах площади, на которой присутствует индикат. Это оценивает значимость индикатора (табл. 5).

Таблица 5. Шкала значимости индикаторов (за 100 % принято число изученных участков индиката)

Частота встреч индикатора в пределах площади, занятой индикатом	Значимость
90-100	Отличная
75-90	Хорошая
50-75	Нормальная
10-50	Низкая
<10	Ничтожная

-2-

Основные задачи, которые решаются при оценке качества воды, могут быть объединены в три группы:

- угроза инфекционных заболеваний;
- токсичность;
- эвтрофикация.

### ***Угроза инфекционных заболеваний***

Решение первой задачи достигается при мониторинге загрязнения водоемов сточными водами. Именно канализационные стоки могут содержать патогенные микроорганизмы - основной источник инфекций, передаваемых через воду. Поскольку патогенных микроорганизмов много, каждый выявлять трудоемко и нецелесообразно, разработан тест на кишечную палочку (*Escherichiacoli*). Эта бактерия обитает в огромных количествах в толстой кишке человека и отсутствует во внешней среде. *E.coli* не патогенна и даже необходима человеку, но ее присутствие во внешней среде - индикатор неочищенных канализационных стоков, в которых могут быть и патогенные микробы.

Для анализа берут пробы воды объемом 100 мл и подсчитывают содержание в них *E.coli*. Результаты оценивают по табл. 6.

Таблица 6. Категорирование загрязнения воды по содержанию кишечной палочки

Содержание <i>E.coli</i> в 100 мл воды	Категория загрязнения воды
0	Безопасна для питья
100-200	Безопасна для плавания
>200	Опасна для плавания

### **Оценка токсичности**

подавляющее большинство тестов токсичности воды в биоиндикации использует какой-либо один вид организмов: рачки дафния (*Daphniamagna*) и артемия (*Artemiasalina*), инфузория-туфелька, красные (*Champlaparvula*) и бурые водоросли (*Laminariasaccharina*), валлиснерия (*Vallisneriaamericana*), ряска.

У тест-организмов оценивают выживание, дыхательную активность и другие показатели [9]. Например, с помощью ряски можно обнаружить присутствие ионов тяжелых металлов двумя способами:

- по нарушению движения хлоропластов, которые не концентрируются в клетке со стороны источника света, а перемещаются хаотически;
- по отмиранию клеток листа, что можно обнаружить, используя специальный краситель, легко проникающий в мертвые клетки, но неспособный окрасить живые. Количество мертвых клеток пропорционально концентрации ионов тяжелых металлов в воде.

### **Эвтрофикация**

По содержанию в воде биогенов различают следующие трофические типы водоемов: олиготрофный (бедный биогенами), эвтрофный (богатый биогенами) и промежуточный мезотрофный. В олиготрофных водоемах недостаток биогенов не допускает развития фитопланктона (одноклеточных водорослей в

толще воды), но хорошо развивается бентосная растительность. Такие экосистемы включают много видов, они разнообразны и устойчивы. В эвтрофных водоемах обилие биогенов сопровождается массовым развитием фитопланктона, помутнением воды, обеднением бентосной растительности из-за недостатка света, дефицитом кислорода на глубине, что ограничивает биоразнообразие. Экосистема утрачивает многие виды, упрощается, становится неустойчивой.

Определить трофность водоемов можно с помощью биоиндикаторов. В эвтрофных водоемах обильны и разнообразны черви-коловратки и ветвистые рачки-дафнии, в олиготрофных - веслоногие рачки-циклопы.

Другая характеристика водоемов - это степень их органического загрязнения или сапробность. По мере поступления сточных вод образуются следующие зоны загрязнения: полисапробная,  $\alpha$ -мезосапробная,  $\beta$ -мезо-сапробная и олигосапробная. Первыми предложили определять степень загрязнения водоемов по живым организмам Кольквитц и Марсон (1908). Списки индикаторных организмов постоянно уточняются.

Для полисапробных водоемов характерны те же организмы, что и для эвтрофных, а также водоросль кладофора, колиформные бактерии, черви-трубочники, а из рыб - карпы. Олигосапробные водоемы отличают виды, свойственные олиготрофным водоемам, а также личинки насекомых: поденок, веснянок и ручейников.

Разработаны и количественные способы оценки водоемов:

- массовое развитие олигохет - индикатор спуска бытовых отходов. Предложено уровень загрязнения оценивать по плотности этих червей: слабое загрязнение - 100-999 экз/м<sup>2</sup>, среднее - 1000-5000; сильное >5000 экз/м<sup>2</sup>;
- индекс сапробности Сладечека  $S = sh/h$ .

Организмы полисапробы имеют значимость - 4,  $\alpha$ -мезосапробы - 3,  $\beta$ -мезосапробы - 2 и олигосапробы -1. Относительное количество особей ( $I$ ) учитывается в баллах: массовые скопления - 5, частая встречаемость -3, случайные находки - 1. В загрязненных водоемах индекс принимает значения от 4,51 до 8,5; в чистых -от 0 до 0,5.

Биоиндикация применяется в случаях:

- установления таксона почвы и ее происхождения;
- выяснения отдельных свойств почвы и почвенных процессов;
- оценки антропогенного вмешательства (рекреация, загрязнение, эвтрофикация почв).

Развитие методов биоиндикации применительно к почве связано с работами основателя отечественной почвенной зоологии М.С. Гилярова и его школы, обобщенными в книге [10]. Эта работа дала мощный импульс подобным исследованиям не только в нашей стране, но и за ее пределами.

### ***Установление таксона почвы и ее происхождения***

1. Выяснение природы красноцветных почв южного берега Крыма по данным почвенной фауны. По поводу происхождения этих почв существовали две гипотезы почвоведов: 1) это такие же почвы, как красноцветные почвы (terrarossa) в Италии, 2) это реликты третичной эпохи, которые должны исчезнуть.

По данным почвенной зоологии оказалось, что 96% всех видов беспозвоночных красноцветных почв Крыма имеют средиземноморское распространение или более широкое, и только 4% обитают в других областях. В других типах почв южного берега Крыма средиземноморские виды уступают широко распространенным. Беспозвоночные указывают на то, что условия обитания (и прежде всего гидротермический режим) в красноцветных почвах Крыма такой же, как и в других красных почвах Средиземноморья. Следовательно, с точки зрения почвенной зоологии, красноцветные почвы на выходах известняков в Крыму - это terrarossa, образующиеся в настоящее время, а не реликтовые почвы.

2. Выяснение природы почв безлесных горных вершин северо-западного Кавказа. Это степные участки на высоте, где мог бы расти лес. Почвы под ними специалисты относили то к черноземам, то к горно-луговым, то к перегнойно-карбонатным и т.д.

Учеты почвенной фауны показали, что она складывается в основном из тех

же видов, которые преобладают в почвах целинных разнотравно-ковыльно-типчаковых степей на равнине. Таким образом, по зоологической оценке почвы на вершинах являются своеобразными черноземами.

3. Черноземы иногда могут формироваться под светлыми дубовыми лесами (юг Молдавии, Центрально-Черноземный заповедник). Было показано, что население беспозвоночных здесь сходно с населением степей, а не лесов. В таких случаях животные более четко отражают почвенные условия, чем естественный растительный покров.

### ***Выяснение отдельных свойств почвы***

- *Механический состав*

Мокрицы - показатели тяжелых почв (в песчаных почвах их норки обрушиваются). По останкам пустынных мокриц установлено, что современные такыры недавно были солончаками.

Вертикальное распределение микроартропод коррелирует с общей порозностью почвы.

- *Виды гумуса*

Грубый гумус (мор) - диагностируют многоножки-геофилиды, мягкий гумус (муль) - личинки комаров-долгоножек. В настоящее время для отдельных групп, например, коллембол, выявлены виды, характерные для разных видов лесного гумуса.

- *Степень гумификации органических остатков*

Зоологическая характеристика компостов по Н.М.Черновой [11] позволяет отличать разные стадии созревания компостов по преобладанию разных групп беспозвоночных (в зрелых компостах много дождевых червей, среди коллембол преобладают белые почвенные формы).

Разные стадии разложения древесины осуществляются при участии разных групп организмов, которые могут служить индикаторами. Первую стадию маркируют жуки-усачи и короеды, вторую - ферментативная активность грибов, третью - муравьи и четвертую - дождевые черви.

- *Кислотность (pH)*

Кислотность - один из ведущих факторов, определяющих видовой состав и численность сообществ почвенных беспозвоночных. Численность дождевых червей, например, обычно прямо пропорциональна рН от 3 до 8.

- *Содержание кальция*

Калькофилы - это наземные раковинные моллюски, многоножки-диплоподы, сухопутные рачки-мокрицы, раковина или панцирь которых состоят в основном из углекислого кальция. Обилие этих групп в почве говорит о большом содержании кальция.

- *Гидротермический режим*

В Восточной Сибири встречаемость в почве личинок майского хруща говорит о том, что вечная мерзлота залегает не ближе 2,2-3 м от поверхности почвы и что зимой не происходит смыкания промерзшего слоя с вечной мерзлотой. В Европейской части присутствие личинок майского хруща - показатель глубокого залегания грунтовых вод.

### ***Диагностика элементарных почвенных процессов***

Существует 14 элементарных почвенных процессов (ЭПП), в том числе оглеение, олуговение, образование лесной подстилки, остепнение, засоление и др. Для диагностики этих процессов могут быть использованы экогруппы почвенных беспозвоночных, объединения видов со сходным пространственным распределением. Особенно наглядно выделяются экогруппы по катене - ландшафтному профилю, проходящему от местной депрессии к местному водоразделу. Так, для степной катены Барабинской низменности Мордкович выделил восемь экогрупп имаго жуужелиц: поименно-болотная, болотная, солончаковая, лесная, лугово-лесная, солонцовая, луговая и степная [12].

То, что виды предпочитают одну и ту же часть катены, говорит об их адаптированности к какому-то одному интегральному фактору, который является ведущим в данном типе почв. Таким фактором можно считать ЭПП, который влияет на жуужелиц через изменение экологической обстановки. В таком случае поименно-болотная экогруппа жуужелиц четко диагностирует место и интенсивность глеевого процесса в верхней части почвы, болотная - торфообра-

зование, солончаковая - солончаковый процесс (галобионты), лугово-лесная - осолодение, солонцовая - осолонцевание (мелкие плоские жужилицы, обитающие в трещинах), луговая - луговое гумусонакопление, степная - степной почвообразовательный процесс, лесная - процесс образования лесной подстилки.

Далее проводится диагностика типов почв по спектрам экогрупп. Тип почв характеризуется определенным сочетанием ЭПП. А так как каждому ЭПП соответствует определенная экогруппа, то типу почвы отвечает определенный спектр экогрупп. Например: обыкновенный чернозем отличается доминированием жужилиц степной экогруппы (74%), что указывает на определяющую роль степного гумусонакопления в процессе формирования чернозема. Наличие 15% луговых видов маркирует проявление процесса олуговения во влажные сезоны. Небольшая доля участия других экогрупп (болотной, лугово-лесной, солонцовой и лесной) свидетельствует о былом гидроморфизме чернозема и его возможной облесенности в прошлом.

*Ограничение метода:* для каждого региона нужно разрабатывать свои экогруппы организмов.

### ***Антропогенное воздействие на почвы***

В предыдущих разделах (биоиндикация на разных уровнях организации) было рассмотрено достаточно примеров биоиндикации загрязнений и других нарушений почвы. В этой части мы хотели бы остановиться на многокомпонентных тест-системах, предназначенных для биотестирования почвенного и снежного покрова.

Такие системы, по Кабирову с соавторами [13], должны включать:

- 1) про- и эукариотические организмы,
- 2) представителей двух трофических уровней: автотрофов и гетеротрофов,
- 3) представителей из основных функциональных блоков наземных экосистем - продуцентов, консументов и редуцентов,
- 4) представителей из основных царств живого - бактерий, грибов, растений, животных,

5) тест-организмы, хорошо растущие в лабораторных условиях,

6) организмы, обладающие высокой чувствительностью к наиболее распространенным загрязнителям природной среды,

7) организмы с широкими ареалами распространения, с хорошо изученной экологией и биологией,

8) такие тест-реакции тест-объектов, регистрация которых не требует сложной и дорогостоящей аппаратуры, но в то же время несущих достаточный объем информации.

Те же авторы предлагают следующий состав многокомпонентной тест-системы:

1) синехоцистис водяной (цианобактерия, прокариот, автотроф, продуцент, распространен в солоноватых или загрязненных водоемах и почве),

2) хлорелла обыкновенная (низшее растение, эукариот, продуцент),

3) пенициллум циклопиум (гриб, эукариот, гетеротроф, сапрофит, консумент),

4) овес посевной (высшее растение, эукариот, автотроф, продуцент).

У этих тест-растений определяют следующие тест-реакции:

- у цианобактерий и микроскопических водорослей - размножение и рост клеток в почвенной вытяжке. Увеличение численности клеток измеряют по изменению оптической плотности суспензии на фотоэлектроколориметре или на спектрофотометре;
- у микроскопических грибов - рост колоний на агаровой среде, приготовленной на почвенной вытяжке;
- у высших растений - всхожесть и энергия прорастания семян, замоченных в почвенной вытяжке.

### ***Обобщение принятых в биоиндикации подходов к анализу результатов***

Из приведенных выше разделов ясно, что такие сложные биологические объекты, как популяции, сообщества, экосистемы в воде или на суше можно описывать с использованием двух разных подходов:

- *микроскопический* подход предполагает накопление по возможности полной

информации о наибольшем числе биологических показателей. Эти показатели пытаются связать с характеристиками среды системой уравнений. Подход используют для моделирования.

- *макроскопический* подход основан на выборе немногих, но наиболее информативных показателей. Они могут быть двух категорий: дескрипторы и маркеры.

*Дескрипторы* - это интегральные характеристики, получаемые из совокупности показателей «микроскопического» описания (например, индекс биологической интегрированности).

*Маркеры* - наиболее существенные, ключевые характеристики, выбранные из числа прочих, такие как видовое разнообразие или продуктивность экосистем.

-4-

Чтобы рассчитать затраты на проведение биоиндикации, нужно определиться с необходимым уровнем предполагаемого исследования [3]. Так, в случае возможного загрязнения среды помогут следующие вопросы:

Уровень 1 - Есть ли нарушение среды?

Уровень 2 - Какая группа загрязнителей его вызывает?

Уровень 3 - Какой конкретно специфический загрязнитель его вызывает?

Чем выше уровень, тем больше затраты на проведение исследования. Стоимость исследований также зависит от двух качеств биоиндикатора:

- аккуратности (близость оценок к реальным данным);
- точности (разброс данных).

Возможны следующие сочетания этих качеств у биоиндикатора:

- 1) неточные и неаккуратные (широкий разброс данных, удаленных от реальной оценки);
- 2) неточные, но аккуратные (широкий разброс данных вблизи от реальной оценки);
- 3) точные, но неаккуратные (небольшой разброс данных, но они далеки от реальной оценки);

4) точные и аккуратные (слабый разброс данных вблизи от реальной оценки). Соответственно, применение точных и аккуратных биоиндикаторов требует больших затрат на исследования.

-5-

В настоящее время состояние биоиндикации характеризуется следующими важнейшими особенностями:

- признание важности использования биоиндикаторов на всех уровнях организации живого;
- предпочтение интегрированных показателей состояния биологических систем;
- рост шкал исследования из-за понимания, что локальная угроза может стать региональной и биосферной;
- переход от точки зрения, что оптимальным является состояние природы до вмешательства человека, к распознаванию многих «приемлемых» состояний под влиянием человека;
- понимание необходимости распознавать ранние симптомы нарушения, пока расходы на восстановление не стали слишком велики.

***Контрольные вопросы:***

1. Перечислите методы биоиндикации загрязнения воздушной среды.
2. Какие существуют методы биоиндикации загрязнения водной среды?
3. Что Вы знаете о методах биоиндикации состояния и загрязнения почвы?

**Лекция 4. ПРИЧИНЫ И ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И ИХ БИОИНДИКАЦИЯ**

План:

1. Загрязнение и его виды.
2. Физическое изменение почвы.
3. Химическое загрязнение почвы.
4. Биологическое загрязнение почвы.

**Под загрязнением** понимают *привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, информационных или биологических агентов или превышение в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня (в пределах его крайних колебаний) концентрации перечисленных агентов в среде, нередко приводящее к негативным последствиям (Реймерс, 1990).*

Известно большое число примеров прямых антропогенных, а также опосредованных человеком воздействий окружающей среды на почву, способствующих ее загрязнению. Будучи частью всех наземных экосистем, почва активно участвует во многих важных процессах преобразования веществ.

Когда происходит количественное изменение долгое время державшихся на одном уровне факторов окружающей среды, или вступают в действие совершенно новые экологические факторы, влияющие на почву, могут возникнуть нагрузки, которые нанесут вред почвенным организмам или даже изменят систему ценотических взаимоотношений между ними.

Загрязнение почвы вызывается различными по масштабу и по территориальному размаху явлениями, поэтому при их определении и оценке с помощью биоиндикаторов используют различные предпосылки и соответственно различные способы.

Выделяют:

1. Широкомасштабное территориальное (глобальное) загрязнение почвы, вызываемое совокупностью большого числа отдельных источников, не поддающихся более детальной идентификации;

2. Территориально ограниченное загрязнение, причиной которого является в большинстве случаев более или менее известное небольшое число ограниченных по своему территориальному влиянию источников;

3. Локальное узкоограниченное загрязнение почвы с кратко- или долгосрочным воздействием на отдельные организмы и экосистемы. Загрязнение поч-

вы проявляется в основном в трех формах:

- *физическое изменение* связано с различными, прежде всего механически действующими, агентами, способными, особенно если они влияют на ризосферу, привести к существенным нагрузкам на соответствующие экосистемы. Они могут быть связаны с химическими изменениями или часто приводят к таким изменениям;

- *химическое загрязнение* вызвано веществами, действующими в виде газов, растворов (в большинстве случаев водных) или твердых тел и не вызывающими при этом, по крайней мере в начальной стадии, изменений физического характера;

- *биологическое загрязнение* связано с попаданием в почву чужеродных микроорганизмов, бытовых и сельскохозяйственных отходов и отходов, а также за счет отходов микробиологических производств.

-2-

В случае необрабатываемых почв изменение вследствие антропогенных физических нагрузок в близких к природным экосистемах (например, лесах), как правило, относительно невелико. В экосистемах с повышенной антропогенной нагрузкой оно может принять более широкие масштабы.

Как правило, сильно подвержены физическим нагрузкам все имеющие антропогенное происхождение, т. е. сильно измененные почвы. Это относится к большей части почв (по крайней мере, на начальных стадиях), возникающих в процессе рекультивации бывших горных разработок, на месте поселений или промышленных предприятий.

*Причинами физических нагрузок на почву являются:*

а) прямые механические воздействия:

- повышенное давление на поверхность почвы (транспорт, например, тракторы; вытаптывание);

- особые агротехнические мероприятия, проводимые в пахотном слое почвы или в подпочве;

б) процессы, связанные с перемещением почвы:

- водная эрозия;

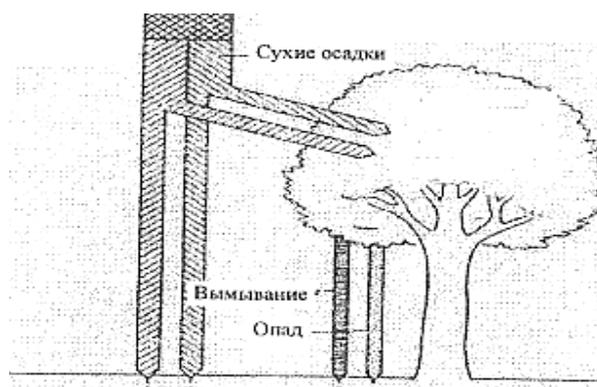
- эоловые отложения (особенно вследствие промышленных выбросов).

*Изменение почвенных параметров* касается, прежде всего, сложения и структуры почвы, например, ее порозности и плотности горизонтов, что может привести к уменьшению вентиляции и дренажа.

На уровне фитоценозов это сказывается в затруднении прорастания семян и проникновения корней в почву с последующим замедлением роста корней и побегов. Следует различать воздействия, проявляющиеся первично только в почве, и те, которые затрагивают одновременно напочвенный ярус или связаны в основном с ним (нагрузка на растительность в результате вытаптывания). В почвенных ценозах происходит снижение активности и обилия микроорганизмов, разлагающих органические вещества. Параллельно в лаборатории и в поле можно провести исследования важных экологических параметров (прорастание, рост побегов и корней, продуктивность). Подорожник *Plantago major* демонстрирует, например, видоспецифичные различия в отношении к уплотнению почвы (вытаптыванию). В результате представляется возможным путем оценки популяционно-экологических параметров названных видов использовать полученные данные для биоиндикации. Действие на *фитоценозы* можно проследить, анализируя описания растительности или с помощью длительных наблюдений на экспериментальных квадратах.

-3-

Загрязнение почвы, обусловленное химическими причинами, значительно превосходит по своему воздействию как в количественном, так и в качественном отношении все виды ее физического изменения. При этом прямое и косвенное загрязнение удается разграничить не всегда (рис.4).



Влажные осадки  
Выпадение на почву и  
поступление в нее веществ

из атмосферы

Рис. 4. Влияние фитоценоза на процесс выпадения веществ из атмосферы на почву

Химическое загрязнение почвы вызывается разными причинами. Оно проис-

ходит либо сознательно (например, в результате применения средств защиты растений), либо непреднамеренно (в случае промышленных выбросов). В соответствии с этим в большинстве случаев с территориальной точки зрения различными могут быть и радиус действия и интенсивность загрязнения. Исходя из агрегатного состояния (газообразного, жидкого, твердого) и способа действия загрязнителей, упрощенно их можно подразделить на следующие группы:

- *газы* (особенно серосодержащие промышленные выбросы, галогениды и окислы азота);
- *пыль* (зола, известковая пыль, частицы, содержащие тяжелые металлы, особенно промышленные выбросы);
- *соли* (переносимые воздухом и водой, особенно при посыпании зимой улиц для удаления льда или при добыче и переработке соли);
- *агрохимикаты* (средства защиты растений, удобрения);
- *органические газы и жидкости* (прежде всего продукты ископаемых видов топлива);
- *радиоактивные осадки* (главным образом при загрязнении ими воздуха).

Изменение химических параметров почвы отражается спустя короткий или длительный период на росте и продуктивности отдельных видов, их популяций или приводит к более или менее сильным нарушениям структуры фитоценозов и даже к развитию сукцессии.

*Консументы* и *деструкторы* часто испытывают при этом косвенное влияние в результате изменений структуры фитоценозов, количественных или качественных перемен в доступности пищи. Это в свою очередь отражается на их активности и обилии. Химические изменения почвы часто приводят в силу своей сложности к структурным изменениям на нескольких трофических уровнях.

По причине физико-химической специфики отдельных почв при одинаковой интенсивности и продолжительности действия химического стрессора степень и форма возникающего химического загрязнения может быть различной. Для биоин-

дикации это важно, поскольку между химической обстановкой и ее влиянием на биоценоз не обязательно существует линейная зависимость. По этой причине решающее значение для действия на биологическом уровне имеет соотношение интенсивности стрессора и специфической реакции буферной системы почвы.

### **Загрязнение сернистым газом**

Загрязнение почв сернистым газом (или соответствующими продуктами его окисления –  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) в полевых условиях, как правило, происходит вместе с загрязнением другими газами (прежде всего  $\text{M}_x\text{O}_y$ ) или пылью, и потому его непосредственное влияние вряд ли поддается определению. Действие сернистого газа в зависимости от интенсивности загрязнения выражается прежде всего в подкислении почвы, захватывающем главным образом ее поверхностные горизонты.

По сравнению с оценкой загрязнения воздуха газообразным сернистым газом экологическая оценка его вредного воздействия на почву затруднена прежде всего тем, что часто одновременно происходит оседание пыли, имеющей главным образом основную реакцию. В зависимости от доли каждого из этих стрессоров уже в воздухе может начаться частичная нейтрализация. В случае известковой пыли этот процесс может быть настолько интенсивным, что приведет к нейтрализации и даже подщелачиванию почвы. При известном источнике на этой основе возможно разграничение различных зон загрязнения.

Специфическое воздействие подкисления почвы на растения объясняется во многих случаях не столько их непосредственной чувствительностью к снижению рН, сколько:

- дефицитом важных минеральных веществ в результате повышения их подвижности и вымывания (прежде всего кальция, магния, калия);
- токсичностью растворимых ионов алюминия, появляющихся при падении рН ниже 4, и косвенными последствиями их растворимости (в частности, связыванием фосфат-иона).

Если необходимо оценить влияние кислотного дождя на почву средствами биоиндикации, т.е. по растительности, имеются следующие возможности:

- опыты по стандартизированному выращиванию специально подобранных

кислотоустойчивых или кислоточувствительных видов на субстратах с соответствующим химическим загрязнением. В зависимости от постановки опыта (определение краткосрочных или долгосрочных воздействий стрессора) нарушения изучаются на биохимическом, физиологическом, морфометрическом или продуктивно-экологическом уровне;

- оценка изменений естественных фитоценозов по соответствующим структурным параметрам вдоль градиента загрязнения. Использование данных, полученных на площадках, для длительных наблюдений.

### **Загрязнение пылью и золой**

Воздействие пыли на почвы и наземные экосистемы в целом существенно различается в зависимости от ее происхождения и, следовательно, состава. Экологически существенные воздействия при загрязнении пылью оказывает в двух основных направлениях:

- изменение общей насыщенности основаниями (интегрированным выражением этого являются в основном сдвиги рН, преимущественно в нейтрально-основную область);

- накопление металлов (прежде всего тяжелых).

Обе формы загрязнения могут выступать как в более или менее независимой друг от друга форме, так и совместно.

Большое значение имеют *пылевые известковые выбросы*, приводящие, прежде всего в слабо забуференных кислых почвах, к изменению рН до нейтральных и основных значений.

Особенно страдают от подобных изменений почвенного субстрата фитоценозы и живущие в почве группы организмов, разлагающих органические вещества. Примеры оценки таких изменений на трофическом уровне продуцентов можно получить как на основе популяционной динамики соответствующих видов, так и по структурным параметрам фитоценозов на площадках длительных наблюдений.

Биоиндикационные выводы о градиентах загрязнения должны учитывать и другие абиотические факторы, которые важны для отбора, а также оценки пригодности биоиндикаторов.

Особое значение имеет загрязнение почвы пылью, содержащей тяжелые металлы, что связано с высокой чувствительностью многих организмов к повышенному содержанию этих элементов. Это в особенности относится к группам организмов, которые потребляют тяжелые металлы вместе с питательными веществами непосредственно из почвы и включают их таким образом в свой обмен веществ.

К тяжелым металлам относятся как микроэлементы, имеющие более или менее важное значение для питания организма (магний, цинк, медь, кобальт и молибден), так и элементы с ограниченными (никель, ванадий) или до сих пор недостаточно изученными физиологическими функциями и экологической ролью (кадмий, мышьяк, уран, свинец, хром, ртуть). Доля отдельных элементов в общем содержании тяжелых металлов весьма различна в почвах, обогащенных ими как природным, так и антропогенным путем. Почвы, обогащенные тяжелыми металлами без участия человека (например, у выходов рудных жил), в которых концентрация перечисленных микроэлементов может достигать уровня макроэлементов, существуют в различных частях света. Их наличие дает основу для эволюционного развития *устойчивых к тяжелым металлам популяций растений*, которые существовали еще до антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами.

Растениям, не обладающим такой устойчивостью, при загрязнении почвы тяжелыми металлами наносится большой вред, что выражается в соответствующих токсикологических симптомах. Вопреки ранее существовавшим утверждениям, сегодня можно с уверенностью говорить, что не существует общей устойчивости к тяжелым металлам. Она вырабатывается лишь по отношению к одному или нескольким из них, находящимся в данном местообитании в избытке.

Решающим при токсичном действии тяжелых металлов на растительные организмы является не столько их общее содержание в почве, сколько концентрация в доступном для организма состоянии. Эта концентрация вблизи природных местонахождений тяжелых металлов бывает повышена по сравнению с «нормальной» в 10-10000 раз; таких же величин она может достигать в антропогенно обогащенных тяжелыми металлами почвах.

Для биоиндикации экологических воздействий загрязненных тяжелыми ме-

таллами почв используются в зависимости от поставленных задач различные способы.

Как известно из исследований многих авторов, загрязнение субстратов тяжелыми металлами приводит у растений из нормальных местообитаний к изменениям активности ферментов. Поэтому можно оценить нагрузку на первичный обмен веществ с помощью раннедиагностического тестирования о возможностях биоиндикации влияния на растения, например, свинца по особенностям ферментов (эстеразы, малатдегидрогеназы, кислой фосфатазы, пероксидазы) с одновременным учетом их ферментативной активности.

Для определения косвенной оценки вреда, наносимого росту и продуктивности растений, можно использовать *опыты по культивированию*. Двухгодичные саженцы деревьев с различной чувствительностью исследуются на экспериментальных субстратах со ступенчато изменяющейся концентрацией загрязнителей. Для целей биоиндикации пригодны следующие параметры: выживаемость, рост корней и побегов, некрозы листьев и хвои.

В целях сохранения близкой к природной растительности, а также для растениеводческих и лесоводческих целей в условиях антропогенного загрязнения особое значение придается вопросу о том, насколько имеющиеся растения уже обладают устойчивостью к тяжелым металлам. Для проверки этого существует несколько способов, например, *сравнительное измерение роста корней*.

Следует также упомянуть о возможности использования *почвенных организмов* для оценки влияния загрязнения тяжелыми металлами. Установление соответствующих параметров жизнедеятельности может дать указания об изменении деструкторных возможностей почвенных организмов и тенденциях в этом направлении.

### **Загрязнение солями щелочных и щелочноземельных металлов**

Антропогенное загрязнение почвы растворенными или твердыми солями щелочных и щелочноземельных металлов возникает в результате:

- недостаточной эффективности дренажных систем при орошении сельскохозяйственных культур в аридных зонах;
- деятельности соледобывающих или солеперерабатывающих предприятий;

- применения солей (в растворе или твердых) для очистки улиц ото льда. От этого страдают в первую очередь относительно узкие полосы земли вдоль шоссе в населенных пунктах и вне их.

Физиолого-биохимическое воздействие солевого стресса и реакция на него как солечувствительных гликофитов, так и более или менее солеустойчивых галофитов исследовано уже достаточно детально.

Для биоиндикации в каждом конкретном случае важно знать причины различий в солевом стрессе у отдельных видов при равной интенсивности загрязнения. Весьма неодинаковый ущерб, наносимый солью растущим вдоль шоссе деревьям, объясняют прежде всего видоспецифичным поглощением соответствующих ионов ( $N^{3-}$ ,  $Cl^{-}$ ). Несколько иными причинами вызываются различия в ущербе, наносимом деревьям и травяной растительности. Последняя в силу недолговечности ассимиляционных органов (в частности, побегов), очевидно, меньше повреждается солями, поскольку не происходит их накопления в результате многолетнего поступления в организм. После быстрого вымывания токсичных хлоридов из корневой области даже при достаточно высокой концентрации катионов (например,  $Mg^{+2}$ ) можно наблюдать положительное воздействие на продуктивность.

В отношении биоиндикации солевого загрязнения можно рекомендовать оценку *кратковременного воздействия* загрязненных почв на травянистые растения в экспериментах по определению прорастания и развития этих растений.

*Опыты с прорастанием семян* особенно пригодны для оценки загрязнения поверхности почвы и ее верхних горизонтов (0-5 или 0-10 см глубины). С этой целью семена соответствующих видов, иногда солеустойчивых, высеваются в чашках Петри (диаметром от 9 до 12 см) на различных почвах. Как было показано в экспериментах, вместе с повышением концентрации солевого раствора в почве происходило сильное замедление прорастания семян и заметно уменьшался процент всхожести.

*Ростовые опыты* заключаются в высаживании стандартизированных видов фитоценозов в интересующих исследователя местообитаниях в открытый грунт или в сосуды, причем диапазон применяемых концентраций и продолжительность

опыта варьируют.

Долговременное воздействие засоленных почв можно проследить на древесных породах.

У долгоживущих растений существует тесная взаимосвязь между специфическим для каждого органа содержанием поступивших ионов солей ( $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) и степенью повреждения.

Причиной ущерба наряду с идущим поступлением солей может быть и их накопление в прошедшие годы. В экспериментах установлена взаимозависимость между содержанием соли в древесине и коре у особо солечувствительной и потому сильно страдающей у обочин дорог липы мелколистной.

Содержание солей в коре деревьев позволяет провести раннюю диагностику степени повреждения. Если в средних и внутренних слоях коры у липы превышены показатели 7,5 мг-экв  $\text{Cl}^-$  и 5,0 мг-экв  $\text{Mg}$ , следует ожидать от среднего до тяжелого поражения дерева.

Существуют методы оценки ущерба в результате длительного воздействия солей путем измерения годовичных колец.

Оценка повреждения солями и солеустойчивости при подъеме грунтовой воды или затоплении может применяться не только для морских побережий, но и для берегов рек с относительно высокой концентрацией солей.

### **Загрязнение агрохимикатами**

Загрязнение почвы, вызванное использованием агрохимикатов, связано, прежде всего, с применением средств защиты растений, регуляторов роста и удобрений. В зависимости от их назначения эти вещества воздействуют на биоценозы по-разному.

Среди средств защиты растений (СЗР), вероятно, наиболее широко-масштабное воздействие на пространственные и функциональные отношения в экосистемах оказывают *гербициды*. Их воздействие зависит в каждом отдельном случае от химического состава, применяемой концентрации и степени их стойкости и проявляется после поступления в почву и адсорбции (порядка 30-50%) на гумусных и глинистых коллоидах. Разложение гербицидов происходит как абиотическим (химическим), так и биотическим (прежде всего микроорганизмами) путем.

С точки зрения биоиндикации интерес представляют следующие вопросы:

- определение стойкости гербицидов в связи с отрицательным воздействием на культурные растения их остатков (например, у гербицидов с многомесячной стойкостью типа триазинов) методом ранней диагностики в опытах с высшими растениями и микроорганизмами;
- определение изменений на уровне популяции уничтожаемых организмов (сорняков). Это относится как к их ценозам, так и к консументам и деструкторам, взаимодействующим с ними в данной экосистеме.

Экологически высокосзначимы, но еще недостаточно изучены (особенно с точки зрения длительности) прямые и косвенные изменения агроэкосистем под действием гербицидов. Как показали исследования последних лет, их применение приводит к длительным изменениям на уровне консументов и деструкторов. Перечисленные на примере гербицидов возможности биоиндикации при оценке воздействия загрязненной почвы на автотрофные и гетеротрофные организмы применимы и для других групп СЗР.

В то время как СЗР всегда используются для подавления определенных групп организмов, цель внесения *азотных удобрений* - *повышение* урожаев культурных растений в результате улучшения плодородия почвы. При значительном внесении азота в экосистемы может возникнуть иногда существенное загрязнение. Оно влияет на чувствительные культуры за счет накопления токсичных концентраций нитратов, а кроме того, приводит к изменению или нарушению структуры ценозов. В фитоценозах это выражается в стимуляции нитрофильных видов, которые вытесняют другие, менее конкурентоспособные растения. До сих пор еще недостаточно изучено воздействие на уровне деструкторов.

### **Загрязнение органическими газами и жидкостями, а также радиоактивными веществами**

Загрязнение почвы названными группами веществ происходит главным образом при различных видах аварий. К самым впечатляющим относятся, несомненно, аварии с нефтеналивными танкерами у морского побережья. Менее заметны, но не менее важны с точки зрения возможных последствий для организмов и пищевых

цепей локальные загрязнения на суше (например, при выбросе из-под земли нефти). Сюда же относятся иногда вначале скрытые результаты загрязнения почвы при утечке газа или нефти из подземных газо- и нефтепроводов.

Именно в таких случаях биоиндикация создает благоприятные предпосылки для ранней диагностики нарушений.

Воздействие на почву неодинаково в зависимости от источника загрязнения. Здесь уместно привести пример с *природным газом* и возможностями использования биоиндикаторов: газ вызывает нарушения роста в подземных органах растений. Это связано в первую очередь с недостатком кислорода, влияние же самой газовой смеси в деталях еще недостаточно исследовано. При этом саженцы тополей показали себя очень чувствительными биоиндикаторами.

По биоиндикации загрязнения почвы *радионуклидами* пока отсутствуют обзорные работы. Труднодоступность материала и его анализа, а также возможная опасность подобных исследований обуславливают недостаток данных для широкой оценки применения аккумулятивных биоиндикаторов загрязнения (как фонового, так и в результате аварии). Однако создается впечатление, что лишайники накапливают большие количества радиоактивных веществ и потому могут использоваться в качестве аккумулятивных биоиндикаторов.

-4-

Загрязнение почв чужеродными микроорганизмами происходит в результате попадания в почву бытовых и сельскохозяйственных отходов и отбросов, а также за счет аэрозолей микробиологических производств. С бытовыми отбросами в почву могут попадать потенциально опасные микроорганизмы (патогенные и токсико-генные), способные вызывать кишечные инфекции и пищевые отравления у человека, эпидемические заболевания у животных, токсикозы растений.

В санитарно-эпидемиологических почвенных исследованиях определяют содержание в почвах бактерий группы кишечной палочки и патогенных клостридий и бацилл - возбудителей столбняка, сибирской язвы, газовой гангрены и др. Бактериальные энтомопатогенные препараты (энтомобактерин, дендробациллин, боверин, мускардин) содержат споры бацилл, которые в течение многих лет сохраняются и

размножаются в почве. При применении этих препаратов методами аэораспыления происходит массовое обсеменение растительности и почвы спорами этих бактерий, что приводит к нарушению природного равновесия в микробных сообществах.

Почва способна к самоочищению от несвойственных ей микроорганизмов. Механизмы, лежащие в основе самоочищения почв, могут быть разной природы.

В первую очередь это связано с отсутствием в почвенной среде условий, необходимых для развития попадающих извне микроорганизмов, а также неблагоприятного действия физических и химических факторов (кислотности, высушивания, солнечной радиации и т.д.).

Другой механизм элиминации микроорганизмов - взаимодействие с членами почвенной биоты: выедание, лизис и др. В некоторых случаях, при загрязнении небольших территорий, рекомендуется применять для очистки почв химические дезинфектанты (формалин, окись этилена, тиазол и др.) или специфические препараты пестицидов.

Нарушение экологической среды под влиянием разного рода загрязнителей - одна из важнейших проблем современности, поэтому разработка принципов и методов ранней диагностики повреждения почвенной биоты под их воздействием представляет собой одну из самых насущных задач биологии почв.

***Контрольные вопросы:***

1. Что такое загрязнение?
2. Классификация загрязнений.
3. Дайте характеристику физического воздействия на почвы.
4. Что такое химическое загрязнение почв?
5. Охарактеризуйте загрязнение почв сернистым газом.
6. Охарактеризуйте загрязнение почв пылью и золой.
7. Охарактеризуйте загрязнение почв солями щелочных и щелочноземельных металлов.
8. Охарактеризуйте загрязнение почв агрохимикатами.
9. Охарактеризуйте загрязнение почв радионуклидами.
10. Что такое биологическое загрязнение почв?

## Лекция 5. ФИТОИНДИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ПОЧВ

План:

1. Классификация важнейших методов биологического исследования почв и основные принципы их применения.
2. Общая характеристика фитоиндикации.
3. Виды фитоиндикаторов.
4. Практическое применение фитоиндикации.
5. Зональные особенности фитоиндикационных исследований.

-1-

Для биоиндикации пригодны два подхода.

**Пассивный мониторинг** - у свободноживущих организмов исследуются видимые или незаметные повреждения или отклонения от нормы, являющиеся признаками антропогенного воздействия. Такой тип мониторинга не позволяет выделить качественные и количественные особенности отдельно взятых факторов - оценивается только суммарная нагрузка.

**Активный мониторинг** - оценка тех же воздействий на тест-организмах, находящихся в стандартизированных условиях. При проведении такого типа мониторинга рекомендуется одновременно подвергать воздействию несколько видов организмов, различающихся по их устойчивости.

При биоиндикации необходимо соблюдать следующее:

1. Относительная быстрота проведения.
2. Получение достаточно точных и воспроизводимых результатов.
3. Присутствие объектов, применяемых в целях биоиндикации, по возможности в большом количестве и с однородными свойствами.
4. Диапазон погрешностей по сравнению с другими методами тестирования не более 20%.

Комплексный подход при наблюдении за состоянием природных и антропогенно нарушенных экосистем обязательно предполагает включение важнейших методов биологического исследования почв: ботанических, микробиологических, био-

химических и зоологических.

-2-

Основные положения теории фитоиндикации разработаны в 50-60-х годах С.В. Викторовым, Е.А. Востоковым и Д.Д. Вышивкиным и входят в особый раздел геоботаники - «Индикационная геоботаника», который изучает теоретические основы и практические способы использования растительного покрова и составляющих его видов как индикаторов условий среды.

В зависимости от объектов индикации различают:

- педоиндикацию (индикация почв),
- гидроиндикацию (индикация грунтовых вод),
- галоиндикацию (индикация засоления почв и грунтов).

Основными задачами фитоиндикационных исследований являются:

1. Выявление индикаторов.
2. Оценка эффективности и надежности различных индикаторов.
3. Изучение биологии и экологии индикаторов и характера их связи с индикатором.
4. Индикационное районирование (изучение географической обусловленности индикационных связей).
5. Индикационное картографирование (отображение индикационных связей).
6. Изыскание эффективных путей использования фитоиндикаторов в народном хозяйстве.

Для достижения этих задач необходимо установить:

- индикационные связи (т.е. связь растительности с определенными экологическими факторами);
- тесноту этих связей;
- достоверность и значимость фитоиндикации.

**Достоверность** определяет собой степень постоянства связи индикатора и объекта индикации, т.е. надежность индикатора.

**Значимость** показывает, насколько часто встречается индикатор на объекте

индикации, т.е. характеризует его практическую эффективность. Оценка тесноты связи индиката и индикатора определяется с помощью различных коэффициентов (коэффициенты сопряженности Фордеса, Юла, Пирсона, Дайса, Викторова, Коула). Одним из наиболее простых является коэффициент Дайса, сходный с коэффициентом достоверности С.В. Викторова:

$$K_d = \frac{a \times 100\%}{a+c}$$

где а - число пробных площадей, где совпадают индикат и индикатор; с - число пробных площадей, где есть только предполагаемый индикатор.

На его основе, в результате многочисленных геоботанических исследований, С.В. Викторовым, Е.А. Востоковой и Д.Д. Вышивкиным были разработаны широко используемые шкалы достоверности.

-3-

Растительные индикаторы, как правило, устанавливаются на определенных участках (ключевых или эталонных), затем полученные ботанические признаки экстраполируются на ряд аналогичных территорий или объектов.

В основу экстраполяции фитоиндикаторов должны быть положены ландшафтные принципы дифференциации: зональный, региональный, локальный.

**Зональные индикаторы.** Их экстраполяция ограничена границами зон. Они утрачивают или изменяют свое индикационное значение при переходе из одной зоны в другую.

**Региональные индикаторы** сохраняют свое индикационное значение в пределах географических округов, провинций, районов и областей, их экстраполяция ограничена границами районов.

**Локальные индикаторы** сохраняют свое индикационное значение в пределах определенных структурных компонентов: ландшафтов, местностей, урочищ, фаций. Их экстраполяция ограничена рамками этих компонент.

Обязательное использование характеристики растительности при описании почв привело к тому, что к настоящему времени накопился уже большой материал по взаимосвязи почв и растений. Методы фитоиндикации применяют при бонитировке почв, почвенных свойств и процессов. Например, путем анализа состава и

структуры растительных сообществ, распространения растений-индикаторов или определения индикаторных признаков у отдельных видов растений можно установить тип почвы, степень ее гидроморфизма, развитие процессов заболачивания, соле-накопления и т.д.

Представители экологических групп растений являются по сути индикаторами различных почвенных условий: механического состава почв (аргилло-, лито-, хаемо- и псаммофиты), степени обогащенности питательными элементами (нитрофилы, олиго-, эу- и эвритрофы), засоленности (гало- и гликофиты), кислотности или щелочности (ацидо-, бази- и нейтрофилы), особенностей увлажнения и глубины залегания грунтовых вод (гигро-, гидро-, мезо-, психро-, ксеро-, тропо- и фреатофиты).

Установление соответствия между растительным покровом и таксономическими единицами или отдельными свойствами почв показывает, что разные по объему таксономические единицы почв (индикаты) выявляются разными таксономическими единицами растительности (табл. 7).

Таблица 7. Сопряженность различных классификационных единиц растительного покрова с типами и некоторыми свойствами почв

Индикат	Индикатор			
	Ассоциация	Группа ассоциаций	Класс ассоциаций	СГС
Тип почв	100/1,0*	100/1,0	85/0,7	83/0,8
Гранулометрический состав	82/0,7	64/0,4	50/0,2	30/0,2
Засоление	100/1,0	65/0,4	56/0,3	78/0,6
Оглеение	100/1,0	-	90/0,9	76/0,7

\* - коэффициент достоверности Викторова / коэффициент Коула.

Ассоциации и группы ассоциаций являются надежными индикаторами типов почв. Классы ассоциаций выходят за пределы типов. Синэкологические группы сообществ (СГС) сопоставимы с классами ассоциаций, но отличаются по индикационному значению. Механический состав плохо индицируется всеми классификационными единицами растительности, что связано, видимо, с его косвенным влияни-

ем на растительный покров. Такие процессы, как засоление и оглеение, хорошо диагностируются большинством классификационных единиц растительного покрова.

В каждом типе местообитаний может существовать определенный набор растительных сообществ, приспособленных к экологическим условиям данного местообитания. Выявление эколого-фитоценологических рядов лесных, луговых и др. сообществ по ступеням изменения увлажнения, трофности, засоленности и др. факторов среды имеет большое значение для сельскохозяйственной оценки земель, геоботанического картографирования и т.п.

В индикационных исследованиях различной направленности широко используются эдафифитоценологические ряды типов леса В.Н. Сукачева, показывающие, как ассоциации и группы ассоциаций последовательно располагаются в зависимости от изменения какого-либо экологического фактора; эдафическая сетка П. Погребняка классифицирует леса по ступеням (топам) влажности (гигротопы) и трофности (трофотопы). Крупный вклад в классификацию местообитаний внес Л.Г. Раменский. В его шкалах за основу взята реакция растений на изменения условий жизни при совместном существовании в фитоценозах, и по ним для каждого растения может быть составлена экологическая формула приуроченности растений к определенным местообитаниям. Шкалы позволяют проводить экологический анализ условий и составлять эколого-фитоценологические ряды растительных сообществ.

Объектами фитоиндикации могут быть не только почвы, породы, подземные воды как таковые, но и различные процессы. Индикаторами процессов являются ряды сообществ, возникшие в ходе экзодинамической или эндодинамической сукцессии. Наибольшее индикационное значение имеют так называемые экологогенетические сукцессионные ряды. В них фитоценозы располагаются в пространстве в той последовательности, в которой они сменяют друг друга во времени.

-4-

Сукцессионные ряды, диагностирующие различные процессы, получили практическое применение. Наиболее важной является фотоиндикация ранних стадий экзо- и эндогенных изменений, особенно тех, которые могут нанести ущерб народному хозяйству. Индикация процессов по ранним стадиям их проявления называется

**прогнозной.** Она позволяет заблаговременно принять меры к торможению тех или иных процессов. В этом случае фитоиндикаторы являются наиболее эффективными, т.к. они быстрее других реагируют на изменения условий. Например, возникновение первых очагов дефляции в закрепленных песках можно заметить по появлению мелких участков с пионерами-псаммофитами. В горах по фитоиндикаторам можно определять очаги процесса формирования селей. Ими являются площади с остатками горных лесов и с развитием на склонах влаголюбивой растительности из различных фреатофитов, что свидетельствует о переувлажнении склона и о способности грунтов, слагающих его, быстро терять устойчивость при ливневых осадках.

Фитоиндикация процессов получила применение в исследованиях, связанных с мелиорацией земель. Фитоиндикаторы помогают распознавать площади, нуждающиеся в таких мероприятиях, а также определять их желательное направление. Такая индикация называется **предваряющей**, т.к. она производится до начала мелиоративных работ. В этом случае большое значение имеет то прогнозирование процессов, о котором говорилось выше.

Наблюдая, например, в лесах распространенность мхов, обилие осоковых кочкарников, широкое распространение различных гидро- и гигрофитов, можно прогнозировать угрозу заболачивания данного лесного массива и даже определить те части, которые нуждаются в немедленной мелиорации. Большое значение может иметь не только появление, но и гибель определенных фитоценозов. Например, снижение уровня грунтовых вод может быть легко замечено по угнетению фреатофитов, и соответствующие площади легко выделить на местности и нанести на карту.

Другой формой оценки состояния среды является **сопутствующая** фитоиндикация. Такой тип индикации проводится на территориях уже подвергшихся мелиорации или рекультивации. Индикационные исследования в данном случае не опережают, а происходят одновременно с такими работами и дают возможность оценить, насколько успешно идет формирование нового фитоценоза и выявляют необходимость улучшения данного процесса.

*Гумидная зона.* В зоне тундры и лесотундры методы фитоиндикации применяются в основном для распознавания глубины залегания кровли вечной мерзлоты, распознавания слоя сезонного протаивания, для индикации местонахождения "таликов" (участков с сильно сниженным уровнем мерзлоты), являющихся оптимальными участками для сельскохозяйственного освоения. По растительным индикаторам можно составить представление о механическом составе почвы, о мощности сезонного протаивания.

*Лесная зона* отличается своей неоднородностью, что крайне осложняет экстраполяцию фитоиндикаторов в ее пределах. Практически все индикаторы лесной зоны являются региональными, в связи с этим для каждого крупного физико-географического региона необходимо составлять отдельные индикационные схемы. В лесных фитоценозах широкое распространение имеют методы литоиндикации, в лесных и луговых ландшафтах - фитоиндикаторы кислотности и обеспеченности почв кальцием. На болотах с помощью фитоиндикаторов можно определять свойства торфяной залежи, флористический состав, степень разложения, оценивать химизм болотных вод.

*Аридная зона.* В ландшафтах сухих степей и полупустынь фитоиндикация может быть использована для непосредственного картографирования различных почв. Малейшее изменение растительных сообществ всегда сопряжено с изменением почв. Особое место в аридных ландшафтах занимает гало индикация. Она имеет большое практическое значение при оценке засоления почв под посевами. Индикаторами являются галофиты, проникающие в посевы в качестве сорняков. Актуальна также и гидроиндикация. Наиболее ценными являются сообщества фреатофитов. Среди них могут быть галофиты, гликофиты, псевдогалофиты и индифферентные к засолению растения. Проводя оценку минерализации вод, необходимо анализировать флористический состав всего сообщества: если фреатофиту сопутствуют галофиты, то следует предполагать присутствие соленых вод, если фреатофиту сопутствуют гликофиты, то можно предполагать наличие пресных или слабосоленых вод. Таким образом, при гидроиндикации в аридной зоне необходимо соблю-

дать принцип определения экологических условий по всему составу растительного сообщества.

Таким образом, при диагностике почв обязательно использование характеристики растительного покрова; фитоиндикаторами могут быть как отдельные виды, так и растительные сообщества, объектами индикации - как отдельные свойства почв, так и процессы; при экстраполяции растительных индикаторов необходимо учитывать явление экологической компенсации факторов и замещаемости растительности и связанные с этим эколого-географические особенности объектов индикации.

***Контрольные вопросы:***

1. Что такое активный и пассивный мониторинг.
2. Общая характеристика фитоиндикации.
3. Зональные, региональные и локальные фитоиндикаторы.
4. Прогнозная, предваряющая и сопутствующая биоиндикация.
5. Особенности биоиндикации в разных природных зонах.

**Лекция 6. АЛЬГОДИАГНОСТИКА И ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ**

План:

1. Общая характеристика почвенной альгологии.
2. Почвообразовательные процессы и соответствующие им альгосинузии.
3. Зональные особенности альгосинузий.

-1-

Первые работы по почвенной альгологии были начаты в 20-е гг. К.И. Мейером, А.А. Рихтером, М.М. Голлербахом, который стал основателем школы специалистов-альголов почв. Широкую мировую известность получили работы под руководством Э.А. Штины. Ею были разработаны основные принципы почвенно-альгологических исследований. В настоящее время в альгодиагностике определились три направления:

- 1) выявление приуроченности группировок водорослей к тем или иным почвам и протекающим в них процессам;
- 2) поиск видов-индикаторов определенных почвенных свойств;
- 3) использование некоторых видов водорослей в качестве тест-объектов при анализе современного состояния почв.

В основе почвенно-альгологических индикационных методов лежит следующее положение: зональности почв и растительности соответствует зональность водорослевых группировок. Она проявляется в общем видовом составе и комплексе доминантных видов водорослей, в наличии специфических видов, в характере распространения по почвенному профилю, в преобладании определенных жизненных форм.

Основными факторами, контролирующими особенности адьгогруппировок, являются степень сомкнутости растительного покрова, наличие подстилки на поверхности почвы, водный и солевой режим.

Зависимость альгосинузий от факторов среды проявляется в их индикационных возможностях. Например, индикаторами влажности являются мелкие диатомовые. Хорошая влагообеспеченность приводит к увеличению численности и биомассы. Недостаток влаги характеризуется обедненностью видового состава, доминированием "убиквистов" сине-зеленых и желто-зеленых. Показателем кислых почв является отсутствие сине-зеленых и диатомовых, засоленности - доминирование спорообразующих сине-зеленых, карбонатности - "ностоковый комплекс".

-2-

Определенным почвообразовательным процессам соответствуют определенные альгосинузии:

**Подзолообразовательный**- простая группировка водорослей с преобладанием одноклеточных зеленых и желто-зеленых, устойчивых к низкому рН. Незначительное разнообразие видов и небольшая биомасса.

**Дерновый**- большое разнообразие видов при равном числе сине-зеленых и зеленых и значительным числом видов желто-зеленых и диатомовых. Значитель-

ная биомасса.

**Болотный**- разнообразие видов и небольшая масса. Доминирование зеленых и наличие гидрофильных форм.

**Степной**- преобладание сине-зеленых и одноклеточных зеленых-убиквистов. Невысокая биомасса.

**Солонцовый**- доминирование диатомовых. Низкая масса и небольшое видовое разнообразие.

**Осолодение** - доминирование зеленых и желто-зеленых.

**Пустынный**- низкая численность и разнообразие желто-зеленых и диатомовых, доминирование сине-зеленых нитчатых форм.

В первичном почвообразовании на скальных породах участвуют сине-зеленые или одноклеточные зеленые (в зависимости от эколого-географических особенностей).

Биологическое освоение рыхлых безжизненных грунтов (лавы, промышленные отвалы), разрушенных эрозией почв начинается с развития мелких одноклеточных зеленых, сине-зеленых и желто-зеленых убиквистов.

-3-

Вопреки бытующим представлениям о космополитизме водорослей, в последнее время убедительно показано, что в соответствии с географическими и экологическими особенностями биогеоценозов своеобразны и их альгосинузий (табл.8).

Таблица 8. Состав почвенных водорослей (число видов) в основных биогеоценозах на территории бывшего СССР (по Э.А. Штина, 1984)

Отдел водорослей	Биогеоценозы				
	Тундровые	Лесные	Болотные*	Пустынные*	Всего
Сине-зеленые	106	100	139	179	406
Зеленые	119	180	239	108	528
Желто-зеленые	55	101	95	24	171
Диатомовые	33	39	107	64	246
Другие отделы	1	-	12	1	29
Общее число	314	420	592	376	1380

\*- включая окультуренные почвы.

Различия выражаются в общем систематическом составе водорослей, в составе доминирующих и специфических видов, в их экологической характеристике.

В зонах с разреженным растительным покровом водоросли занимают свободную поверхность почв, где быстро и интенсивно разрастаются, в период временного увлажнения и благоприятной температуры. В **арктической пустыне и тундре** - это пленки и корочки зеленых, желто-зеленых и сине-зеленых водорослей, они являются пионерами заселения обнаженных грунтов.

Под сомкнутой растительностью **лесной зоны** в дерново-подзолистых почвах группировки водорослей распространены по всему корнеобитаемому слою. В подзолистых и серых лесных почвах водоросли развиваются в верхнем слое почвы и подстилке.

Альгосинузии однообразны по всей зоне, что говорит о мощном средообразующем влиянии древесных растений, преобладают зеленые и желто-зеленые. В лиственных лесах на серых лесных и бурых лесных почвах встречаются сине-зеленые.

На южных почвах с разреженным травостоем (сухие степи, полупустыни, пустыни) усиливается развитие поверхностных пленок из сине-зеленых, сформированных видами, приспособленными к периодическому высыханию. На каштановых почвах и солонцах развиваются "ностоковый комплекс" и диатомовые, на такырах - сине-зеленые.

Окультуривание почв стирает зональные особенности почвенных альгосинузий.

*Зональные особенности группировок водорослей проявляются только в целинных почвах под естественными фитоценозами.* Признаками окультуренности в разных зонах является более сильное развитие сине-зеленых в сравнении с зональной целинной почвой, увеличение роли азотфиксирующих водорослей, развитие диатомовых и обилие зеленых нитчатых. Видовое разнообразие и численность зависят от типа почвы и степени ее окультуренности.

Водоросли могут быть использованы для оценки плодородия почв. Как

тест-объекты они имеют преимущества перед другими организмами: скорость роста; нетребовательность к условиям культивирования; сходство реакции на факторы с реакцией высших растений (благодаря фототрофности). Таким образом, водоросли могут использоваться как модельные организмы при изучении некоторых вопросов питания растений: доступности элементов питания, их динамики и соотношения, потребности в удобрениях и трансформации биогенных элементов, поступающих с ними, естественной токсичности почв и торфов и токсичности почв вследствие накопления остаточных пестицидов, наличия органических загрязнений, засоленности и т.д. Тест-объектами при диагностике почвенных условий могут быть как естественные группировки водорослей в исследуемой почве, так и специально найденные виды-индикаторы. Особое направление, получившее развитие в настоящее время, - экспресс-оценка санитарного состояния почв, в т.ч. городских, с помощью модельных видов водорослей.

Таким образом, отдельные виды и группировки водорослей могут быть индикаторами отдельных свойств почв и почвообразовательных процессов; альгосинузий отражают географические и экологические особенности биогеоценозов и их зональность соответствует зональности почв и растительности; водоросли могут использоваться как тест-объекты для диагностики текущего состояния почв.

***Контрольные вопросы:***

1. Направления альгодиагностики.
2. Почвообразовательные процессы и соответствующие им альгосинузии.
3. Охарактеризуйте зональные особенности альгосинузий.
4. Признаки окультуренности ландшафта в альгодиагностике.
5. Особенности водорослей, как тест-объектов.

## **Лекция 7. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ**

План:

1. Дайте оценку микробиологической и биохимической характеристики почв.
2. Характеристика микробных пулов.
3. Методы оценки ферментативной активности почв.

-1-

Микробиологическая и биохимическая характеристики почв - это наиболее сложные разделы почвенной биодиагностики. Микроорганизмы - очень чувствительные индикаторы, резко реагирующие на различные изменения в окружающей среде. Следствием этого является высокая динамичность микробиологических показателей не только в пространстве, но и во времени. Кроме того, неравномерность распределения микрофлоры в почвенной толще, обуславливающая пестроту значений численности микроорганизмов и требующая многократности анализов, недостаточная разработанность микробной систематики и идентификации видов усложняют использование микробиологических показателей в диагностических целях.

Анализ такой сложной системы, как микробные сообщества, возможен с точки зрения их функциональной, морфологической, таксономической и экологической структуры.

Функциональная структура - соотношение разных "физиологических" (азотфиксаторы, аммонификаторы, нитрификаторы, денитрификаторы и т.д.) или эколого-трофических (гидролитики, олиготрофы и т.д.) групп.

1. Соотношение физиологических групп изучается методом посева на различных средах. Такая характеристика микробоценозов часто встречается в научной литературе. Однако авторам не удается выявить достоверную корреляцию между соотношением физиологических групп и определенными типами почв или генетическими горизонтами. Такая структура является очень консерватив-

ной и мало зависит от почвенных характеристик. В настоящее время доказано, что одни и те же виды микроорганизмов могут в разных условиях осуществлять даже противоположные физиологические процессы, например, азотфиксацию и денитрификацию, окисление и восстановление. В то же время каждый физиолого-биохимический процесс в почве строится на "принципе дублирования" (Д.Г. Звягинцев), т.е. на функционировании нескольких дублирующих друг друга групп микроорганизмов.

2. С точки зрения пищевых предпочтений микроорганизмов и на основе взаимодействия эколого-трофических групп микробиологами предлагаются различные схемы функционирования микробной системы. Так, С.М. Виноградский разделил почвенную микрофлору на две эколого-трофические группы: зимогенную (используют растительные остатки, поступающие в почву) и автохтонную (истинно почвенная группировка, использующая гумусовые соединения). Е.Н. Мишустин дополнил их **олиготрофной** (способны существовать на бедных питательными веществами субстратах, завершают процесс минерализации органических веществ) и **автотрофной** или **хемолитотрофной** (трансформаторы минеральных соединений почвы). Г.А. Заварзин выделил 10 типов микрофлор, взаимодействующих друг с другом в соответствии с их трофическими возможностями, в сочетании с их соотношением с экологическими факторами. Следует учитывать, что большинство микроорганизмов в почве находятся в виде ассоциаций, партнерами которых могут быть представители различных таксономических и эколого-трофических групп, например, микоплазмы на гифах грибов, спириллы в слизи микобактерий, актиномицеты с водорослями и т.п. В каждом варианте механизмы взаимодействия различны и не могут укладываться в единую схему функционирования.

**Морфологическая структура** - набор и соотношение групп микробных клеток разных форм и размеров, наблюдаемых при прямой микроскопии почв ("микробные пейзажи"). Точность описания морфологической структуры зависит от точности используемого метода. Для биодиагностики морфологического описания микробных сообществ недостаточно, т.к. часто "микробные пейзажи"

разных типов почв однообразны и сложно выявить их особенности.

**Таксономическая структура** - соотношение бактерий, грибов, актиномицетов в разных почвах. На основании таких соотношений дана микробиологическая характеристика большинству типов зональных почв и выявлены такие закономерности, как, например, увеличение доли бацилл и актиномицетов с севера на юг и увеличение бактериального вклада в процесс деструкции целлюлозы в южных почвах по сравнению с грибным в северных. Установлены закономерности распространения в почвах разных природно-климатических зон бактерий, принадлежащих к разным таксонам (азотобактер, железобактер, микобактерий и др.). Анализ видовой структуры микробных сообществ проводится крайне редко, что обусловлено сложностью и трудоемкостью видовой идентификации микроорганизмов.

**Экологическая структура** - набор и соотношение экологических групп микроорганизмов, например, их жизненных форм. В почвенной микробиологии широко используется выделение групп микроорганизмов по отношению к тому или иному экологическому фактору, например, соотношение аэробов и анаэробов является хорошим показателем состояния почвенной микрофлоры - спорообразующие анаэробные бактерии (кlostридии) доминируют в почвах разных природных зон там, где идет активное разложение органического вещества, т.е. в верхних почвенных горизонтах. По отношению к температурному фактору: мезофилы (развиваются во всех почвах), психрофилы (арктический и субарктический пояса), психротолерантные (бореальный), термотолерантные (тропический). По отношению к другим факторам среды (влажность, солевой режим, pH и др.) также выделяются специфические группы микроорганизмов.

Таким образом, специфичность микробсообществ разных почв отражается не столько валовыми характеристиками (численность, состав), сколько особенностями структуры. Выбор способа микробиологической оценки почвы зависит от целей индикационных исследований.

Микробиологические индикационные исследования требуют учета эколого-географических особенностей микробных сообществ. Попытка ряда исследо-

вателей перенести учение о природных зонах В.В. Докучаева на закономерности распределения почвенных микроорганизмов была безуспешной. Однако рядом исследователей (Е.Н. Мишустин, Н.А. Красильников, И.П. Бабьева, Д.Г. Звягинцев, З.И. Никитина и др.) было показано, что географический фактор, резко изменяющий процесс превращения веществ в почве, влияет и на микробные ассоциации, участвующие в этих процессах, т.е. численность и соотношение различных группировок микроорганизмов в разных почвах определяется темпами разложения органических остатков и их количеством. Для микрофлоры всех почв характерна сезонная, суточная динамичность, но она не стирает специфических признаков, определяющих состав микробонаселения отдельных почвенных типов, по мере движения с севера на юг возрастает общая численность микроорганизмов в почве, увеличивается ее "биогенность" (насыщенность жизнью), увеличивается доля бацилл актиномицетов, работающих на более поздних этапах трансформации органического вещества, изменяется их видовой состав, снижается доля грибов, доминирующих на начальных этапах деструкционных процессов. Такое распределение микрофлоры согласуется с особенностями трансформации органических остатков в разных экологических условиях: в условиях теплого климата создаются условия для более глубокой переработки органики, и процессы деструкции идут энергичнее, что и создает благоприятные условия для развития бацилл и актиномицетов.

-2-

Кроме структуры одним из показателей особенностей микробных сообществ является запас латентных форм - микробный пул. Эта величина не зависит от сезона, а определяется особенностями самой почвы и факторами среды, которые влияют на почвенные свойства. Для характеристики микробоценозов используется соотношение активных и латентных клеток, отношение минимальных значений численности к их средней величине за определенный интервал времени (коэффициент резерва З.И. Никитиной), а также собственно микробная биомасса, являющаяся важнейшей характеристикой интенсивности продукционного процесса почвенных микроорганизмов. Биомасса грибов в почвенной толще превышает бактериальную во всех типах зональных почв (сравни с особенностями численности отдельных групп микрофлоры).

ры), но особенно заметно преобладание грибной биомассы в лесных почвах (табл. 9).

Таблица 9. Соотношение грибной и бактериальной биомассы в почвах (по И.П. Бабьевой, Г.М. Зеновой, 1989), г/м<sup>2</sup>

Почвы	Грибная биомасса(Г)	Биомасса бактерий(Б)	Г:Б
Тундровая перегнойная	98,1	7,5-41,8	2-12
Дерново-подзолистая	377,2	37,3	10
Чернозем типичный мощный	157,7	94,0	1,6
Краснозем типичный	111,0	18,5	6
Песчано-пустынная	24,6	5,0	5

Для микробиологической характеристики почв используют не только прямые методы учета микроорганизмов, но и косвенные - биохимические и физиологические. Например, биомассу бактерий - по специфической для прокариот муравовой кислоте, грибов - по хитину. Микробную активность определяют по уровню АТФ, полифосфатов, содержанию ДНК и РНК, аминокислот.

Наиболее общими являются методы, позволяющие оценить суммарные биологические процессы по исходным или конечным продуктам: активность почвенного "дыхания" по поглощению O<sub>2</sub> или выделению CO<sub>2</sub>, активность азотфиксации по восстановлению ацетилена, аммонифицирующая активность по способности накапливать аммиачный азот и т.п.

-3-

Особую группу составляют методы определения активности отдельных ферментов в почвах, характеризующие биологическую активность почв. При этом устанавливается не количественное содержание ферментов в почве, а их потенциальная активность.

Ферментативная активность почв - результат совокупности процессов поступления, стабилизации и действия ферментов в почве. Вследствие комплексного источника поступления ферментов (микроорганизмы, растения, животные) почва яв-

ляется самой богатой системой по ферментативному разнообразию и ферментативному пулу (до 1000 ферментов).

Активность почвенных ферментов затрагивает превращения углерода, азота, фосфора, серы и окислительно-восстановительные процессы и, следовательно, отражает напряженность биохимических процессов в почве. Кроме того, роль ферментов заключается в том, что они осуществляют функциональные связи между компонентами экосистемы и, таким образом, ферментативная активность отражает функциональное состояние почвенного населения.

Для активности ферментативного пула большое значение имеют условия среды (субстрат, влажность, температура, pH и т.д.). Условия почвенной среды, оптимальные для микроорганизмов и высших растений, являются оптимальными и для ферментативной активности. Каждый отдельный экологический фактор при различных сочетаниях других экологических параметров будет иметь неодинаковое значение. Например, в почвах лесостепной зоны большая доля варьирования ферментативной активности обусловлена дефицитом тепла, а в почвах степной - дефицитом влаги.

Почвы по ферментативной активности различаются в соответствии с их эколого-генетическими особенностями. Так, в генетическом ряду от дерново-подзолистых почв к серым лесным и черноземам активность гидролитических ферментов возрастает в соответствии с увеличением общей микробиологической активности, содержанием гумуса и органических соединений азота и фосфора. В пределах подтипов и разновидностей значение имеют уже другие факторы. Например, в пределах разновидностей черноземов активность отдельных ферментов определяется не содержанием органических соединений, а значениями pH и содержанием карбонатов, оказывающих ингибирующее влияние на активность гидролитических ферментов.

Почвы естественных ландшафтов имеют повышенную ферментативную активность. Сельскохозяйственное освоение снижает ее. Дальнейшая эволюция биологической активности почв зависит от характера ее использования. Например, окультуривание почв способствует росту активности некоторых ферментов. Разви-

тие эрозионных процессов ухудшает основные почвенно-экологические параметры, контролирующие ферментативный пул, и приводит к снижению ферментативной активности почв. Степень эродированности адекватно отражается изменением, в частности, сахарозной и протеазной активности.

Таким образом, относительный уровень ферментативной активности почв диагностирует интенсивность и направленность почвообразовательных процессов как в естественных условиях, так и при различных антропогенных воздействиях на почву.

Для диагностики состояния почвы и происходящих в ней процессов необходимо знать актуальную биологическую активность. Почвенные микроорганизмы характеризуются тем, что, несмотря на их обилие, они могут длительное время находиться в состоянии покоя, переносить неблагоприятные условия и длительное время не реализовывать свою потенциальную активность, т.е. для микроорганизмов общая численность и биомасса могут совершенно не отражать их активность. Актуальная биологическая активность может быть определена через какой-то всеобщий процесс, осуществляемый всеми микроорганизмами или даже всей почвенной биотой, интенсивность которого можно измерить непосредственно в естественных условиях. Такими интегральными показателями биологической активности являются, например, интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  (почвенное "дыхание") и целлюлозоразлагающая способность.

Таким образом, выбор метода оценки структурной организации почвенных микробоценозов определяется задачами индикационных исследований; точность микробиологической и биохимической диагностики и индикации почв связана с комплексным подходом, т.е. совместным использованием прямых и косвенных методов; при характеристике микробных сообществ различных почв необходим учет эколого-географических особенностей микробоценозов.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Что такое микробиологическая и биохимическая характеристики почв?
2. Анализ микробных сообществ с точки зрения их функциональной структуры.

3. Анализ микробных сообществ с точки зрения их морфологической структуры.

4. Анализ микробных сообществ с точки зрения их таксономической структуры.

5. Анализ микробных сообществ с точки зрения их экологической структуры.

6. Характеристика микробного пула.

7. Анализ соотношения грибов и бактерий в почве.

8. Охарактеризуйте методы определения активности отдельных ферментов в почвах, характеризующие биологическую активность почв

## **Лекция 8. ЗООДИАГНОСТИКА И ИНДИКАЦИЯ ПОЧВ**

План:

1. Общая характеристика зооиндикации.
2. Зооиндикация различных свойств почвы.
3. Особенности различных таксонов животных, используемых в целях зооиндикации.

-1-

Накопленный к 50-м гг. фактический материал по распространению в почвах беспозвоночных, их фаунистическому составу и адаптационным характеристикам позволил М.С. Гилярову сформулировать основные принципы зоологического метода диагностики почв.

Предпосылкой для применения почвенно-зоологических методов для почвенной диагностики является представление об "экологическом стандарте" вида. Каждый вид в пределах своего ареала занимает определенные местообитания, совокупность условий которых отвечает исторически выработавшимся требованиям данного вида.

*Экологический стандарт* - сочетание основных факторов среды (температура, влажность, рН, солевой режим и т.д.), обеспечивающих жизнедеятельность данного вида.

*Экологическая пластичность вида* - амплитуда варьирования отдельных факторов среды, в которых возможно существование данного вида, т.е. широта экологического стандарта.

Виды с широкой экологической амплитудой (эврибионты) мало пригодны для индикационных целей, экологически узковалентные виды (стенобионты) служат хорошими индикаторами определенных условий среды и свойств субстрата. Для почвенных животных, использующих почву как единую среду обитания, а не как систему микросред (в случае микроскопических организмов), легче можно выявить зависимость между общими свойствами почвы и ареалами видов. При этом следует учитывать, что один и тот же вид в разных местах своего ареала может менять местообитание и, следовательно, служить индикатором на разные условия ("правило смены местообитаний" Т.Я. Бей-Биенко). Для почвообитающих животных климатические условия преломляются через гидротермический режим почв, и у границ ареала каждый вид почвенных беспозвоночных выбирает для заселения такие участки, на которых гидротермический режим почвы наиболее приближается к гидротермическому режиму почв в области его наибольшего распространения и частой встречаемости. Так, по "правилу смены местообитаний" мезофильные виды в центре ареала становятся ксерофильными у северных границ и гигрофильными - у южных границ ареала. Например, июньский хрущ в Нечерноземной зоне встречается в сухих супесчаных почвах на южных склонах оврагов, в полупустынях Средней Азии - только во влажных почвах вдоль рек. В центре же ареала, в лесостепной зоне, этот вид распространен в разных почвах и ведет себя как эвритропный мезофил. Следовательно, индикационную роль он играет только в тех местах, где он выступает как стенобионт.

-2-

Отдельные виды животных могут быть хорошими индикаторами физических, химических и биохимических свойств почв, например, связь беспозвоночных с механическим составом определяется, во-первых, механическими особенностями почвы как субстрата и может быть диагностирована с помощью размеров, внешних и морфологических особенностей животных (мелкие формы характерны для более

легких почв, блестящие покровы у обитателей легких почв и тусклые, матовые - тяжелых, отсутствие ямок, выростов и шипиков на головной капсуле личинок насекомых, обитающих в тяжелых почвах). Во-вторых, механический состав определяет аэрацию, особенности гидротермического режима почв.

Почвенные беспозвоночные являются чуткими индикаторами общего режима влажности, который складывается в почве. Встречаемость тех или иных видов может быть показателем влажности или сухости местообитания, например, для мокриц построен индикационный ряд форм, характеризующихся постепенным повышением требований к влажности субстрата, позволяющий использовать эти формы мокриц в качестве индикаторов степени увлажненности почв. Однако характеристики гидротермического режима по встречаемости тех или иных видов имеют **относительный**, географически обусловленный характер, и популяции одного вида в разных частях широкого ареала характеризуются часто разным диапазоном требований в отношении гидротермических условий.

Педобионты могут быть индикаторами солевого режима почв. Обычно концентрация солей в почвах не достигает таких величин, чтобы исключить в них все группы животных, например, в солончаках наблюдается специфический состав беспозвоночных-галофилов (отдельные виды стафилин, чернотелок), которые, как и растения галофиты, могут быть индикаторами процессов засоления. Нет ярко выраженной корреляционной связи педобионтов с рН, хотя на дождевых червях было показано, что их численность прямо пропорциональна величине рН водного раствора в пределах от кислой до слабощелочной реакции среды. Некоторые группы животных, являющиеся в большей или меньшей степени калькофилами (моллюски, диплоподы, мокрицы), могут быть индикаторами богатства почвы кальцием.

Однако использование одного вида для индикации дает мало уверенности в правильности видов. Лучшее условие - исследование всего комплекса организмов, из которых одни могут быть индикаторами на влажность, другие - на температуру, третьи - на химический или механический состав. Чем больше общих видов почвенных животных встречается на сравниваемых участках, тем с большей долей вероятности можно судить о сходстве их режимов, а, следовательно, и о близости

исследуемых почвенных разностей, о единстве почвообразовательного процесса и наоборот. Для сравнения особенно важно привлекать данные по наименее специализированным в отношении питания, наименее связанным с определенными видами растений группам животных. Наиболее пригодны для таких целей сапрофаги и зоофаги, среди фитофагов - полифаги. Уже общее соотношение численности сапрофагов и фитофагов может служить показателем некоторых почвенных свойств или процессов. Так, доминирование фитофагов в составе почвенного населения характерно для бедных, часто деградированных почв. Зависимость почвенных беспозвоночных от определенных условий среды обуславливает их избирательность в отношении элементарных почвенных процессов (ЭПП), т.е. ЭПП обуславливает наличие определенного комплекса педобионтов. Кроме того, многие животные являются агентами процессов почвообразования. Так, трансформация органических остатков сопровождается сукцессионной сменой группировок беспозвоночных. По соотношению животных-гумификаторов и минерализаторов в почве можно говорить о преобладании того или иного процесса. Высокая плотность беспозвоночных, участвующих в высвобождении кальция, свидетельствует о процессе биогенной карбонатизации.

Результатом прямых и опосредованных связей с ЭПП является наличие определенных групп видов беспозвоночных, не связанных между собой генетически и морфологически, но связанных с определенным ЭПП – *зооплеяд*.

Чем интенсивнее процессы, тем выше численность особей таких животных.

Не все группы беспозвоночных равнозначны с точки зрения их диагностической ценности. Наименее полезны мелкие формы, т.к. они отличаются космополитизмом.

-3-

**Простейшие.** Наиболее часто в почвенной биодиагностике используются раковинные амебы (тестации). Они легко определяются по строению раковин, которые хорошо сохраняются в почве. Характерной особенностью тестации является наличие у многих видов экологических преферендумов по отношению к среде обитания. В результате все разнообразие форм раковин группируется в

несколько эколого-морфологических типов раковин. Каждый из экоморфотипов соответствует определенному местообитанию от водной среды болот до минеральных почвенных горизонтов. По набору экоморфотипов раковин в почвенном образце можно в общих чертах дать характеристику субстрата и происходящих в нем процессов. Например, в развитых автоморфных почвах без подстилки доминируют крупные плагиостомные и криптостомные типы, в лесных - мелкие акростомные, населяющие подстилку, в гидроморфных почвах - апланатные и трахелостомные типы раковин.

**Микроартроподы.** Среди них на уровне вида трудно найти индикаторы, т.к. многие из них связаны с определенными видами растений, узкими местообитаниями и определение их видовой принадлежности под силу только узким специалистам. Однако набор видов и соотношение численности основных групп микроартропод (клещей и коллембол) характерны для каждого типа почв, и резкие изменения в окружающей среде приводят к достаточно быстрой реакции комплекса микроартропод, поэтому эти педобионты удобны при индикационных работах на уровне комплекса видов. При проведении сопутствующей индикации процессов восстановления биогеоценозов необходимо помнить, что восстановление комплекса мелких членистоногих может идти двумя путями: восстанавливается "старый" комплекс видов при восстановлении прежних условий среды, возникает новый в результате необратимых изменений в среде. Мелкие животные часто являются единственными представителями животных организмов в сильно измененных экосистемах (агроценозах, отвалах промышленных предприятий, свалках и т.п.), что обуславливает частое использование их в качестве диагностов антропогенных нарушений.

**Крупные беспозвоночные** особенно ценны и удобны для индикационных работ. Ареалы видов мезофауны более надежно изучены и характеризуются определенным комплексом почвенно-климатических условий. Кроме того, их среда обитания - сама почва,- что обуславливает тесную и ярко выраженную связь крупных педобионтов с отдельными почвенными характеристиками и изменениями, происходящими в почве. Важно, что среди представителей мезофауны

много видов-полифагов, т.е. мало связанных с определенным типом пищи. Наиболее удобны в качестве индикаторов дождевые черви, шелкоуны и их личинки, крупные жуличицы, некоторые виды мокриц и диплопод, в аридных зонах - тараканы, чернотелки и их личинки.

В целом, выбор определенной группы или вида беспозвоночных в качестве индикатора почвенных условий должен основываться на его доминировании в естественных (или эталонных) местообитаниях. Предпочтение следует отдавать почвенным, а не подстилочным формам, т.к. в ряде экосистем (особенно антропогенно нарушенных) подстилка может отсутствовать.

Последнее время в качестве одного из диагностических показателей особенностей почвенных условий и процессов используется зоомасса. Биомасса беспозвоночных отражает напряженность деструкционных процессов, активность биохимических реакций, в какой-то степени гидротермические условия (табл.10).

Таблица 10. Биомасса дождевых червей при разных условия увлажнения (по данным И. В, Кудряшовой, 1999)

Влажность почвы, %	Живая масса, мг	Сухая масса после сушки- при 105°C, мг
14,7	440	95
50,5	879	106

При использовании беспозвоночных в качестве почвенных индикаторов необходим эколого-географический подход, т.к. особенности педокомплексов беспозвоночных обусловлены не только отдельными почвенными, параметрами, но и связью животного населения с зональными особенностями почв (табл. 11).

В итоге можно сказать, что в основе зоодиагностики и индикации почв лежит совпадение географических ареалов почвенных типов и некоторых видов беспозвоночных; избирательность беспозвоночных в отношении ЭПП определяет диагностическую ценность педобионтов при изучении процессов, происходящих в почве.

Таблица 11. Сухая масса основных групп беспозвоночных в природных экосистемах (по Д. А. Криволицкому, 1994), г/м

Экосистемы	Простейшие	Дождевые черви	Клещи	Пауки	Многоножки	Жесткокрылые	Двукрылые
Полярная пустыня	-	-	0,01	-	-	-	0,01
Тундра типичная	-	0,3	0,12	0,05	0,03	0,1	0,4
Лесотундра	-	2,0	0,8	0,05	0,02	0,2	0,4
Леса хвойные	0,1	2,0	2,0	0,12	0,25	0,1	0,2
Леса смешенные	0,2	4,0	0,5	0,12	0,35	0,4	0,25
Луга	0,01	10,0	0,35	0,03	0,05	2,0	0,4
Настоящие степи	0,02	2,0	0,2	0,02	0,06	1,0	0,02
Сухие степи	0,5	0,8	0,1	0,01	0,02	0,7	0,03
Полупустыни	0,005	0	0,06	0,003	0,002	0,5	0,01
Пустыни	0,001	0	0,024	0,004	0,002	0,25	0,01

В качестве индикаторов ЭПП целесообразно использование зооплеяд; выбор отдельных групп животных в качестве индикаторов зависит от целей почвенной диагностики и должен учитывать их индикационную неравнозначность.

***Контрольные вопросы:***

1. Что такое экологический стандарт вида?
2. Что такое экологическая пластичность вида?
3. Почему в целях зооиндикации используются стенобионты, а не эврибионты?
4. Зооиндикация водного режима почв.

5. Зооиндикация солевого режима почв.
6. Зооиндикация механического состава почв.
7. Что такое зооплеяда?
8. Особенности простейших как биоиндикаторов.
9. Особенности микроартропод как биоиндикаторов.
10. Особенности крупных беспозвоночных как биоиндикаторов.
11. Охарактеризуйте различия зоосостава почв различных наземных экосистем.

## **Лекция 9. БИОДИАГНОСТИКА И ИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ**

План:

1. Абсолютные и относительные стандарты сравнения.
2. Биоиндикаторы антропогенных воздействий.
3. Биодиагностика антропогенных воздействий на почву.

-1-

Антропогенные воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой - обуславливают антропогенную модификацию уже имевшихся природных факторов и тем самым изменяют свойства биологических систем. Биоиндикация возможна в том случае, когда новые параметры значительно отклоняются от соответствующих исходных величин. Для количественной оценки значимости отклонений от естественного состояния используются абсолютные и относительные калибровочные стандарты сравнения антропогенных или испытывающих антропогенное воздействие факторов среды:

### **А. Абсолютные стандарты сравнения:**

- а) сравнение с показателями биологической системы, свободной от воздействий;
- б) экспериментальное исключение антропогенных или антропогенно модифицированных факторов;
- в) сравнение с биологическими системами прошлого, слабо или вовсе не под-

верженными воздействию антропогенных факторов;

г) построение градиента изменений одного и того же объекта до времени малого антропогенного воздействия, которым можно пренебречь.

### **Б. Относительные стандарты сравнения:**

а) корреляция с пространственно-временными изменениями антропогенных или испытывающих антропогенное воздействие факторов среды;

б) установление эталонных объектов, испытывающих незначительное или известное антропогенное воздействие.

При проведении биоиндикационных работ необходимо учитывать, что организмы всегда зависят как от антропогенных, так и от природных факторов, и реакция всегда зависит от предрасположенности биологического объекта к условиям питания, возрасту и т.п.

-2-

Среди биоиндикаторов антропогенных воздействий выделяют:

- **чувствительные** - реагирующие значительными отклонениями жизненных проявлений от нормы (изменение анатомических и морфологических параметров, нарушение численности и качественного состава сообществ, изменение биомассы и т.п.);

- **аккумулятивные** - накапливающие антропогенные воздействия большей частью без быстрого проявления нарушений (аккумуляция токсических веществ, радионуклеидов и т.п.).

Желательно заблаговременно обнаружить антропогенно обусловленные нарушения в экосистеме, для того чтобы вмещаться, остановить или ослабить антропогенез. Наличие чувствительных индикаторов дает возможность проводить раннюю или предваряющую индикацию.

-3-

Воздействие на почву осуществляется различными по масштабу и по территориальному размаху явлениями:

1. Широкомасштабное территориальное (глобальное) воздействие на почву, вызываемое совокупностью большого числа отдельных факторов и источни-

ков, не поддающихся более детальной идентификации.

2. Территориально ограниченное воздействие, причиной которого является более или менее известное число факторов и источников.

3. Локальное узко ограниченное воздействие, с кратко- или долговременным воздействием на отдельные организмы экосистемы.

По причине различной буферности и устойчивости при одинаковой интенсивности и продолжительности действия антропогенного фактора(ов) степень и форма возникающих изменений в разных почв различна. При биоиндикации необходимо учитывать, что между химической обстановкой и ее влиянием на экосистему не обязательно существует линейная зависимость. Решающее значение для действия на биологическом уровне имеет соотношение интенсивности фактора и специфичной реакции буферной системы почвы.

***Контрольные вопросы:***

1. Перечислите абсолютные стандарты сравнения.
2. Перечислите относительные стандарты сравнения.
3. Какими могут быть биоиндикаторы антропогенных воздействий?
4. Что собой представляет биодиагностика антропогенных воздействий на почву?
5. На что влияет соотношение интенсивности фактора и специфичной реакции буферной системы почвы?

**Лекция 10. ЗДОРОВЬЕ СРЕДЫ: МЕТОДИКА ОЦЕНКИ**

План:

1. Стабильность развития и флуктуирующая асимметрия
2. Выбор объекта и места сбора материала
3. Выбор системы морфологических признаков
4. Популяционные выборки, получение данных и статистическая обработка
5. Интерпретация полученных результатов и значимость получаемых оценок
6. Объекты мониторинга: растения

7. Рыбы

8. Земноводные

9. Млекопитающие

-1-

Стабильность развития как способность организма к развитию без нарушений и ошибок является чувствительным индикатором состояния природных популяций. Наиболее простым и доступным для широкого использования способом оценки стабильности развития является определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Этот подход достаточно прост с точки зрения сбора, хранения и обработки материала. Он не требует специального сложного оборудования, но при этом позволяет получить интегральную оценку состояния организма при всем комплексе возможных воздействий (включая антропогенные факторы) (Захаров 1987).

-2-

Оценка состояния популяции может проводиться практически для любого вида. Для оценки стабильности развития предпочтительно использование объектов с удобной для анализа системой морфологических признаков. Выбор объекта зависит от конкретной задачи. Это может быть какой-то определенный вид, представляющий специальный интерес на исследуемой территории. Для общей характеристики ситуации лучше использовать наиболее обычные фоновые виды.

Определенная информация о состоянии экосистемы может быть получена и при исследовании одного фонового вида, но для надежной оценки лучше использовать несколько представителей разных групп животных и растений. Оценка здоровья среды предполагает анализ ряда модельных объектов. Для характеристики состояния экосистемы мы рекомендуем следующие критерии отбора модельных объектов:

- выбор представителей различных систематических групп, занимающих разное место в экосистемах;
- в связи с ограниченным числом видов, которые могут быть проанализи-

рованы, желателен выбор объектов, находящихся на вершине пищевых цепей, для интегральной характеристики состояния и других компонентов экосистемы;

- выбор видов, обычные миграции которых не выходят за пределы исследуемых территорий;
- выбор относительно крупных организмов, которые в меньшей степени зависят от микробиотопических условий в пределах исследуемых местообитаний, и годятся для характеристики исследуемой территории в целом;
- выбор фоновых видов для общей характеристики местообитания и возможности сбора необходимого материала на всех исследуемых участках в течение ограниченного промежутка времени;
- выбор объектов для экстраполяции получаемых данных на человека.

В соответствии с этими критериями для оценки состояния наземных экосистем рекомендуется использовать представителей древесных растений и мелких млекопитающих, для характеристики водных экосистем — рыб и земноводных. Для этих объектов были разработаны шкалы балльных оценок состояния организма по уровню стабильности развития.

Оценка проводится на модельных площадках, которые выбираются в зависимости от целей работы;

- Для фонового мониторинга надо использовать несколько площадок в разных биотопах, различных по естественным условиям.
- Для оценки последствий антропогенного воздействия площадки выбираются из максимально сходных по естественным условиям биотопов с разной степенью антропогенной нагрузки.

### ***Частота сбора материала***

Сбор данных на выбранных модельных площадках, за исключением специальных задач, должен производиться один раз в год.

Для оценки стабильности развития необходимо получение данных по оп-

ределенным морфологическим признакам. Изменение стабильности развития, как общей характеристики состояния организма, обычно отражается на изменчивости самых разных признаков организма. Это означает, что принципиальных ограничений на используемые признаки нет. Можно использовать качественные и количественные признаки, включая меристические (счетные) и пластические (промеры) признаки. Особенностью показателей стабильности развития является то, что они, как правило, независимы даже по высоко скоррелированным между собой признакам одной морфологической структуры. В качестве примеров можно привести отсутствие корреляции величины асимметрии различных промеров листа у растений и показателей асимметрии числа жаберных тычинок на разных жаберных дугах у рыб.

Основным требованием при выборе признаков является возможность однозначного их учета. Главным критерием выбора признаков является возможность получения сходных результатов при повторном учете признаков тем же или другим оператором. Для получения надежных результатов лучше использовать систему признаков. Примеры использованных систем признаков для различных объектов представлены в соответствующих разделах.

-4-

Выборка с модельной площадки должна составлять порядка 20 особей. Половые и возрастные различия по стабильности развития обычно отсутствуют. Это позволяет использовать суммарные выборки. Тем не менее, без проведения специального анализа возможных возрастных различий лучше использовать выборки особей одного возраста.

Оценка стабильности развития по каждому признаку сводится к оценке асимметрии. На практике это означает учет различий в значениях признака слева и справа. Для меристического признака величина асимметрии у каждой особи определяется по различию числа структур слева и справа. Популяционная оценка выражается средней арифметической этой величины. Статистическая значимость различий между выборками определяется по критерию Стьюдента.

Для пластического признака величина асимметрии у особи рассчитывается как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Использование такой относительной величины необходимо для того, чтобы нивелировать зависимость величины асимметрии от величины самого признака. Популяционная оценка выражается средней арифметической этой величины. Статистическая значимость различий между выборками определяется по критерию Стьюдента.

При анализе комплекса морфологических признаков лучше использовать интегральные показатели стабильности развития.

Интегральным показателем стабильности развития для комплекса меристических признаков является средняя частота асимметричного проявления на признак. Этот показатель рассчитывается как средняя арифметическая числа асимметричных признаков у каждой особи, отнесенная к числу используемых признаков. В данном случае не учитывается величина различия между сторонами, а лишь сам факт асимметрии, несходства значений признака на разных сторонах тела. За счет этого устраняется возможное влияние отдельных сильно уклоняющихся вариантов. В таблице 12 дан пример расчета средней частоты асимметричного проявления на признак для 6 счетных признаков у 10 особей.

Таблица 12. Образец таблицы для обработки данных по оценке стабильности развития с использованием меристических (счетных) признаков

№ особи	номер признака						Показатель	
	1	2	3	4	5	6	A	A/n
	П Л	П Л	П Л	П Л	П Л	П Л		
1	1-0	0-1	1-1	1-1	2-2	1-1	2	0,33
2	2-1	1-0	1-3	1-1	3-2	0-1	5	0,83
3	1-2	1-1	2-2	1-1	2-1	1-1	2	0,33
4	1-1	1-1	2-4	1-1	2-3	1-1	2	0,33
5	1-1	1-1	1-1	2-1	1-1	1-0	1	0,17
6	1-1	1-1	1-3	0-1	1-1	0-1	3	0,50
7	1-1	1-1	1-2	1-2	1-1	0-1	3	0,50
8	1-0	0-0	3-2	1-1	0-0	1-1	2	0,33
9	1-1	1-1	2-2	1-1	1-1	0-0	0	0
10	0-1	1-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4	0,67
Средняя частота асимметричного проявления на признак $0,40 \pm 0,07$								

п, л - соответственно, значение признака справа и слева, А - число асимметричных признаков, n - число признаков

Как видно из приведенного примера, обработку небольших выборок (20-

30 особей) можно производить даже вручную, получая при этом обобщенный по всем признакам показатель, удобный для сравнения с другими выборками. Эту схему обработки данных мы использовали для рыб, земноводных и млекопитающих.

Таблица 13. Образец таблицы для обработки данных по оценке стабильности развития с использованием пластических признаков (промеры листа)

Номер признака										
№	1		2		3		4		5	
	слева	справа								
1	18	20	32	33	1	1	12	12	46	50
2	20	19	33	33	3	3	14	13	50	49
3	18	18	31	31	2	3	12	11	50	46
4	18	19	30	32	2	3	10	11	49	49
5	20	20	30	33	6	3	13	14	46	53
6	12	14	22	22	4	4	11	9	39	39
7	14	12	21	25	3	3	11	11	34	41
8	13	14	25	23	3	3	10	8	14	42
9	12	14	24	25	5	5	9	9	40	12
10	14	14	25	25	4	4	9	8	32	32

Интегральным показателем стабильности развития для комплекса пластических признаков является средняя величина относительного различия между сторонами на признак. Этот показатель рассчитывается как средняя арифметическая суммы относительной величины асимметрии по всем признакам у каждой особи, отнесенная к числу используемых признаков. Система пластических признаков используется при оценке стабильности развития у растений.

Далее рассматривается случай оценки стабильности развития березы. В таблицах 13 и 14 дан пример расчета средней относительной величины асимметрии на признак для 5 промеров листа у 10 растений.

1. В первом действии для каждого промеренного листа вычисляются относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого разность между промерами слева (L) и справа (K) делят на сумму этих же промеров:

$$(L-K) / (L+K)$$

Например: Лист №1 (таблица 13), признак 1  $(L-K)/(L+K) = (18-20)/(18+20) = 2/38 = 0,052$

Полученные величины заносятся во вспомогательную таблицу 14 в графы 2-6.

2. Во втором действии вычисляют показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммируют значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делят на число признаков.

Например, для листа 1 (таблица 14):

$$(0,052+0,015+0+0+0,042)/5=0,022$$

Результаты вычислений заносят в графу 7 вспомогательной таблицы.

3. В третьем действии вычисляется интегральный показатель стабильности развития - величина среднего относительного различия между сторонами на признак. Для этого вычисляют среднюю арифметическую всех величин асимметрии для каждого листа (графа 7). В нашем случае искомая величина равна:

$$(0,022+0,015+0,057+0,061+0,098+0,035+0,036+0,045+0,042 + 0,012) /10=0,042$$

Статистическая значимость различий между выборками по величине интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления на признак, величина среднего относительного различия между сторонами на признак) определяется по t- критерий Стьюдента.

Таблица 14. Образец таблицы для обработки данных по оценке стабильности развития с использованием пластических признаков (промеры листа). Вспомогательная таблица для расчета интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке

Номер признака						Величина асимметрии
№	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,052	0,015	0	0	0,042	0,022
2	0,026	0	0	0,037	0,010	0,015
3	0	0	0,2	0,044	0,042	0,057
4	0,027	0,032	0,2	0,048	0	0,061
5	0	0,048	0,33	0,037	0,071	0,098
6	0,077	0	0	0,1	0	0,035
7	0,077	0,019	0	0	0,081	0,036
8	0,037	0,042	0	0,111	0,037	0,045
9	0,077	0,020	0	0	0,111	0,042
10	0	0	0	0,059	0	0,012

Эти показатели дают интегральную характеристику стабильности развития по комплексу некоррелированных параметров по разным признакам. Как показали предшествующие исследования, на фоне отсутствия связи величины показателей стабильности развития по разным признакам на уровне особи, при наличии стрессирующего воздействия популяционные показатели стабильности развития возрастают согласованно даже по некоррелированным между собой признакам.

Расчет показателей на признак дает возможность для сравнения результатов, получаемых по разному числу признаков.

При сравнении выборок может быть зафиксировано определенное различие и оценена его статистическая значимость. Затруднение при этом вызывает оценка степени выявленных отклонений, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя. Такая оценка особенно важна для сравнения различных территорий и видов. При получении данных по различным природным популяциям возможна разработка балльной шкалы для оценки степени отклонения от нормы. Базовые принципы для ее построения следующие. Диапазон значений показателя, соответствующий условно нормальному фоновому состоянию, принимается как первый балл (условная норма). Диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл. Весь диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя. Поскольку при этом суммируются данные по ряду независимых показателей, мы получаем в действительности интегральную оценку ситуации для сравнения различных территорий и видов. Эта система представляет собой балльную оценку изменений состояния организма по уровню стабильности развития. Такие балльные системы оценок к настоящему времени разработаны по величине интегральных показателей стабильности развития для растений, рыб, земноводных и млекопитающих и приводятся в соответствующих разделах.

Результаты оценки интегрального показателя стабильности развития используются для сравнения выборок, собранных либо с одной и той же модельной площадки в разное время, либо с разных площадок. Неизменность величины показателя стабильности развития в серии выборок, взятых из одной точки в течение ряда лет, свидетельствует о поддержании состояния организма примерно на сходном уровне. Наличие различий между выборками говорит об изменении ситуации. Характеристика уровня, на котором стабилизировалось состояние исследуемых популяций, возможна путем использования системы балльной оценки стабильности развития, где низкие значения интегрального показателя стабильности развития соответствуют первому баллу, наиболее высокие - пятому баллу.

Использование балльной шкалы возможно как для фонового мониторинга, так и для оценки последствий разных видов антропогенного воздействия. При этом нужно иметь в виду, что изменение состояния, здоровья живого организма является неспецифической реакцией на самые различные воздействия и показатель стабильности развития дает информацию о результатах всех этих воздействий.

### ***Фоновый мониторинг***

При использовании данного подхода оценивается какие изменения может претерпевать состояние организма в естественных условиях. При этом оценка может проводиться как в отношении отдельного вида, так и в отношении сообществ и экосистем в целом. При анализе отдельных видов основными направлениями являются оценка динамики популяций и выявление межпопуляционных и межвидовых различий.

### ***Динамика популяций***

Оценка динамики численности различных видов является одной из ключевых задач при организации фонового биологического мониторинга. Данные для этого получают путем сравнения выборок, собранных на модельных площадках за разные годы. При данном подходе может быть получен ответ на

вопрос о том, как изменяется состояние популяции при изменении численности. Такие данные представляют как самостоятельный интерес, так и для получения информации о возможных изменениях состояния популяций в естественных условиях.

При этом возможно решение следующих вопросов: как изменяется состояние популяции в ходе популяционных циклов? Какова связь этих изменений с популяционной плотностью? Какова роль биотических и абиотических факторов? Какова роль плотности в изменении численности популяции.

В качестве примера можно указать цикл исследований, проведенных на обыкновенной буроzubке (*Sorex araneus*) и других видах рода *Sorex*. Для циклических популяций, для которых предполагается авторегуляторный механизм, обнаружена отрицательная связь стабильности развития с численностью. Это означает, что на пике численности вследствие переуплотнения имеет место нарушение стабильности развития (свидетельствующее о существенном изменении состояния организма), что и ведет к последующему сокращению численности. Для нециклических популяций были обнаружены свидетельства наличия положительной связи стабильности развития с численностью. Здесь наблюдается обратный эффект - при снижении численности вследствие климатических условий наблюдается снижение стабильности развития. Повышение численности при благоприятных условиях сопровождается высокой стабильностью развития.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности подхода для выявления механизмов динамики численности: положительная связь стабильности развития с плотностью свидетельствует о большей роли факторов внешней среды, отрицательная связь говорит в пользу авторегуляторной цикличности, стрессирующем воздействии переуплотнения.

Применительно к задачам заповедников важным аспектом оценки динамики популяций является мониторинг изменений в ходе работ по восстановлению численности определенного вида, интродукции и др.

### ***Межпопуляционные различия***

Данные для выявления межпопуляционных различий могут быть получены при сравнении выборок из разных биотопов. Снижение стабильности развития является индикатором ухудшения состояния организма при стрессирующем воздействии среды, на экологической периферии ареала. Примеры таких различий были показаны для разных групп живых организмов (Захаров, 1987). Надо иметь в виду, что сейчас условия экологической периферии имеют место повсеместно за счет антропогенного воздействия. Важно отметить, что условия экологической периферии ареала могут возникать в разных частях ареала и в силу естественных причин. Особенно ярко это проявляется у растений. Например, для березы повислой (*Betula pendula*) было показано, что в затененных условиях стабильность развития существенно ниже, чем на освещенных участках (Захаров, 1987).

По данному показателю многие популяции, в том числе и существенно пространственно удаленные друг от друга, характеризуются сходной стабильностью развития. В то же время его изменения наблюдаются при существенном изменении среды и на незначительном пространстве. Это приводит к выводу о том, что многие популяции вида, несмотря на некоторые различия, имеют сходный оптимум по стабильности развития, что позволяет выделять популяции, существующие и при неоптимальных условиях. Каждый вид рассчитан на определенные условия, и на периферии ареала могут быть выявлены те популяции, где «что-то началось» и нарушение стабильности развития здесь является платой за существование в новых условиях.

### ***Межвидовые различия***

Выявление межвидовых различий возможно путем сравнения выборок разных видов из одного и того же местообитания. В этом ключе наиболее интересно сравнение симпатрических популяций разных видов для выявления того, какова их реакция на одни и те же условия. Такие данные были получены для насекомых и рептилий (Захаров 1987). Эта разная реакция означает, что одни и те же условия оказываются оптимальными для одного и неоптимальными для другого вида. Наличие таких различий является свидетельством того, что «что-

то уже произошло» и в силу определенных адаптивных изменений популяция может благополучно существовать в новых для нее условиях

Оценка на уровне сообщества и экосистемы предполагает исследование ряда видов, представителей разных групп животных и растений. Это предполагает сравнение балльных оценок для разных видов. Как свидетельствует практика, балльные оценки, получаемые для разных видов, обычно оказываются сходными.

В практическом плане результаты таких исследований важны для получения представлений о фоновом состоянии живых организмов и его возможных изменениях во времени и в пространстве в естественных условиях.

### ***Оценка антропогенных воздействий***

Оценка последствий антропогенного воздействия предполагает сравнение модельных площадок, выделенных на территориях с разной степенью антропогенного воздействия, либо путем сравнения выборок с одной и той же площадки, собранных в разное время для выявления возможного ухудшения или улучшения состояния организма.

Как показывает практика проведения таких оценок, при этом возможно выявление последствий различных видов антропогенных воздействий, а также комплексного воздействия (включая химическое и радиационное) (Захаров, 1987). При использовании балльной шкалы возможно выделение территорий по степени отклонения от нормы в состоянии организма в зависимости от антропогенной нагрузки. При мониторинге во времени возможно выявление направления и степени отклонения состояния организма в зависимости от нарастания или снижения степени антропогенного воздействия.

Оценка может проводиться по отдельным видам. Предпочтительным является оценка на уровне сообщества и экосистемы при исследовании представителей разных групп животных и растений. Как свидетельствует практика, балльные оценки, получаемые не только для близких видов, но и для представителей разных систематических групп, таких как растения и млекопитающие, обычно оказываются сходными, что позволяет дать интегральную характери-

стику степени отклонения состояния экосистемы от условной нормы

Преимуществами подхода, основанного на оценке состояния природных популяций по стабильности развития, являются следующие: возможность ответа не только на вопрос о том, что происходит, но и как это происходит; высокая чувствительность подхода и возможность выявления изменений в первом же поколении как при ухудшении, так и при улучшении условий.

О значимости получаемых при этом оценок свидетельствуют следующие данные:

- проведенная в ряде случаев оценка состояния организма, с использованием разных подходов к оценке гомеостаза развития, включая иммунологические, цитогенетические, биохимические и физиологические методы, показала, что они изменяются согласованно с оценкой стабильности развития (Захаров, 1987). Это говорит о том, что при используемом подходе дается не только характеристика морфогенетических процессов, но и общего состояния организма;
- оценки стабильности развития оказались скоррелированными и с собственно популяционным показателем - успехом размножения.

В целом, это свидетельствует о значимости такой оценки для характеристики состояния популяций, при большей чувствительности, по сравнению с другими подходами.

Принципиальным преимуществом подхода является возможность выявления изменений состояния организма при разных неблагоприятного воздействия, когда ни по показателям биоразнообразия (на уровне сообществ), ни по популяционным показателям изменения обычно не наблюдаются (Захаров, 1987).

Крайне важной особенностью подхода является то, что оценки, получаемые для различных видов, оказываются сходными, что открывает возможность для характеристики здоровья экосистемы по состоянию составляющих ее видов.

### *Специфика объекта*

Растения - крайне важный и интересный объект для характеристики состояния окружающей природной среды.

- Важность оценки состояния природных популяций растений состоит в том, что именно растения являются основными продуцентами, их роль в экосистемах трудно переоценить.
- Растения - чувствительный объект, позволяющий оценивать весь комплекс воздействий, характерный для данной территории в целом, поскольку они ассимилируют вещества и подвержены прямому воздействию одновременно из двух сред: из почвы и из воздуха.
- В связи с тем, что растения ведут прикрепленный образ жизни, состояние их организма отражает состояние конкретного локального местообитания.
- Удобство использования растений состоит в доступности и простоте сбора материала для исследования.

Специфика растений как объекта исследования предъявляет определенные требования к выбору видов. Общие принципы выбора видов для исследования описаны во введении к настоящему пособию. Применительно к растениям важно также учитывать следующие особенности.

### *Древесные и травянистые виды*

При выборе вида в зависимости от задачи исследования, необходимо учитывать, что, в силу прикрепленного образа жизни, мелкие травянистые виды растений в большей степени, по сравнению с древесными видами, могут отражать микробиотопические условия (как естественные - локальные различия типа почвы, влажности и других факторов, так и антропогенные - точечное загрязнение). При наличии таких микробиотопических различий, получаемые оценки состояния растений могут существенно различаться для разных видов. Это означает, что для выявления микробиотопических различий предпочтительен выбор травянистых растений, в то время как для характеристики достаточно больших территорий лучше использовать древесные растения.

### ***Гибриды и исходные формы***

При выборе объекта также важно иметь в виду, что многие виды растений подвержены межвидовой гибридизации. Необходимо учитывать возможность различия по стабильности развития между гибридами и исходными формами.

### ***Морфологические особенности***

Для удобства оценки величины флуктуирующей асимметрии мы рекомендуем избегать видов растений с заведомо асимметричными листьями.

### ***Сбор материала***

#### ***Сроки сбора материала***

Сбор материала следует проводить после остановки роста листьев (в средней полосе начиная с июля).

#### ***Объем выборки***

Каждая выборка должна включать в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 растений). Листья с одного растения лучше хранить отдельно, для того, чтобы в дальнейшем можно было проанализировать полученные результаты индивидуально для каждой особи. Для этого мы рекомендуем собранные с одного дерева листья связывать за черешки. Все листья, собранные для одной выборки, сложить в полиэтиленовый пакет, туда же вложить этикетку. В этикетке указать номер выборки, место сбора (делая максимально подробную привязку к местности), дату сбора.

#### ***Выбор растений***

При выборе растений важно учитывать четкость определения принадлежности растения к исследуемому виду, условия произрастания особи и возрастное состояние растения.

- Принадлежность к исследуемому виду. Поскольку многие растения подвержены гибридизации, которая может повлиять на уровень стабильности развития растений, то мы рекомендуем выбирать растения с четко выраженными видовыми признаками.
- Условия произрастания. Листья должны быть собраны с растений, находящихся в одинаковых экологических условиях (уровень освещенности,

увлажнения и т.д.). Мы рекомендуем выбирать растения, растущие на открытых участках (полянах, опушках), поскольку многие виды светолюбивы и условия затенения являются для них стрессовыми и могут существенно снизить стабильность развития.

- **Возрастное состояние растения.** Для исследования мы рекомендуем выбирать растения, достигшие генеративного возрастного состояния. Сбор листьев с растения. Для исследований мы предлагаем использовать лист, как орган, обладающий билатеральной симметрией.
- **Положение в кроне.** Мы рекомендуем собирать листья из одной и той же части кроны с разных сторон растения. У березы повислой мы собирали листья из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток относительно равномерно вокруг дерева.
- **Тип побега,** также не должен изменяться в серии сравниваемых выборок. У березы повислой мы использовали листья с укороченных побегов.
- **Размер листьев** должен быть сходным, средним для данного растения.
- **Поврежденность листьев.** Поврежденные листья могут быть использованы для анализа, если не затронуты участки, с которых будут сниматься измерения. Мы рекомендуем собирать с растения несколько больше листьев, чем требуется, на тот случай, если часть листьев из-за повреждений не сможет быть использована для анализа.

### ***Подготовка и хранение материала***

Никакой специальной обработки и подготовки материала не требуется. Материал может быть обработан сразу после сбора, или позднее. Для непродолжительного хранения собранный материал можно хранить в полиэтиленовом пакете на нижней полке холодильника. Для длительного хранения можно зафиксировать материал в 60% растворе этилового спирта или гербаризировать.

### ***Признаки***

#### ***Выбор признаков***

Для оценки стабильности развития растений можно использовать любые признаки по различным морфологическим структурам, для которых возможно

оценить нормальное значение и соответственно учесть степень отклонения от него.

Предпочтительным в силу простоты и однозначности интерпретации является учет асимметрии исследуемых структур, которые в норме являются симметричными. Некоторые ограничения при этом накладываются лишь необходимостью того, чтобы рассматриваемые признаки были полностью сформированы к моменту исследования (за исключением случаев решения специальных задач, связанных с оценкой стабильности развития на разных стадиях развития).

В качестве наиболее простой системы признаков, удобной для получения большого объема данных для различных популяций, предлагается система промеров листа у растений с билатерально симметричными листьями. Для оценки величины флуктуирующей асимметрии мы советуем выбирать признаки, характеризующие общие морфологические особенности листа, удобные для учета и дающие возможность однозначной оценки.

Кроме древесных растений нами производилась оценка стабильности развития для ряда выборок клевера лугового.

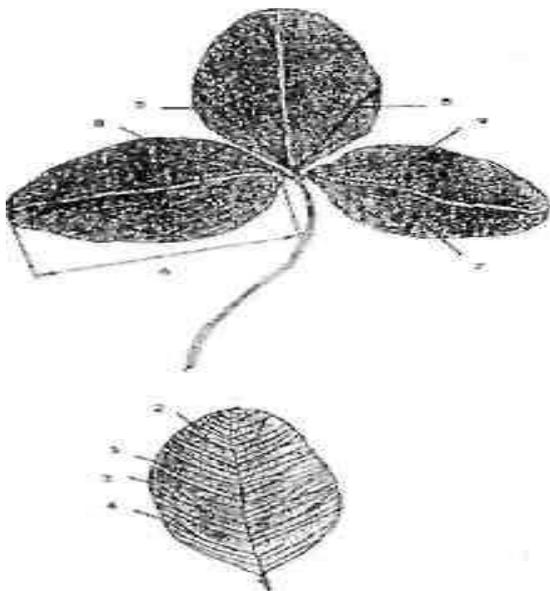


Рис. 5. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития клевера лугового (*Trifolium pratense*)

1 - число жилок второго порядка, отходящих от средней жилки и не доведенных до края листа;

- 2 - число жилок второго порядка, замкнутых на соседние жилки;
- 3 - число многократно разветвленных жилок второго порядка;
- 4 - число однократно разветвленных жилок второго порядка;
- 5 - длина хорды на среднем листочке;
- 6 - длина супротивных боковых листочков;
- 7 - ширина супротивных боковых листочков;
- 8 ~ длина хорды на каждом из боковых листочков;
- 9 - ширина хорды на каждом из боковых листочков.

### *Измерение*

В качестве примера можно указать систему признаков, разработанную нами для березы. Для измерения лист помещают перед собой стороной, обращенной к верхушке побега. С каждого листа снимают показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рис. 6).



Рис. 6. Схема морфологических признаков или оценки стабильности развития березы повислой

1-5 – Промеры листа:

- 1 – ширина половинки листа (измерение проводят по середине листовой пластинки);
- 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка;
- 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4 – расстояние между концами этих жилок;
- 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Для измерений потребуются измерительный циркуль, линейка и транспортир. Промеры 1 - 4 снимаются циркулем-измерителем, угол между жилками (признак 5) измеряется транспортиром.

Результаты измерений заносятся в таблицу (образец таблицы см. в разде-

ле «Получение результатов и статистическая обработка»).

### ***Пятибалльная шкала оценки стабильности развития***

Для оценки степени нарушения стабильности развития удобно использовать пятибалльную оценку. Пока такая шкала предложена нами только для березы, поскольку для этого объекта нами собран достаточно обширный материал. Первый балл шкалы - условная норма. Значения интегрального показателя асимметрии (величина среднего относительного различия на признак), соответствующие первому баллу наблюдаются, обычно, в выборках растений из благоприятных условий произрастания, например, из природных заповедников. Пятый балл - критическое значение, такие значения показателя асимметрии наблюдаются в крайне неблагоприятных условиях, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии.

*Таблица 15.* Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*)

<b>Балл</b>	<b>Величина показателя стабильности развития</b>
I	< 0,010
II	0,040 - 0,044
III	0,045 - 0,049
IV	0,050 - 0,054
V	>0,054

В приведенном примере показатель асимметрии был равен 0,042, что соответствует второму баллу шкалы. Это означает, что растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов.

Значения показателя асимметрии, соответствующие третьему и четвертому баллам обычно наблюдаются в загрязненных районах.

Предлагаемый нами подход может быть использован для оценки состояния популяций отдельных видов растений, а также качества среды в целом. Так

как уровень стабильности развития зависит от условий обитания растения, то соответствующими баллами можно оценивать и состояние окружающей среды.

### ***Прижизненная оценка и работа с музейным материалом***

Предлагаемый метод дает возможность прижизненной оценки объекта. Сбор ряда листьев из кроны дерева не наносит ему ощутимого вреда. При необходимости измерения могут проводиться и на растении. Это позволяет исследовать состояние даже редких краснокнижных видов.

Для анализа можно использовать коллекционный музейный материал, но надо иметь в виду, что для оценки требуются серии растений или листьев, собранные в одном месте. Можно использовать зафиксированный или сухой материал. При работе с гербарием надо иметь в виду, что материал становится ломким и следить за тем, чтобы листья, используемые для измерений были хорошо расправлены.

-7-

### ***Специфика объекта***

Рыбы, находясь на вершине пищевых цепей в водных экосистемах, представляют собой важный объект биомониторинга.

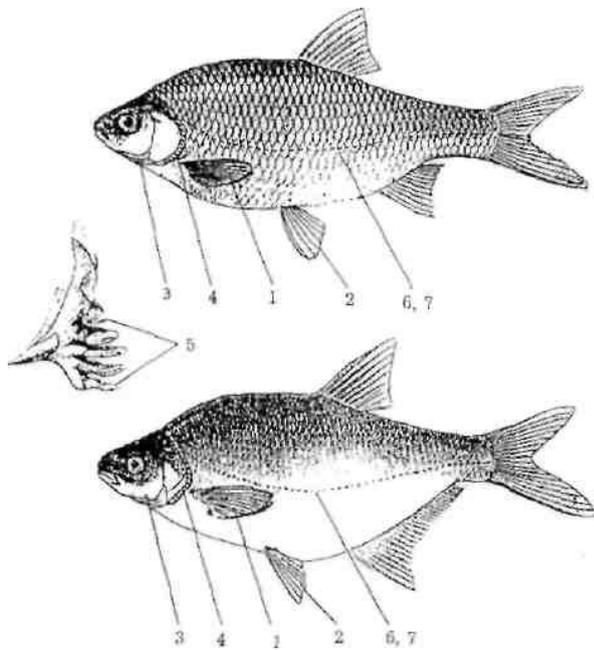
Однако при сборе материала и интерпретации данных могут возникать определенные трудности. В отношении мелких замкнутых водоемов (пруды, старицы и т. п.) трудности могут быть связаны с отсутствием в разных исследуемых водоемах одних и тех же видов. Что касается крупных водных систем (водохранилища, большие озера, реки), то кроме сказанного, могут возникать и трудности с интерпретацией полученных результатов, связанных с недостатком данных относительно особенностей нереста и перемещения, как взрослых особей, так и молоди изучаемых рыб (скат икры и молоди в реках, нерестовые и кормовые миграции ит. д.).

### ***Сбор материала***

Использовать лучше всего фоновые для данной местности виды, чтобы иметь гарантию отлова выборок одного и того же вида рыб во всех изучаемых точках. Рыбы в этом отношении - удобный объект, так как обычные для России

плотва, лещ, карась, окунь, щука достаточно многочисленны и распространены практически повсеместно.

Выборки должны быть одновозрастными и при изучении взрослых рыб необходимо учитывать, что полученные оценки уровня флуктуирующей асимметрии отражают воздействие среды на момент формирования исследуемых признаков. Оценку ситуации на текущий момент позволит получить анализ выборок сеголеток.



1-7 - меристические признаки:

- 1- число лучей в грудных плавниках;
- 2- число лучей в брюшных плавниках;
- 3- число лучей в жаберной перегородке;
- 4 - число жаберных тычинок на 1-й жаберной дуге;
- 5 - число глоточных зубов;
- 6 - число чешуи в боковой линии;
- 7- число чешуи боковой линии, прободенных сенсорными канальцами.

У плотвы не учитывается признак 5 в связи с направленностью асимметрии по этому признаку.

Рис. 7. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития леща (*Abramis brama*) и плотвы (*Rutilus rutilus*)

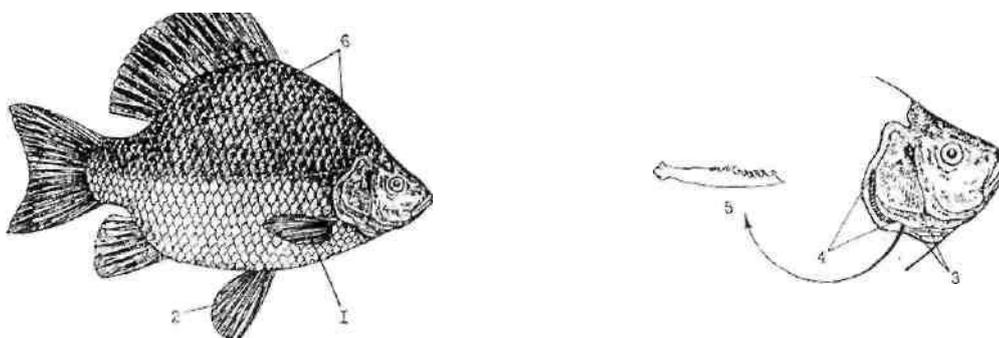


Рис. 8. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития золотого карася (*Carassius auratus*) и серебряного карася (*Carassius auratus*).

1-6 - меристические признаки:

- 1 - число лучей в грудных плавниках;
- 2 - число лучей и брюшных плавниках;
- 3 - число лучей » жаберной перепонке
- 4 - число жаберных тычинок;
- 5 - число глоточных зубов;
- 6 - число чешуи в боковой линии.

Учитывая дальнейшую статистическую обработку, объем выборки должен быть порядка 20-30 особей.

### ***Подготовка и хранение материала***

Для анализа лучше всего использовать свежепойманную рыбу. Хранить материал удобно в замороженном виде. Можно фиксировать рыбу в 4% формалине или 70% этаноле.

Хранить обработанный материал достаточно сложно, так как при обработке в большой степени разрушается чешуйчатый покров и некоторые другие структуры.

### ***Признаки***

По нашему опыту для оценки уровня стабильности развития можно использовать систему меристических признаков, обычно применяемых при ихтиологических исследованиях. Мы использовали для разных видов 6-8 легко учитываемых признаков, таких как число лучей парных плавников, число тычинок на первой жаберной дуге (при желании можно увеличить число признаков, учитывая тычинки и на остальных жаберных дугах), число чешуи в боковой линии. На рисунке 7 приведена система морфологических признаков, используемая нами для оценки стабильности развития леща и плотвы. У некоторых видов (например, у щуки) легко учитывается количество хемипор на разных участках головы, а у окуня, кроме того, мы считали число шипов (выростов) на преджаберной крышке и учитывали признаки окраски тела.

### **Список морфологических признаков для оценки стабильности развития щуки (*Esox lucius*)**

- 1 - число лучей в грудных плавниках;
- 2 - число лучей в брюшных плавниках;

- 3 - число лучей в жаберной перепонке;
- 4 - число жаберных тычинок на первой жаберной дуге;
- 5 - число надглазничных сенсорных пор;
- 6 ~ число сенсорных пор на нижней челюсти;
- 7 - число сенсорных пор на жаберной крышке;
- 8 — число подглазничных сенсорных пор.

**Список морфологических признаков для оценки стабильности развития речного окуня (*Percafluviatilis*):**

- 1 - число лучей в грудных плавниках;
- 2 - число лучей жаберной перепонки;
- 3 - число жаберных тычинок на первой жаберной дуге;
- 4 - число зубцов по краю преджаберной крышки;
- 5 - число шипов на подкрышечной жаберной кости;
- 6 - число сенсорных пор на верхней части головы;
- 7 - число сенсорных пор на нижней челюсти;
- 8 - число лучей в брюшных плавниках.

**Список морфологических признаков для оценки стабильности бычка-зеленчака (*Zosterisessorophiocephalus*):**

- 1 - число лучей в грудных плавниках (18-19);
- 2 - число лучей в брюшных плавниках (6);
- 3 - число жаберных лучей (5);
- 4 - число жаберных тычинок на 1 жаберной дуге (13);
- 5 - число жаберных тычинок на 2 жаберной дуге (11);
- 6 - число жаберных тычинок на 3 жаберной дуге (11-12);
- 7 - число жаберных тычинок на 4 жаберной дуге (10).

Желательно избегать признаков с явной направленностью асимметрии. Примером такой направленной асимметрии может служить число глоточных зубов у плотвы

***Пятибалльная шкала оценки стабильности развития***

Разработанная для рыб пятибалльная шкала оценки стабильности разви-

тия оказалась пригодной для всех исследованных нами видов.

Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для рыб.

*Таблица 16.* Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для рыб

Балл	Величина показателя стабильности развития
I	<0,30
II	0,30 – 0,34
III	0,35 – 0,39
IV	0,40 – 0,4
V	>0,44

### ***Прижизненная оценка и работа с музейным материалом***

Прижизненная оценка стабильности развития рыб весьма проблематична, поскольку при этом резко уменьшается число доступных для обработки признаков. Учитывая неизбежный травматизм и небольшую вероятность выживания проанализированных особей, прижизненная обработка кажется нам нецелесообразной, тем более что нет никакой необходимости использовать для целей мониторинга ценные, редкие или исчезающие виды. Для анализа стабильности развития может быть использован и музейный материал.

-8-

### ***Специфика объекта***

Земноводные являются удобным объектом при проведении биомониторинга. Так как амфибии обитают на границе двух сред - водной и наземной, состояние их организма в полной мере отражает состояние окружающей среды.

Использование амфибий в целях биомониторинга удобно также в связи с их приуроченностью к определенному водоему. Это облегчает интерпретацию данных: состояние организма амфибий отражает состояние локального место-

обитания.

При соответствующем подборе признаков анализ стабильности развития возможен для любых видов земноводных. Нами накоплен опыт по оценке группы европейских зеленых лягушек (*Rana lessonae*, *R. ridibunda*, *R. esculenta*). Эта группа амфибий имеет преимущества по сравнению с другими: обширный ареал, массовость. Все это позволяет производить биомониторинг на большой территории, используя одни и те же признаки и получая таким образом сопоставимые данные.

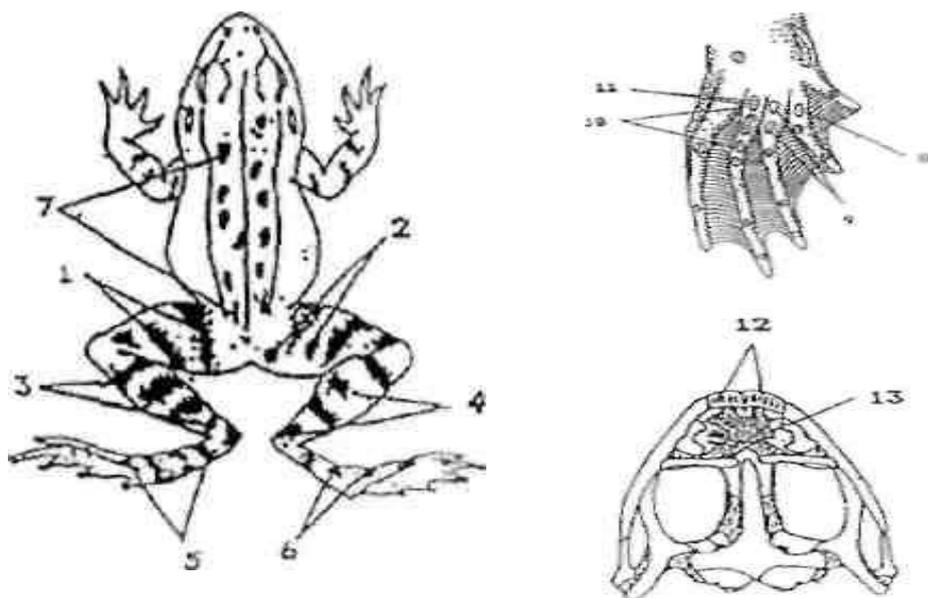


Рис. 9. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития европейских зеленых лягушек (*Rana esculenta* complex): озерная лягушка (*Rana ridibunda* Pallas); прудовая лягушка (*R. lessonae* Cramerano), гибридная форма (*R. esculenta* L.).

1-13 - меристические признаки:

- 1 - число полос на дорзальной стороне бедра;
- 2 - число пятен на дорзальной стороне бедра;
- 3 - число полос на дорзальной стороне голени.
- 4 - число пятен на дорзальной стороне голени;
- 5 - число полос на стопе;
- 6 - число пятен на стопе;
- 7 - число пятен на спине,
- 8 - число белых пятен на плантарной стороне второго пальца задней конечности;
- 9 - число белых пятен на плантарной стороне третьего пальца задней конечности,
- 10 - число белых пятен на плантарной стороне четвертого пальца задней конечности.
- 11 - число пор на плантарной стороне четвертого пальца задней конечности.
- 12 - число зубов на межчелюстной кости;
- 13 - число зубов на сошнике.

### ***Сбор материала***

Для анализа желательно брать особей в возрасте от одного года и старше, так как большинство используемых морфологических признаков формируется к этому возрасту и не подвержены дальнейшим возрастным изменениям. Использование сеголеток может быть рекомендовано лишь для сравнения с той же возрастной группой, поскольку к этому моменту не все из исследуемых морфологических структур достигли дефинитивного состояния.

Желательно, чтобы сравниваемые выборки состояли из животных одного размерного класса.

Учитывая дальнейшую статистическую обработку, рекомендуемый объем - 20 особей

### ***Подготовка и хранение материала***

Материал не нуждается в предварительной подготовке. Отловленных особей рекомендуется усыплять эфиром. Удобнее всего для анализа использовать свежепойманный материал. При необходимости его можно хранить в замороженном виде, в 4% формалине или 70% этаноле. Хранение в этаноле предпочтительнее, так как при длительном хранении в формалине, окраска лягушек темнеет, что в дальнейшем делает анализ окраски невозможным.

### ***Признаки***

Нарушение стабильности развития проявляется в строении самых различных морфологических структур, поэтому для ее оценки можно использовать любые билатеральные признаки. Желательно выбирать признаки которые легко учитывать. Наиболее удобными для анализа нам представляются две группы признаков - признаки окраски и остеологии (рис.9). При работе с зелеными лягушками. Используются такие признаки как число полос и пятен на бедре, голени и стопе, число пятен на спине, число белых пятен на плантарной стороне пальцев задней конечности, число пор на плантарной стороне четвертого пальца задней конечности, число зубов на межчелюстной кости и сошнике.

При проведении анализа с использованием предлагаемой схемы признаков нужно учитывать следующие рекомендации:

- Не следует учитывать мелкий крап.
- При работе с признаками 1-6 бывает трудно отличить пятно от полосы. Мы предлагаем использовать формальный критерий, в соответствии с которым полосой можно считать тот элемент рисунка, длина которого, по крайней мере, в два раза превышает ширину.
- Пятна спины, расположенные между центральной линией и дорзолатеральной железой, следует учитывать от основания головы до подвздошной кости, так как каудальнее часто располагается множество мелких пятен, точный учет которых затруднителен.
- Следует учитывать только наиболее крупные поры на плантарной поверхности четвертого пальца. Число таких пор обычно бывает не больше пятнадцати. Место соединения межчелюстной кости и верхнечелюстной кости определить достаточно легко, так как соединение это подвижно.

При подсчете числа зубов следует помнить, что у амфибий происходит смена зубов в связи с чем, одного или нескольких зубов может не хватать, однако, это довольно легко определить по большому расстоянию между зубами. Такой пропуск в зубном ряду следует учитывать как зуб. Кроме европейских зеленых лягушек оценка стабильности развития проводилась нами для травяной лягушки (*Ranatemporaria*).

**Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития лягушки (*Ranatemporaria*):**

- 1 - число полос на дорзальной стороне бедра;
- 2 - число пятен на дорзальной стороне бедра;
- 3 - число полос на дорзальной стороне голени;
- 4 - число пятен на дорзальной стороне голени;
- 5 - число полос на стопе;
- 6 - число пятен на стопе;
- 7 - число пятен на спине;
- 8 - число бугорков на Л образном пятне спины;
- 9 - число зубов на межчелюстной кости;

10 - число зубов на сошнике.

### ***Пятибалльная шкала оценки стабильности развития***

Разработанная для земноводных пятибалльная шкала оценки стабильности развития от условно нормального состояния оказалась пригодной для обоих исследованных групп лягушек.

Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для земноводных.

*Таблица 17.* Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для земноводных

<b>Балл</b>	<b>Величина показателя стабильности развития</b>
I	<0,50
II	0,50 - 0,54
III	0,55 – 0,59
IV	0,64
V	>0,64

### ***Прижизненная оценка и работа с музейным материалом***

Используя предлагаемый метод, возможно проведение прижизненной оценки. При этом следует исключить признаки 11,12. 13 (рис. 9). Однако, для получения достоверных результатов с помощью такой системы признаков минимальный размер анализируемой выборки следует увеличить.

Оценка стабильности развития возможна с использованием музейного материала. Правильно фиксированный материал сохраняет окраску и признаки остеологии на протяжении десятков лет. У нас есть опыт использования такого материала для оценки стабильности развития. Анализ фиксированного материала ничем не отличается от работы с полевым материалом.

Млекопитающие, находясь на вершине пищевых цепей, являются важным объектом для характеристики рассматриваемой экосистемы. Данные, получаемые по представителям этой группы, в наибольшей степени пригодны для экстраполяции на человека.

В качестве объектов для биомониторинга можно рекомендовать различные виды мелких млекопитающих.

### ***Сбор материала***

Использование фоновых, наиболее многочисленных для данного региона видов облегчает сбор материала и дает возможность получения выборок одного и того же вида во всех изучаемых точках. Можно предложить, например, такие широко распространенные виды как рыжая и обыкновенная полевки, лесная, полевая и домовая мыши, обыкновенная бурозубка и др.

Различия между животными разных возрастных групп обычно отсутствуют, поэтому возможно использование суммарной выборки. Если желательна оценка ситуации на текущий момент, необходимы выборки молодых особей этого года рождения.

Для характеристики популяции необходимо использование репрезентативной выборки. Опыт свидетельствует, что адекватная оценка ситуации может быть получена уже при анализе 20 особей.

При сборе материала предпочтительнее использование живоловок или ловчих канавок, т. к. другие орудия отлова могут повреждать материал, что особенно нежелательно при малой численности животных.

При интерпретации результатов необходимо учитывать, что полученные оценки стабильности развития по краниологическим признакам отражают воздействие на момент формирования исследованных признаков (период пренатального онтогенеза и ранние этапы постнатального развития) и не подвержены дальнейшим возрастным изменениям.

### ***Подготовка и хранение материала***

Материал до обработки лучше хранить в замороженном виде. При отсут-

ствии такой возможности для фиксации можно использовать 70% этанол или 4% формалин.

Для изучения асимметрии у мелких млекопитающих наиболее удобным представляется черепной материал. Мягкие ткани удаляются с костей черепа после его вываривания. Время вываривания в определенной степени зависит от способа и времени консервирования, а также возраста и вида животного (для мышевидных грызунов порядка 50 минут) Поэтому в каждом конкретном случае лучше время определить опытным путем. При других способах чистки черепов (например, использование ферментов) требуется известная осторожность (из-за возможного разрушения хрящевых тканей) и предварительная отработка метода.

Качество очистки черепа желательно контролировать под биноклем.

Костный материал не требует особых условий хранения. Он может сохраняться длительное время. Материал должен быть снабжен этикеткой с указанием места и времени сбора материала и другой необходимой информации.

### ***Признаки***

При изучении стабильности развития млекопитающих мы в большинстве случаев используем краниологические признаки, а именно число мелких отверстий для нервов и кровеносных сосудов на левой и правой сторонах черепа. На рисунке 4 приведена схема признаков рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*). Это признаки которые формируются на ранних стадиях онтогенеза и не подвержены, как правило, возрастным изменениям.

Кроме рыжей полевки в качестве объектов для изучения различных аспектов стабильности развития нами исследовались и другие виды млекопитающих.

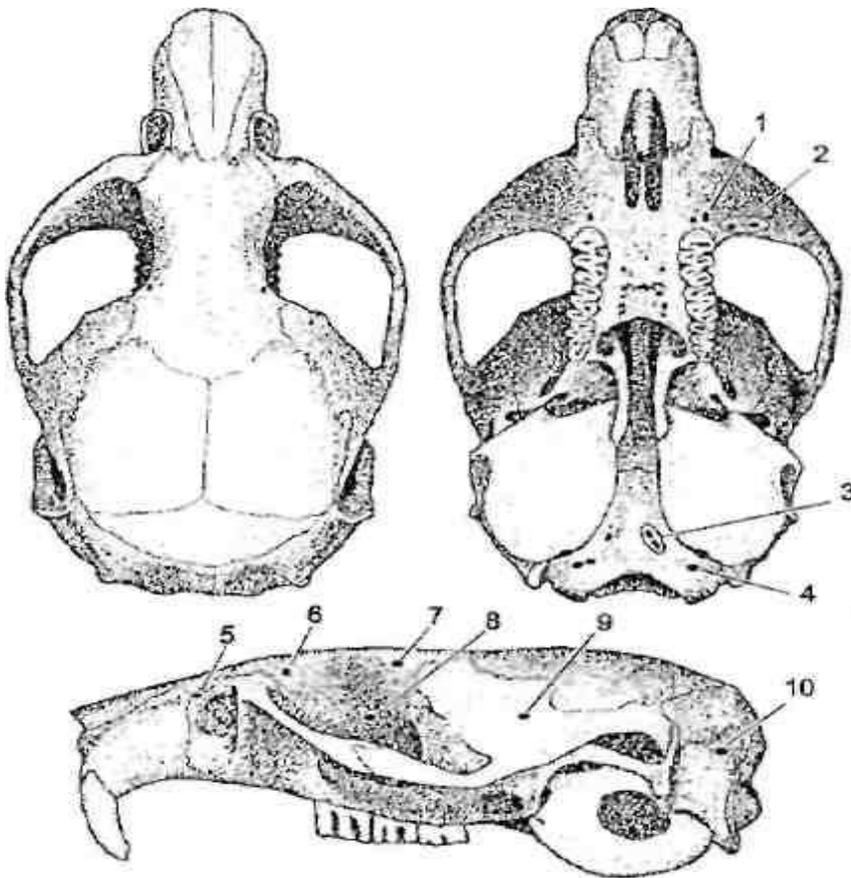


Рис.10.Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) и обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*).

Число мелких отверстий:

- 1 - на верхнечелюстной кости (в районе диастемы), перед коренными зубами.
- 2 - на скуловом отростке верхнечелюстной кости;
- 3 - неосновной затылочной кости (перед подъязычным отверстием);
- 4- подъязычное отверстие (вместе с дополнительными);
- 5 - на предчелюстной кости (над инфраорбитальным каналом;
- 6 - на латеральной поверхности лобной кости (позади слезной);
- 7 - нижней части орбитальной поверхности лобной кости (над орбитальной вырезкой).
- 8 - в верхней части мозговой пластинки лобной кости под теменным гребнем;
- 9 - на чешуйчатой кости;
- 10 - на сосцевой части каменной кости

### ***Пятибалльная шкала оценки стабильности развития***

Разработанная для млекопитающих пятибалльная шкала оценки отклонений уровня стабильности развития от условно-нормального состояния оказалась пригодной для всех исследованных нами видов млекопитающих.

Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для млекопитающих.

Таблица 18. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для млекопитающих

Балл	Величина показателя стабильности развития
I	<0,35
II	0,35 - 0,39
III	0,40 - 0,44
IV	0,45 - 0,49
V	>0,49

### **Прижизненная оценка и работа с музейным материалом**

Существует возможность прижизненной оценки стабильности развития у млекопитающих. Известен, например, опыт фотографирования носогубного зеркала с дальнейшим анализом его дермэтоглифа по фотографиям у крупного рогатого скота.

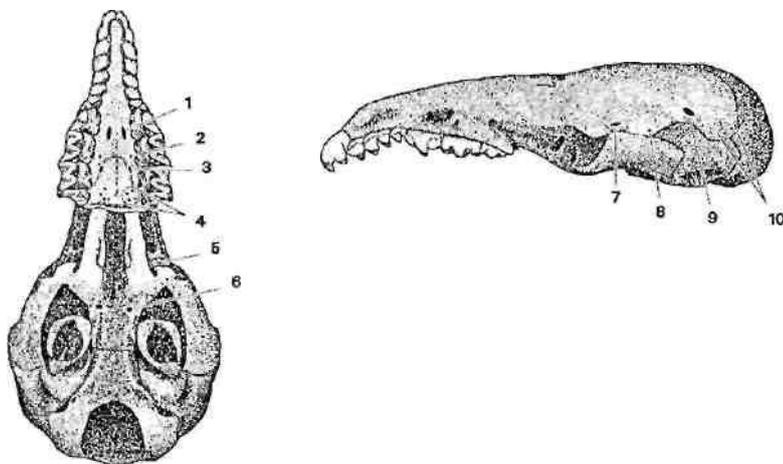


Рис. 11. Схема морфологических признаков для оценки стабильности обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*):

Число отверстий:

- 1 - на верхнечелюстной кости на уровне второго моляра (переднебные).
- 2 - на верхнечелюстной кости, между передне - и заднебными;
- 3 - в шве между небной и верхнечелюстной костями (заднебные);
- 4 - на пластинке небной кости, в ложбинке позади заднебного отверстия;
- 5 - на чешуйчатой кости позади верхнего суставного бугорка;
- 6 - на основной сфеноидной кости вокруг входа в птеригоидный канал;
- 7 - в передней части теменной кости позади глазницы, перед желобком;
- 8 - в средней части теменной кости в основании желобка;
- 9 - на теменной кости у выхода из желобка;
- 10 - на заднем выступе теменной кости.

В зоологических музеях имеется обширный материал по многим видам

млекопитающих, пригодный для изучения стабильности развития. Примером такого использования музейного материала может служить исследование стабильности развития серого тюленя и зубра.

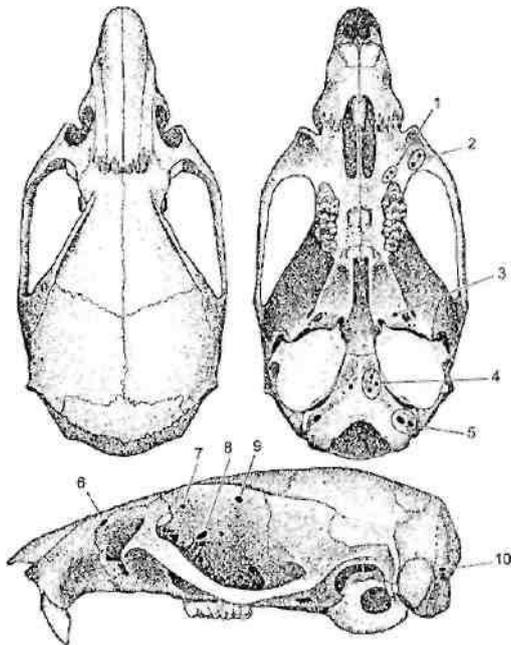


Рис. 12. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития для полевой мыши (*Apodemusagrarius*), малой мыши (*Apodemusuralensis*), желтогорлой мыши (*Apodemusflavicolis*), мыши-малютки (*Micromysminutus*):

Число отверстий:

- 1 - на верхнечелюстной кости в районе диастемы, перед коренными зубами;
- 2 - на скуловом отростке верхнечелюстной кости;
- 3 - на основной клиновидной кости между непостоянным и овальным отверстиями;
- 4 - на основной затылочной кости;
- 5 - подъязычное отверстие вместе с дополнительными;
- 6 - на предчелюстной кости, над инфраорбитальным каналом.
- 7 - на латеральной поверхности лобной кости (позади слезной);
- 8 - на нижней части орбитальной поверхности лобной кости (над орбитальной вырезкой);
- 9 - в верхней части мозговой пластинки лобной кости под теменным гребнем;
- 10 - в районе затылочных мыщелков.

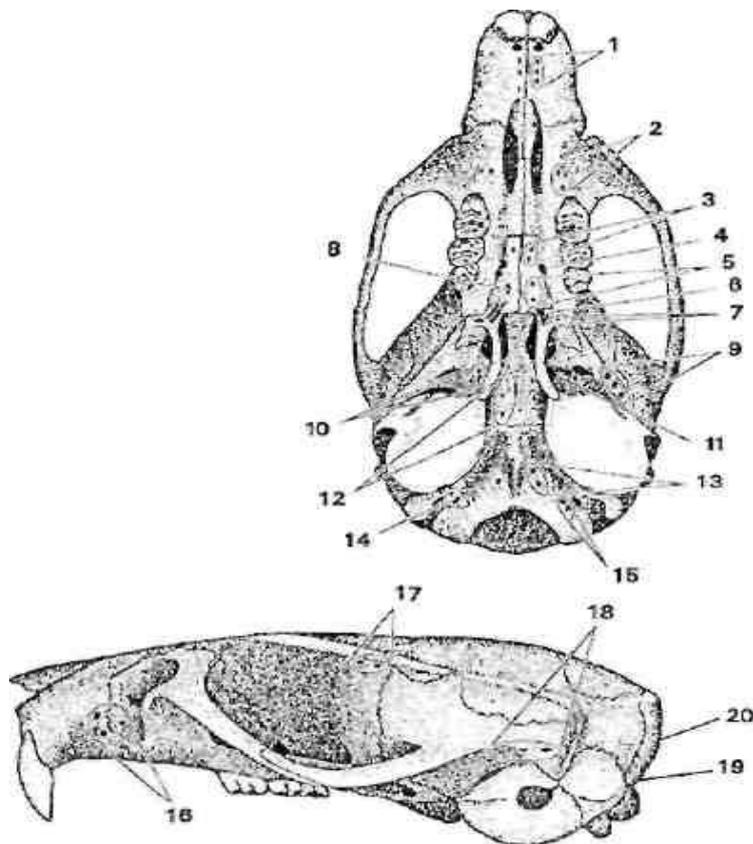


Рис. 13. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития серой крысы (*Rattus norvegicus*):

Число отверстий:

- 1 - в предчелюстной кости снизу, в области шва между одноименными костями;
- 2 - на челюстной кости в области диастемы;
- 3 - мелкие отверстия спереди от небного;
- 4 - небные отверстия;
- 5-7 - группы мелких отверстий позади небного (заднебные):
- 5. - заднебное-I;
- 6 - заднебные-II;
- 7 - заднебные III;
- 8 - крупные небные отверстия;
- 9 - в крыловидной кости;
- 10 - дополнительные мелкие отверстия вокруг выхода в межпоперечный канал,
- 11 - отверстия выхода межпоперечного канала;
- 12 - по краю основной клиновидной кости;
- 13 - отверстия на основании (на теле) затылочной кости;
- 14 - мелкие (дополнительные) отверстия на теле основной сфероидной кости перед входом в подъязычный канал;
- 15 - мелкие отверстия в стенке подъязычного канала;
- 16 - на боковой поверхности предчелюстной кости;
- 17 - надглазничные;
- 18 - мелкие отверстия в районе засочленовного;
- 19 - сбоку от затылочных мышцелков;
- 20 - вдоль затылочного гребня.

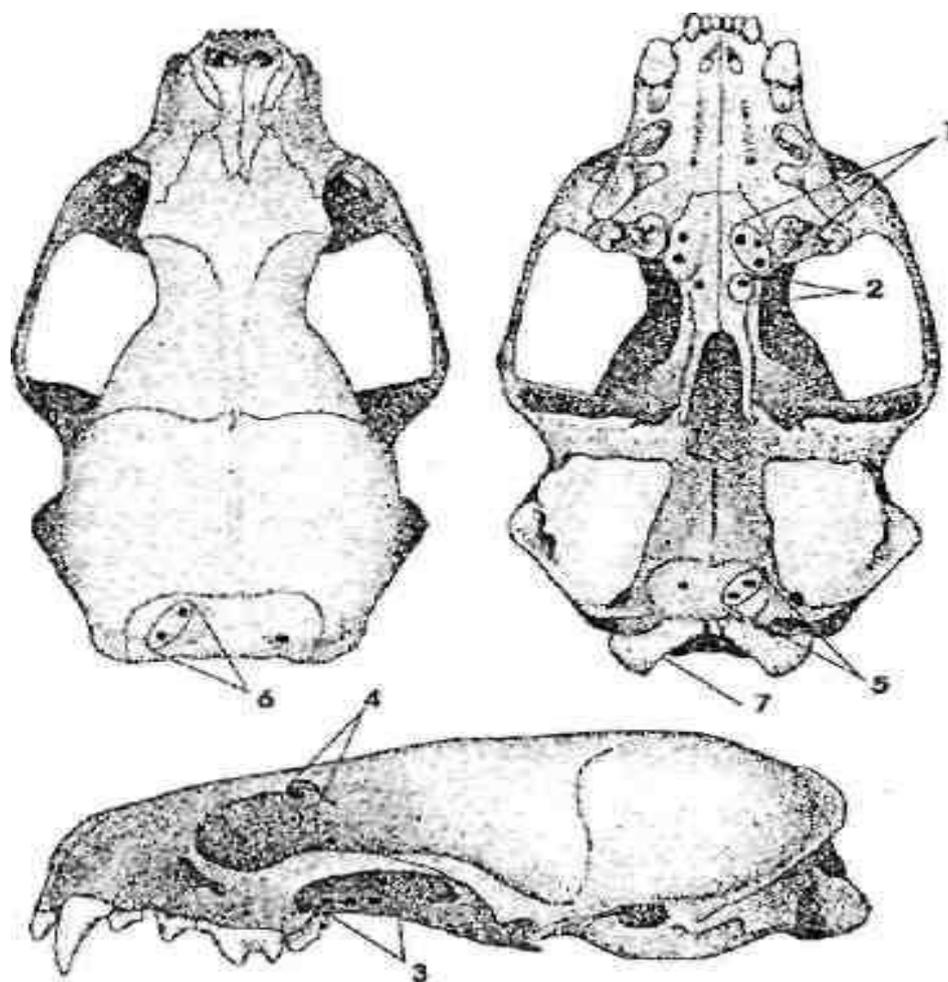


Рис. 14. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития норки (*Mustelavison*):

Число отверстий:

1 – на бугорках небной кости;

2 – за небными бугорками.

3 – на дорзальной поверхности тела верхнечелюстной кости;

4 – в верхней части мозговой пластинки лобной кости под теменным гребнем (наглазничные отверстия около заглазничного отростка);

5 – на основании затылочной кости;

6 – на верхнезатылочной кости;

7 – на внутренней стороне затылочных мышцелков.

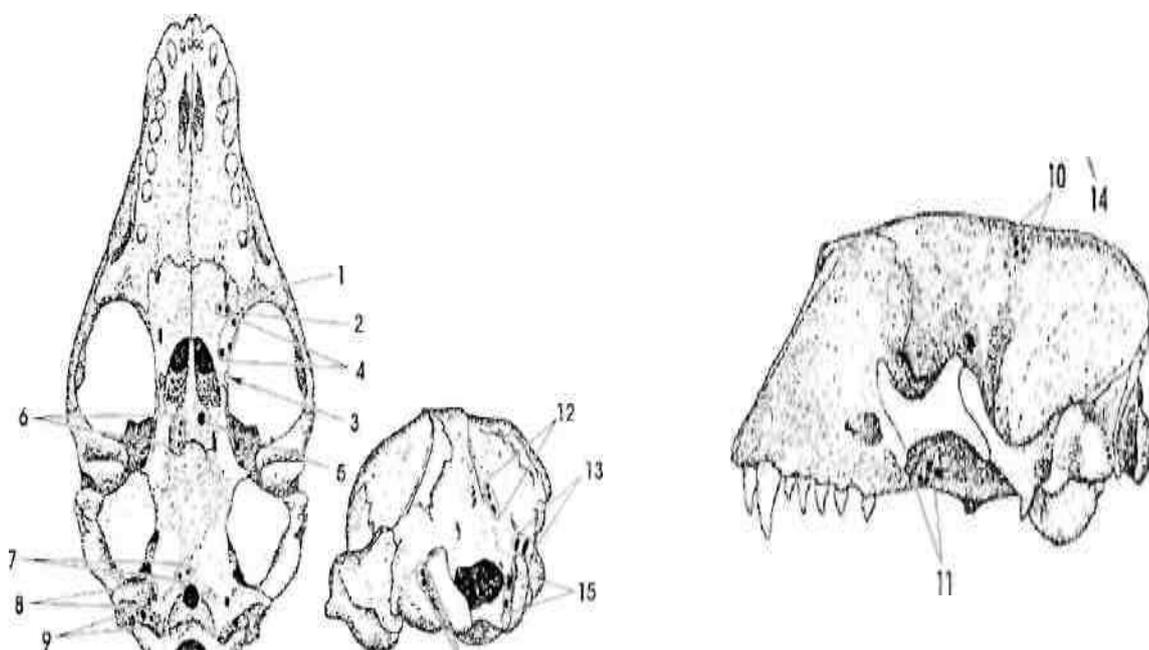


Рис. 15. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития серого тюленя (*Halichoerus grypus*) и кольчатой нерпы (*Pusa hispida*):

Число отверстий:

- 1 - крупные отверстия на небном шве;
- 2 - крупные отверстия на на задней части небной кости;
- 3 - мелкие отверстия в районе небных;
- 4 - небные отверстия;
- 5 - крупные отверстия на боковой поверхности клиновидной кости;
- 6 - мелкие отверстия на боковой поверхности клиновидной кости;
- 7 - мелкие отверстия на основании затылочной кости;
- 8 - подъязычное отверстие (вместе с дополнительными);
- 9 - на нижней стенке затылочных мышцелков;
- 10 - отверстия на передней части чешуйчатой кости;
- 11 - дополнительные отверстия к нижнеглазничным;
- 12 - дополнительные отверстия на затылочной кости;
- 13 - сбоку от затылочного гребня;
- 14 - на задней стенке затылочных мышцелков;
- 15 - на внутренней стенке затылочных мышцелков.

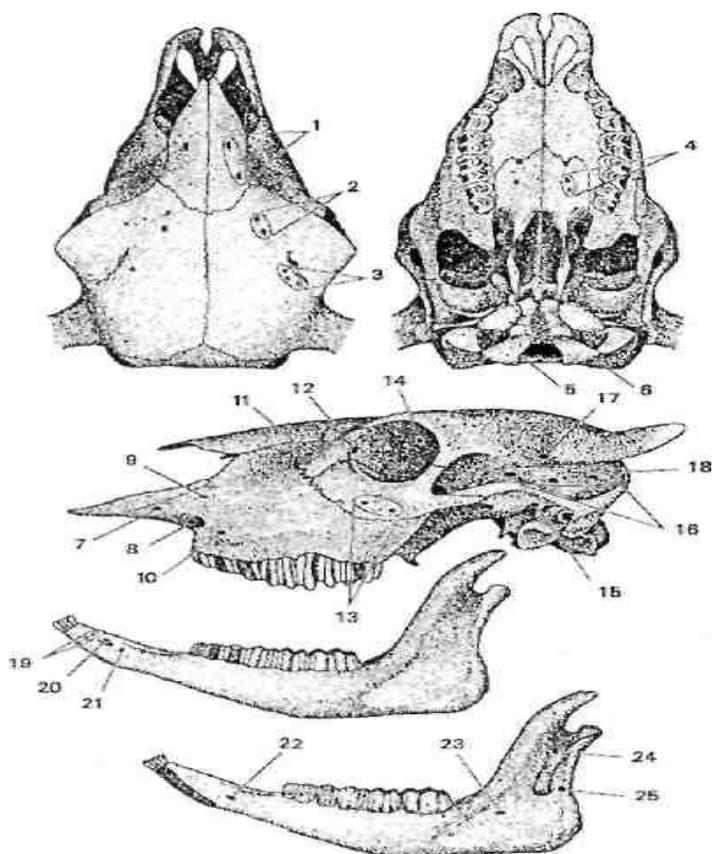


Рис. 16. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития зубра (*Bison bonasus*) икоровы.

Число отверстий:

- 1 - на носовой кости;
- 2 - на лобной кости спереди от надглазничного отверстия;
- 3 - позади надглазничного отверстия;
- 4 - позади входа небного канала;
- 5 - входные отверстия для подъязычного нерва;
- 6 - над мышелками;
- 7 - спереди от инфраорбитального канала,
- 8 - внутри инфраорбитального канала (на внутренней стенке входа в канал);
- 9 - над инфраорбитальным каналом;
- 10 - позади инфраорбитального канала;
- 11 - на слезной кости, впереди слезного отверстия;
- 12 - слезное отверстие;
- 13 - на боковой поверхности передней части скуловой кости.
- 14 - латеральный выход верхнеглазничного отверстия;
- 15 – засочленовные отверстия;
- 16 - над мышелками.
- 17 - над средней частью височного гребня лобной кости;
- 18 - в области затылочно-теменного шва.
- 19 - на нижней челюсти, впереди подбородочного канала;
- 20- внутри подбородочного канала (на внутренней стенке входа в подбородочный)
- 21 - позади подбородочного канала;
- 22 - на внутренней поверхности челюсти позади симфизиса;
- 23 - спереди от челюстного отверстия;
- 24 - сверху от челюстного отверстия;
- 25- позади от челюстного отверстия.

## **Раздел II Лабораторные работы**

### **Лабораторная работа №1 Оценка солевого загрязнения почвы по листьям липы**

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

**Материалы и оборудование:** гербарий листьев липы с различной степенью краевого хлороза, собранных с деревьев, растущих на загрязненных городских газонах; таблицы с рисунками степени повреждения листьев при разной интенсивности загрязнения; лупы; альбомы; цветные карандаши.

**Ход работы:** Если проводить работу со свежесобраным материалом, то исследования лучше проводить во второй половине июля (по август), с гербаризованным материалом можно работать круглогодично.

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

При выполнении работы внимательно осматривают листья лип, растущих вдоль городских улиц, фиксируют все повреждения листовой пластинки по следующей шкале:

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

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

Студенты в альбомах зарисовывают листья липы с различной степенью хлороза листовой пластинки и делают вывод о степени загрязнения почвы, на которой росли деревья.

Студенты предлагают, обсуждают и записывают в тетради мероприятия по оздоровлению почв газонов.

Например, следующие:

- отказ от использования соляных противогололедных смесей в пользу песчаных;
- высадка устойчивых к засолению растений;
- обязательный сбор, вывоз и сжигание растительного опада;
- известкование почв;
- промывка почв;
- отказ от посадки деревьев в пользу более устойчивых кустарников;
- замена верхнего плодородного слоя почвы на незагрязненную почву.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое хлороз?
2. Какие степени повреждения листовой пластинки отмечаются у липы на загрязненных почвах?
3. Загрязнение какими химическими соединениями может вызывать хлороз листьев липы?
4. Что такое тест-объект?
5. Почему в качестве тест-объекта выбрана липа?

## **Лабораторная работа №2. Индикация состояния среды по частотам встречаемости фенов белого клевера**

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

**Материалы и оборудование:** свежесобранные или гербаризированные листья клевера белого; лупы; таблицы и рисунки с различными фенами белого клевера; альбомы; цветные карандаши; калькуляторы.

### **Ход работы:**

При выполнении работы в районе расположения какого-либо промышленного предприятия, оказывающего влияние на окружающую среду путем выброса в атмосферу загрязняющих веществ, подбирают участок, на котором встречается клевер белый. На этом участке, двигаясь по трансекте, исследователь фиксирует все куртинки клевера и определяет фенотип. Для этого можно воспользоваться рисунками из некоторых руководств или самому оценивать разные фенотипы, которые будут встречаться.

Влияние антропогенных факторов довольно часто отражается на фенотипической структуре популяций растительных и животных организмов. Частота встречаемости некоторых фенов является биологическим индикатором воздействия, в частности, загрязнения среды.

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

Например, на одной куртинке на листьях клевера имеются белые полоски, расположенные в виде незамкнутых треугольников, на другой куртинке - в виде штрихов и т.д. Иногда могут наблюдаться белые пятна в основании листочков, а также пятна и штрихи на листьях. Исследователи могут сами составить атлас рисунков разных фенов и использовать их в дальнейшей работе.

Отсчеты фенов следует проводить не чаще, чем через 2-3 шага. Закончив

движение по одной трансекте, меняют направление и продолжают работу. Если в какой-либо точке площадки обнаруживают два разных фена на одной куртинке, то они не учитываются, поскольку здесь будет переплетение куртинок.

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

Данные по каждому фену заносятся в соответствующие графы таблицы 1.

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

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

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

где  $P_i$  - частота 1-го фена;  $n_i$  - количество учтенных растений с  $i$ -м рисунком на листовой пластинке ( $n_1$  - число растений без «седого» рисунка);  $N$  - общее количество учтенных растений.

Результаты расчетов заносят в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты фенотипической диагностики пробной площадки №...

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

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

Студенты в альбомах зарисовывают листья клевера белого с различными рисунками на листовых пластинках, подсчитывают ИСФ для данной террито-

рии и делают вывод о степени антропогенной нагрузки на территорию.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое фенотип?
2. Что такое фен?
3. Как рассчитать частоту встречаемости какого-либо фена?
4. Как рассчитать суммарную частоту встречаемости всех форм с рисунком (индекс соотношения фенов)?
5. Какая величина ИСФ говорит об относительной чистоте территории?
6. Какая величина ИСФ говорит о высокой антропогенной нагрузке на территорию?

**Лабораторная работа №3. Биоиндикация состояния почв по наличию тех или иных видов растений**

**Цель работы:** Ознакомление студентов с различными видами растений-индикаторов кислотности почв.

**Материалы и оборудование:** гербарий растений-биоиндикаторов почв; таблица растений-индикаторов кислотности почв по Л.Г. Раменскому; альбомы; цветные карандаши.

**Ход работы:**

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

***Растения - индикаторы кислотности почв.***

Выделяют три основные группы растений по отношению к кислотности почв:

**ацидофилы** - растения кислых почв,

**нейтрофилы** - обитатели нейтральных почв,

**базифилы** - растут на щелочных почвах.

Обнаружив на исследуемой территории тот или иной вид растения и зная его принадлежность к одной из выше названных групп, можно примерно оценить кислотность почв.

Например, наличие на пробной площадке зарослей хвоща полевого свидетельствует о повышенной кислотности почв. Причем, по наличию определенных растений можно без рН-метра определить примерное значение кислотности среды.

Таблица 2. Растения - индикаторы кислотности почв(по Л.Г. Раменскому, 1956)

Группа растений	Виды-биоиндикаторы	Кислотность почвы
Крайние ацидофилы	Сфагнум, зеленые мхи (гилокомиум, дикранум), плауны (булавовидный, годичный, сплюснутый), ожика волосистая, пушица влагалищная, подбел многолистный, кошачья лапка, кассандра, цетрария, белолус, щучка дернистая, хвощ полевой, щавель малый	3,0-4,5
Умеренные ацидофилы	Черника, брусника, багульник, калужница болотная, сушеница, толокнянка, седмичник европейский, белозор болотный, фиалка собачья, сердечник луговой, вейник наземный	4,5-6,0
Слабые ацидофилы	Папоротник мужской, орляк, ветреница лютичная, медуница неясная, зеленчук непарный, колокольчик крапиволистный и широколистный, бор развесистый, осока	5,0-6,7

Группа растений	Виды-биоиндикаторы	Кислотность почвы
	волосистая, осока ранняя, малина, смородина черная, вероника длиннолистная, горец змеиный, иван-да-марья, кисличка заячья	
Ацидофил-нейтральные	Ива козья, мох плеврозиум Шребера	4,5-7,0
Нейтрофильные	Сныть европейская, лисохвост луговой, клевер горный, клевер луговой, мыльнянка лекарственная, аистник цикутный, борщевик сибирский, мятлик луговой	6,0-7,3
Нейтрально-базифильные	Мать-и-мачеха, пупавка красильная, люцерна серповидная, келерия, осока мохнатая, лядвенец рогатый, лапчатка гусиная	6,7-7,8
Базифильные	Бузина сибирская, вяз шершавый, бересклет бородавчатый	7,8-9,0

Студенты переносят в альбом таблицу растений-индикаторов кислотности почв по Л.Г. Раменскому, зарисовывают с гербария и с таблиц примеры растений-индикаторов каждой группы.

**Контрольные вопросы:**

1. Какую группу растений называют ацидофилами?
2. Какую группу растений называют базифилами?
3. Какую группу растений называют нейтрофилами?
4. Какие группы растений-индикаторов кислотности почв выделял Л.Г. Раменский?
5. Какие растения относятся к ацидофилам?
6. Какие растения относятся к базифилам?
7. Какие растения относятся к нейтрофилам?

## Лабораторная работа №4. Фитоиндикация избыточного содержания некоторых химических элементов в почве

**Цель работы:** Изучить способы реакции растений на избыточное содержание в почве металлов.

**Материалы и оборудование:** таблица с признаками избыточного содержания некоторых микроэлементов в почве; гербарий растений с ярко выраженными признаками избыточного содержания различных металлов в почве (хлорозы, некрозы и т.д.); рисунки различных повреждений растений; альбомы; цветные карандаши.

### Ход работы:

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

Таблица 3. Признаки избыточного содержания некоторых микроэлементов в почве

Элемент	Реакция растения
Цинк	Обесцвечивание и отмирание тканей листа, пожелтение молодых листьев, отмирание верхушечных почек, окрашивание жилок в красный или черный цвет. Первые признаки проявляются на молодых растениях.
Медь	Хлороз молодых листьев. При этом жилки остаются зелеными.
Марганец	Междужилковый хлороз, некроз тканей. Молодые листья искривляются и сморщиваются.
Железо	На молодых листьях хлороз между жилками, которые остаются зелеными. Позднее лист становится беловатым или желтым.

Элемент	Реакция растения
Кобальт	Вдоль основных жилок листа появляются заполненные водой прозрачные участки. Идет некроз ткани. Позднее листья приобретают коричневую окраску и опадают.
Фосфор	Общее пожелтение листьев взрослых растений. Некроз тканей, У старых листьев на конце и по краям появляются некротические пятна.
Магний	Листья слегка темнеют и немного уменьшаются. На поздних стадиях роста их концы втянуты и отмирают.
Калий	На ранних стадиях наблюдается слабый рост растений, удлинение междоузлий, светло-зеленая окраска листьев. На поздних стадиях на листьях появляются сухие пятна, листья вянут и опадают.
Сера	Общее огрубление растений, уменьшение листьев, отвердение стебля. Позднее листья могут скручиваться внутрь, их края становятся коричневыми, а затем бледно-желтыми.
Хлор	Общее огрубление растений, листья мелкие, тускло-зеленые. У некоторых растений на старых листьях появляются пурпурно-коричневые пятна и листья опадают.
Азот	Местное повреждение. На краях листьев развивается хлороз, распространяющийся между жилками. Позднее появляется коричневый некроз, листья сворачиваются и опадают.
Кальций	Междужилковый хлороз с беловатыми и некротическими пятнами, которые могут быть окрашены или заполнены водой. Иногда наблюдается рост листовых розеток, отмирание побегов и опадение листьев.
Бор	Хлороз концов и краев листьев, распространяющийся между жилками. Листья становятся бледно-желтыми или беловатыми. На краях листьев наблюдаются ожоги и некроз.

Студенты переносят таблицу в тетрадь, с гербария или с рисунков пере-

рисовывают примеры повреждений растений при избытке микроэлементов.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое микроэлементы?
2. Что такое некроз?
3. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве цинка?
4. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве меди?
5. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве марганца?
6. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве железа?
7. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве кобальта?
8. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве фосфора?
9. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве магния?
10. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве калия?
11. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве серы?
12. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве хлора?
13. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве азота?
14. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве кальция?
15. Какие повреждения отмечаются у растений при избыточном содержании в почве бора?

## **Лабораторная работа №5. Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха**

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

**Материалы и оборудование:** пробы почвы с загрязненной и чистой территорий; чашки Петри; семена кресс-салата; препаровальные иглы; альбомы; цветные карандаши.

### **Ход работы:**

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

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

Затем проводят оценку загрязнения субстрата. Для этого чашки Петри наполняют до половины исследуемым субстратом. Параллельно ставят опыт на чистом субстрате. Во все чашки на увлажненный субстрат укладывают по 50 семян. Расстояние между ними должно быть более-менее одинаковым. После этого семена покрывают тем же субстратом. В течение 10-15 суток наблюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов на одном уровне. Данные по числу проросших семян за каждые сутки заносят в таблицу.

Уровни загрязнения субстрата, которые можно установить по прорастанию семян:

- нет загрязнения - всхожесть семян достигает 90-100%. Всходы дружные, проростки крепкие, ровные.

- слабое загрязнение - всхожесть 60-90%. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные.

- среднее загрязнение - всхожесть 20-60%, Проростки тоньше и короче, нежели в контроле. Некоторые проростки имеют морфологические отклонения.

- сильное загрязнение- всхожесть очень слабая (до 20%). Проростки мелкие и уродливые.

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

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

Студенты заносят в таблицу следующие данные: количество проросших семян, длина стебля, количество листьев, длина корня, количество корневых отростков; вычисляют среднее значение и делают вывод о степени загрязнения субстрата.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Почему кресс-салат является удобным объектом для биоиндикации?
2. Почему необходима предварительная проверка семян на всхожесть?
3. Почему для опыта и контроля необходимо брать семена одного происхождения?
4. Как по проросткам кресс-салата можно сделать вывод о степени загрязненности субстрата?
5. Какие еще тест-объекты для оценки загрязненности почвы вы можете назвать?
6. Почему кресс-салат можно использовать и для оценки загрязнения воздуха?

## **Лабораторная работа №6. Методики оценки стабильности развития и флуктуирующая асимметрия**

**Цель работы:** Определение степени антропогенной нагрузки на территорию с помощью методики оценки стабильности развития березы повислой.

**Материалы и оборудование:** засушенные листья березы повислой, собранные с деревьев, растущих вблизи автострады и в парковой зоне; линейки; транспортиры; циркули; калькуляторы; альбомы.

### **Ход работы:**

Стабильность развития как способность организма к развитию без нарушений и ошибок является чувствительным индикатором состояния природных популяций. Наиболее простым и доступным для широкого использования способом оценки стабильности развития является определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Этот подход достаточно прост с точки зрения сбора, хранения и обработки материала. Он не требует специального сложного оборудования, но при этом позволяет получить интегральную оценку состояния организма при всем комплексе возможных воздействий (включая антропогенные факторы).

Для оценки последствий антропогенного воздействия площадки выбираются из максимально сходных по естественным условиям биотопов с разной степенью антропогенной нагрузки.

Каждая выборка должна включать в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 растений). Листья с одного растения лучше хранить отдельно, для того, чтобы в дальнейшем можно было проанализировать полученные результаты индивидуально для каждой особи.

Оценка стабильности развития по каждому признаку сводится к оценке асимметрии. На практике это означает учет различий в значениях признака слева и справа.

Для пластического признака величина асимметрии у особи рассчитывается как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на

двух сторонах. Использование такой относительной величины необходимо для того, чтобы нивелировать зависимость величины асимметрии от величины самого признака. Популяционная оценка выражается средней арифметической этой величины. Статистическая значимость различий между выборками определяется по критерию Стьюдента.

Для измерения лист березы помещают перед собой стороной, обращенной к верхушке побега. С каждого листа снимают показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рис. 1).

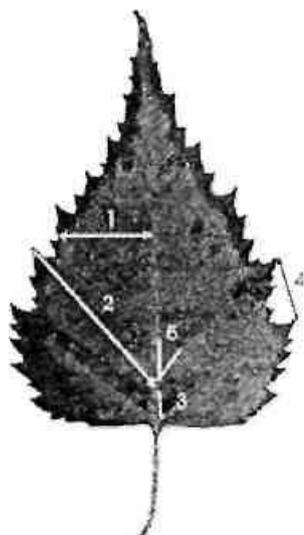


Рис. 1. Схема морфологических признаков или оценки стабильности развития березы повислой

1-5 – Промеры листа:

1 – ширина половинки листа (измерение проводят по середине листовой пластинки);

2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка;

3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

4 – расстояние между концами этих жилок;

5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Для измерений потребуются измерительный циркуль, линейка и транспортир. Промеры 1 - 4 снимаются циркулем-измерителем, угол между жилками (признак 5) измеряется транспортиром.

Результаты измерений заносятся в таблицу.

Таблица 4. Образец таблицы для обработки данных по оценке стабильности развития с использованием пластических признаков (промеры листа)

Номер признака										
№	1		2		3		4		5	
	слева	справа								
1	18	20	32	33	1	1	12	12	46	50
2	20	19	33	33	3	3	14	13	50	49
3	18	18	31	31	2	3	12	11	50	46
4	18	19	30	32	2	3	10	11	49	49
5	20	20	30	33	6	3	13	14	46	53
6	12	14	22	22	4	4	11	9	39	39
7	14	12	21	25	3	3	11	11	34	41
8	13	14	25	23	3	3	10	8	14	42
9	12	14	24	25	5	5	9	9	40	12
10	14	14	25	25	4	4	9	8	32	32

Интегральным показателем стабильности развития для комплекса пластических признаков является средняя величина относительного различия между сторонами на признак. Этот показатель рассчитывается как средняя арифметическая суммы относительной величины асимметрии по всем признакам у каждой особи, отнесенная к числу используемых признаков. Система пластических признаков используется при оценке стабильности развития у растений.

1. Для каждого промеренного листа вычисляются относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого разность между промерами слева (L) и справа (K) делят на сумму этих же промеров:

$$(L-K) / (L+K)$$

Например: Лист №1 (таблица 5), признак 1  $(L-K)/(L+K)=$

$$(18-20)/(18+20)=2/38=0,052$$

Полученные величины заносятся во вспомогательную таблицу в графы 2-6.

2. Вычисляют показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммируют значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делят на число признаков.

Например, для листа 1 (таблица 5):

$$(0,052+0,015+0+0+0,042)/5=0,022$$

Результаты вычислений заносят в графу 7 вспомогательной таблицы.

3. Вычисляется интегральный показатель стабильности развития - величина среднего относительного различия между сторонами на признак. Для этого вычисляют среднюю арифметическую всех величин асимметрии для каждого листа (графа 7). В нашем случае искомая величина равна:

$$(0,022+0,015+0,057+0,061+0,098+0,035+0,036+0,045+0,042+0,012)$$

$$/10=0,042$$

Статистическая значимость различий между выборками по величине интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления на признак, величина среднего относительного различия между сторонами на признак) определяется по t- критерию Стьюдента.

Таблица 5. Образец таблицы для обработки данных по оценке стабильности развития с использованием пластических признаков (промеры листа). Вспомогательная таблица для расчета интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке

		Номер признака				Величина асимметрии	
№	1	2	3	4	5	7	
1	2	3	4	5	6	7	
1	0,052	0,015	0	0	0,042	0,022	
2	0,026	0	0	0,037	0,010	0,015	
3	0	0	0,2	0,044	0,042	0,057	
4	0,027	0,032	0,2	0,048	0	0,061	
5	0	0,048	0,33	0,037	0,071	0,098	
6	0,077	0	0	0,1	0	0,035	
7	0,077	0,019	0	0	0,081	0,036	
8	0,037	0,042	0	0,111	0,037	0,045	
9	0,077	0,020	0	0	0,111	0,042	
10	0	0	0	0,059	0	0,012	
Величина асимметрии в выборке						X-0,042	

При сравнении выборок может быть зафиксировано определенное различие и оценена его статистическая значимость. Затруднение при этом вызывает

оценка степени выявленных отклонений, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя. Такая оценка особенно важна для сравнения различных территорий и видов. При получении данных по различным природным популяциям возможна разработка балльной шкалы для оценки степени отклонения от нормы. Базовые принципы для ее построения следующие. Диапазон значений показателя, соответствующий условно нормальному фоновому состоянию, принимается как первый балл (условная норма). Диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл. Весь диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя. Поскольку при этом суммируются данные по ряду независимых показателей, мы получаем в действительности интегральную оценку ситуации для сравнения различных территорий и видов. Эта система представляет собой балльную оценку изменений состояния организма по уровню стабильности развития.

Использование балльной шкалы возможно как для фонового мониторинга, так и для оценки последствий разных видов антропогенного воздействия. При этом нужно иметь в виду, что изменение состояния, здоровья живого организма является неспецифической реакцией на самые различные воздействия и показатель стабильности развития дает информацию о результатах всех этих воздействий.

Таблица 6. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*)

<b>Балл</b>	<b>Величина показателя стабильности развития</b>
I	<0,040
II	0,040 - 0,044
III	0,045 - 0,049
IV	0,050 - 0,054
V	>0,054

В приведенном примере показатель асимметрии был равен 0,042, что со-

ответствует второму баллу шкалы. Это означает, что растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов.

Значения показателя асимметрии, соответствующие третьему и четвертому баллам обычно наблюдаются в загрязненных районах.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое стабильность развития?
2. Что такое флуктуирующая асимметрия?
3. Чем объясняется выбор березы повислой для оценки антропогенной нагрузки на территорию?
4. Что такое пластический признак?
5. Какие промеры листа используются как критерии стабильности развития?
6. Каковы принципы построения шкалы для оценки степени отклонения от нормы?
7. Что принимается за условную норму?

### **Лабораторная работа №7. Определение содержания нитратов в растениях**

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

вах вредны, в желудочно-кишечном тракте они превращаются в соли азотистой кислоты - нитриты, которые отравляют организм.

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

**Цель работы:** определение содержания нитратов в растениях.

### **Вариант 1. Обнаружение нитратов дифениламиновым методом**

**Ход работы:**

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

1. Возьмите листья растения различных мест обитания: выращенные в пределах городской черты (близ промышленных предприятий, автодорог, в жилом секторе ит.д.) и за городом. Кусочки листа разотрите пестиком в ступке.

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

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

### **Вариант 2. Обнаружение нитратов посредством риванольной реакции**

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

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

### **Ход работы:**

1. Определение количества разбавлений исследуемого образца. Предполагается, что в продукте содержится предельно допустимая концентрация нитрата, и разбавляют пробу так, чтобы концентрация нитрата в ней сравнялась с пределом обнаружения этого метода. Если концентрация превышена, то раствор окрасится в бледно-розовый цвет. Количество разбавлений можно вычислить по формуле:  $x = \text{ГОСТ}/\text{мк} + 1$ , где  $x$  - количество разбавлений, ГОСТ - норма нитратов для исследуемого объекта,  $\text{м}$  - предел обнаружения этим методом,  $k$  - табличный коэффициент содержания влаги в продукте.

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

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

2. Определение нитратов. Для приготовления раствора риванола одну таблетку растворяют при нагревании в 200 мл аптечной соляной кислоты. Температура используемых для анализа растворов не должна превышать 18 °С. 2 мл разведенного сока исследуемого продукта смешивают с 1 мл солянокислого раствора риванола.

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

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

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

### **Контрольные вопросы:**

1. Какую роль играет азот в жизни растений?
2. Опасен ли для растений избыток соединений азота?
3. Опасен ли для животных и человека, питающихся растительной пищей, избыток соединений азота?

### **Лабораторная работа №8. Определение содержания свинца и кадмия в листьях растений**

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

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

#### **Ход работы:**

##### ***1. Содержание свинца в листьях растений***

1. Одновременно берут несколько листьев растения одного вида из различных мест обитания: близ автострады, в 10 и 50 метрах от автострады, близ промышленных предприятий, в жилой зоне, в зоне рекреации и в лесных насаждениях.

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

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

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

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

6. Полученные результаты занесите в таблицу.

## **2. Содержание в растениях кадмия ( $Cd^{2+}$ )**

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

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

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

3. На основе данных постройте карту-схему загрязненности растительного покрова населенного пункта свинцом и кадмием.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое тяжелые металлы?
2. Перечислите особенности тяжелых металлов.
3. Могут ли тяжелые металлы приносить пользу живым организмам?
4. Влияние на здоровье человека избытка тяжелых металлов.
5. Перечислите пути попадания тяжелых металлов в почву.

## **Лабораторная работа №9. Насекомые как биоиндикатор качества среды**

**Цель работы:** оценка загрязнения среды по рисунку на надкрыльях жуков мертвоедов.

### **Ход работы:**

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

У *N. vespilloides* Hbst рисунок образован двумя темными пятнами на оранжевом фоне.

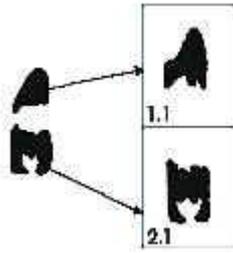


Рис.2.Изменчивость рисунка надкрыльев у *N. vespilloides* Hbst

У *N. investigator* Zett, второе пятно, может распадаться на два 2.a и 2.b.

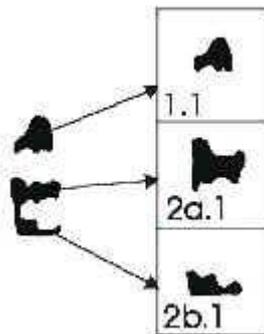


Рис.3.Изменчивость рисунка надкрыльев у *N. investigator* Zett

Сбор жуков производится при помощи ловушек Барбера и падальных ловушек.

Так же сейчас апробируется способ биоиндикационной оценки качества среды. По шести меристическим признакам. Признак 1-3 число шипиков на внутренней стороне голени IV-VI пар ног, признак 4-6 - число шипиков на внешней стороне голени I-III пар ног (рисунок 4). Так же измеряется общая длина насекомого, составляется формула узора надкрыльев, по ранее выделенным, и пронумерованным элементам рисунка, и выделяются новые. В среднем количество насекомых каждого вида должно быть 25-30 особей.



Рис.4.Расположение анализируемых признаков на голени жука-мертвоеда

При подсчете учитываются не только имеющиеся, но и отломанные шипики (рисунок 5)

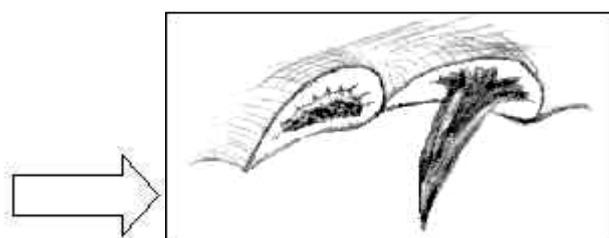


Рис.5.Имеющиеся и отломанные шипики на голени жука-мертвоеда

Данные заносятся в таблицу. Производится балльная оценка качества среды.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое стабильность развития?
2. Что такое флуктуирующая асимметрия?
3. Что такое меристические признаки?
4. По каким критериям отбираются насекомые для биоиндикационных исследований?
5. Почему в качестве объекта выбраны жуки мертвоеды?

### **Лабораторная работа №10. Лихеноиндикация рекреационной нагрузки на пригородные биоценозы**

Помимо индикаторной реакции на загрязнение атмосферного воздуха поллютантами химической природы, лишайники известны как организмы, высокочувствительные к рекреационной нагрузке на почву. Это их свойство исполь-

зуются при оценке качества почвы в местах активного отдыха, сбора ягод, грибов, выпаса скота и т.п. Как правило, некоторые виды эпигейных лишайников, являющиеся индикаторными на рекреационную нагрузку среды их обитания, исчезают из наземного покрова лесных фитоценозов раньше, чем многие мхи и цветковые растения.

Принцип метода лишеноиндикации рекреационной нагрузки на почву основан на том, что лишайниковый ярус наряду с моховым является наиболее чувствительным компонентом лесного фитоценоза к рекреационной нагрузке и подразделяется по индикаторной значимости лишайников на три группы; по наличию их представителей проводят оценку. При вытаптывании лишайники ломаются, крошатся, а затем совсем исчезают. Многие виды лишайников способны возобновляться вегетативно (с помощью слоевища). Однако многократное прохождение людей по одному и тому же месту приводит к разрушению лишайниковых группировок (синузий) и появлению на их месте луговых и сорных растений, несвойственных данному местообитанию.

Лишеноиндикация рекреационной нагрузки наиболее подходит для сосновых и еловых лесов с развитым лишайниковым покровом. Для анализа берутся наземные (эпигейные) виды лишайников. Условно по степени устойчивости к рекреационной нагрузке эти лишайники можно разделить на три группы: слабо-, средне- и сильноустойчивые (таблица 7).

Таблица 7. Группы устойчивости индикаторных лишайников

Группа	Степень устойчивости	Виды лишайников*
1	Слабоустойчивые	<i>Cladina stellaria</i>
		<i>C. arbuscula</i>
		<i>C. rangiferina</i>
		<i>C. sp.</i>
2	Среднеустойчивые	<i>Cladonia uncialis</i>
		<i>C. glasilis</i>
		<i>C. crispate</i>
		<i>C. sp.</i>
3	Сильноустойчивые	<i>Cetraria islandica</i>
		<i>C. sp.</i>
		<i>Peltigera canina</i>
		<i>P. sp.</i>

\* В качестве индикаторных видов могут быть представители указанного рода лишайников в каждой группе устойчивости.

Показателями антропогенной рекреационной нагрузки на лишайниковый ярус могут служить: общее проективное покрытие, выраженное в процентах; видовое разнообразие; видовой состав доминантов в синузиях и процент проективного покрытия доминантов; биомасса; высота кустиков слоевищ лишайников родов *Cladonia*, *Cladina*, *Cetraria*.

Внимание! При проведении оценки степени рекреационной нагрузки с помощью лишайников следует учитывать особенности лишайникового покрова в разных типах леса. В светлых сосновых лесах проективное покрытие несколько выше, чем в еловых, что связано с естественными особенностями этих биотопов.

**Цель работы:** с помощью лишеноиндикации определить степень рекреационной нагрузки на территорию.

**Ход работы:**

1. На исследуемых участках леса, а также на контрольном участке (вдали от возможного вытаптывания) с одинаковым типом растительности (и биотопом) заложить серию пробных площадок размером 1 м<sup>2</sup>; количество пробных площадок 20 - 50. Пробные площадки должны покрывать равномерной сетью всю площадь, на которой проводится оценка степени антропогенного воздействия. Площадки закладывать как вблизи троп, так и на некотором расстоянии от них.
2. Изготовить рабочую карту или схему обследуемой местности. На схему нанести пробные площадки и дорожную (тропиночную) сеть. Определить площадь дорожно-тропиночной сети в процентах от общей площади обследуемого лесного массива.
3. На пробных площадках с помощью определителя провести учет видов лишайников, рассчитать проективное покрытие, выявить доминантные виды и их долю в проективном покрытии (в %). Для расчета суммарной антропогенной нагрузки по индикаторным видам лишайников оценивают частоту встречаемости каждого вида (в %) на всех исследуемых площадках и условно обозначают цифрами: 1 - очень редко, 2 - редко, 3 - нередко, 5 - часто, 7 - очень часто, 9 - масса.

4. Сравнить видовой состав пробных площадок с помощью коэффициентов сходства и различия. Оценить видовую насыщенность (или богатство), которая определяется как количество видов лишайников на площади 1 м<sup>2</sup> с учетом среднеквадратичного отклонения.

5. Рассчитать коэффициент общности (сходства) по Жаккару K<sub>j</sub> по формуле:

$$K_j = \frac{c}{a + b - c} \cdot 100\%, \text{ где } a - \text{ число видов лишайников на первой площадке; } b -$$

число видов лишайников на второй площадке; c - число видов лишайников, общих для обеих площадок,

или коэффициент общности (сходства) по Сенерсену K<sub>s</sub> по формуле:

$$K_s = \frac{2c}{a + b} \cdot 100\% .$$

Рассчитать коэффициент дифференциальности (различия) K<sub>d</sub>, показывающий степень различия видового состава, по формуле:

$$K_d = \frac{a + b - 2c}{a + b - c} \cdot 100\%, \text{ где } a - \text{ число видов, встречающихся только на 1-й площадке; } b - \text{ число видов, встречающихся только на 2-й площадке; } c - \text{ чис видов лишайников, общее для двух сравниваемых площадок.}$$

б. На карте условными значками или цветом выделить зоны разной степени рекреационной нагрузки на почву, используя пример.

Пример расчета суммарной антропогенной рекреационной нагрузки на пригородные биоценозы

Место исследования. Дата \_\_\_\_\_ Сообщество: ельник - лишайник.

Вид-индикатор, обнаруженный на площадке	Степень устойчивости (1)	Частота встречаемости на площадке (2)	(1)х(2) = (3)
<i>Cladina stellaria, C. albuscula</i>	1	3	3
	1	5	5
<i>Cladonid. unsialis C. crispata</i>	2	5	10
	2	1	2
<i>Cetraria islandica, Peltigera canina, P. aphtposa</i>	3	1	3
	3	1	3
	3	1	3
Σ(2) = 18		Σ (3) = 29	

Суммарная рекреационная нагрузка исследуемой территории Σ (3): Σ (2) = 1,6, что соответствует промежуточной степени рекреационной нагрузки на поч-

ву между слабой и средней.

7. Вычисляют погрешность. Интервал точности для статистической надежности 95 %. Обычно общая суммарная степень антропогенной рекреационной нагрузки вычисляется с точностью до 0,1.

8. В отчете привести родовые и видовые названия индикаторов. Определить их индикаторную значимость. Привести оценку сходства и различия пробных площадок по видовому разнообразию присутствующих на них лишайников. Оценить суммарную рекреационную нагрузку на исследуемую территорию.



Рис. 6. Некоторые индикаторные виды лишайников:

1- пелтигера собачья (*Peltigera canina*); 2 - пелтигера горизонтальная (*Peltigera horizontalis*); 3 - кладония пальчатая (*Cladonia digitata*); 4 - кладония бесформенная (*Cladonia deformis*); 5 - цетрария можжевельниковая (*Cetraria juniperina*); 6 - цетрария смешанная (*Cetraria compta*)

#### Дополнительная информация

❖ Перечень лишайников-индикаторов рекреационного воздействия на почву

**Кладония** (*Cladonia sp.*). Лишайники этого рода широко распространены и растут на земле, пнях, у основания стволов, среди мхов, иногда на скалах. Первичное слоевище у большинства в ражено в виде мелких листоватых чешуек или корочек. На первичном слоевище возникает вторичное слоевище в виде вертикально стоящих выростов самой разнообразной формы.

**Цетрария** (*Cetraria sp.*), *Cetraria islandica* (исландский мох) лишайник с

характерным листоватым талломом с глубоко вырезанными лопастями, напоминающими оленьи рога. Растет на почве. Отдельные веточки достигают в ширину 1 -1,5 см; в зависимости от освещенности - зеленоватого или темно-коричневого цвета верхней стороны и с серебристо-белым налетом на нижней. Встречается преимущественно на солнечных сухих участках леса –от равнин до высокогорий.

**Пелтигера** (*Peltigera sp.*). Среди представителей данного рода наиболее распространены два вида -*Peltigera canina* и *P. aphros*. Тело листовидное с широкими лопастями. Растут на почве, по обочинам дорог, на стволах деревьев.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое лишеноиндикация?
2. Перечислите наиболее удобные для целей биоиндикации виды лишайников?
3. На чем основан принцип метода лишеноиндикации?

### **Лабораторная работа №11. Исследование почвы на содержание беспозвоночных животных**

В почве обитает огромное количество организмов, принадлежащих к различным систематическим группам. Почвенные бактерии и грибы служат редуцентами, т. е. переводят жизненно важные элементы из органических соединений в минеральные неорганические, образуя ионы аммония  $\text{NH}_4^+$ , нитрат-ионы ( $\text{NO}_3^-$ ), нитрит-ионы  $\text{NO}_2^-$ , гидрофосфат-ионы  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , сульфат-ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и др. Этот процесс называется минерализацией.

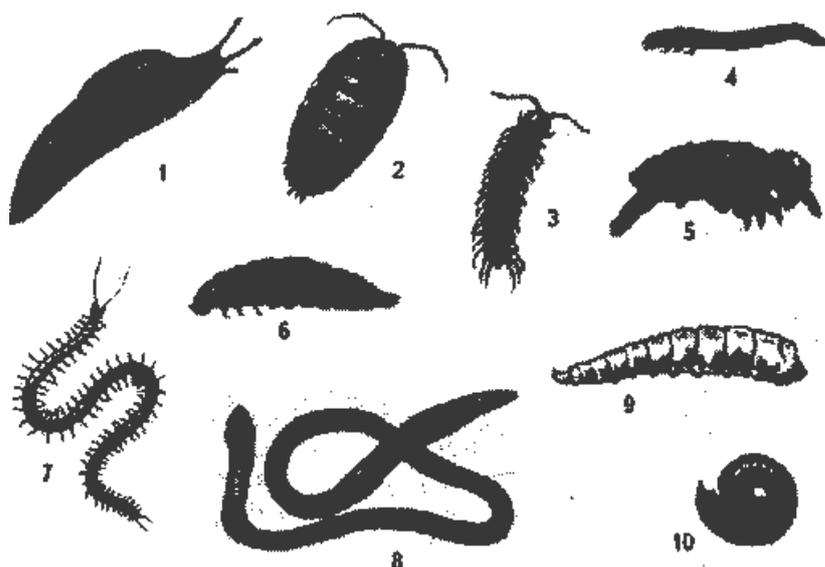


Рис.7.Членистоногие, участвующие в почвообразовании

1 - слизень; 2 - мокрица; 3 - костьянка; 4 - личинка шелкуна; 5 - ногохвостка; 6 – личинка жужелицы; 7 - геофил; 8 - дождевой червь; 9 - личинка мухи; 10 - кивсяк серый

Беспозвоночные животные-детритофаги (рисунок 7) играют очень важную роль в почвообразовании, разлагая мертвые остатки. Позвоночные животные, например, кроты и мышевидные грызуны, также способствуют созданию почвенного слоя. В почве укореняются все наземные растения, поглощающие всасываемые из почвы элементы минерального питания и воду. Видовое разнообразие почвенных организмов зависит и от химического состава почв.

**Цель работы:** определить состав почвенной биоты.

**Ход работы:**

1. Соберите беспозвоночных обитателей почвы. Это можно сделать следующими способами:

- Несколько банок заройте в землю на расстоянии нескольких метров друг от друга так, чтобы края банок находились на уровне земли. Эти банки играют роль ловушек для беспозвоночных.
- Соберите лесную подстилку в парке и переберите ее руками. Найденных беспозвоночных поместите в сосуд.
- Возьмите почвенную пробу. Для этого выкопайте участок почвы площадью 30x30 см с глубины 10-20 см, перенесите ее на клеенку. Осторожно перебирая почву, выберете из нее беспозвоночных.

2. Комок почвы поместите в банку с насыщенным раствором поваренной соли и взболтайте. Мелкие организмы всплывут. Соберите их.

3. Подсчитайте собранных животных и определите их с помощью книг-определителей. Мелких почвенных членистоногих, найденных вами в почве, можно сравнить с изображениями животных на рисунке 7.

4. Сделайте вывод о взаимосвязях между числом представителей почвенной фауны и плодородием почвы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Роль редуцентов в почве?
2. Роль животных-детритофагов в почве?
3. Какова взаимосвязь между числом представителей почвенной фауны и плодородием почвы?

### **Лабораторная работа №12. Анализ насыщенности почвы микроорганизмами**

**Оборудование и реактивы:** образцы почвы, по 1 г каждой; сухое мясо-пептонный агар (МПА) (его состав: мясная вода, пептон, агар-агар, фосфат натрия; рН среды 7,4.); чашки Петри; три конических колбы на 150-200 мл; мерная пипетка на 1 мл; две пробирки на 20 мл.

**Цель работы:** проанализировать насыщенность почвы микроорганизмами.

#### **Ход работы:**

1. Возьмите по 1 г почвы нескольких образцов и приготовьте почвенные суспензии. Для этого к 1 г почвы добавьте 99 мл дистиллированной воды и тщательно перемешайте.

2. Произведите посев в чашки Петри методом разбавления, как в работе по исследованию микроорганизмов воды. Поставьте чашки в термостат при температуре 25°C на 3-4 суток для выращивания микроорганизмов.

3. Подсчитайте число микроорганизмов (колоний) в чашках Петри.

4. Сделайте вывод о насыщенности разных почв микроорганизмами. Установите взаимосвязь между плодородием почв и численностью микроорганизмов в них.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое микробный пул?
2. Что такое зимогенная микрофлора?
3. О чем говорит различное содержание микроорганизмов в почве?

**Лабораторная работа №13. Определение в почве радиоактивных веществ методом биоиндикации**

Радиоактивные вещества, попадающие в почву, представляют собой большую опасность для всей живой природы. Одной из форм воздействия на очаг загрязнения с целью снижения его радиоактивности является расселение в нем таких почвенных животных, как кивсяки, мокрицы, почвенные моллюски (рисунок 7). Все они накапливают и вводят из круговорота радиоактивный стронций-90 и могут использоваться как биоиндикаторы загрязнения почвы стронцием-90. На участках с повышенным фоном радиации заметное угнетение испытывают дождевые черви. На таких участках не только снижается их численность, но и уменьшаются их размеры, наблюдается задержка в развитии.

**Цель работы:** определить наличие в почве радиоактивных веществ методом биоиндикации.

**Ход работы:**

1. Исследуйте состав беспозвоночных на пробных площадках. Встретились ли вам кивсяки, моллюски, мокрицы? Много ли их? Обнаружены ли дождевые черви?
2. В случае, если налицо обилие первых и отсутствие вторых (дождевых червей), можно говорить о возможном повышении радиоактивного фона.

**Контрольные вопросы:**

1. Роль радиоактивного стронция в экосистемах?
2. Какие почвенные организмы свидетельствуют о наличии радиоактивного загрязнения почвы?
3. Какие изменения морфологии почвенных организмов свидетельствуют о наличии радиоактивного загрязнения почвы?

## Тесты

1. Биомониторинг это:

- а) Совокупность проблем, связанных с определением нормы экосистем.
- б) Составная часть мониторинга т.е, слежение за состоянием среды по физическим, химическим и биологическим показателям.
- в) Оценка состояния среды с помощью живых объектов.
- г) Наука о сообществах живых организмов.

2. Типы биоиндикаторов:

- а) чувствительные
- б) нечувствительные
- в) осязаемые
- г) аккумулятивные

3. Отмирание участков тканей листа:

- а) дефолиация
- б) хлороз
- в) некроз
- г) онтогенез

4. Биологическое загрязнение происходит в результате:

- а) попадания в почву бытовых и с/х отходов и отходов микробиологического производства.
- б) загрязнения бытовыми выбросами, приводящего к изменению рН среды.
- в) загрязнения бытовым мусором.
- г) внесения в почву удобрений.

5. Для достижения задач фитодиагностики необходимо установить:

- а) индикационные связи
- б) достоверность
- в) значимость
- г) число индикаторов

6. Данного вида индикаторов не существует:

- а) зонального
- б) государственного
- в) регионального
- г) локального

7. Метод, относящийся к фитоиндикации аридной зоны:

- а) биоиндикация
- б) гидроиндикация
- в) альгоиндикация
- г) галоиндикация

8. Первые работы по почвенной альгологии проводили:

- а) Одум, Захаров, Вернадский

- б) Уитней, Марбут, Усов
- в) Рихтер, Голлербах, Мейер
- г) Докучаев, Либих, Комов

9. Гемеробность - это:

- а) отчужденность
- б) опустынивание
- в) обводнённость
- г) окультуренность

10. По формам воздействия на почву, выделяют следующие виды загрязнений:

- а) физическое изменение
- б) физико – биологическое загрязнение
- в) химическое загрязнение
- г) биологическое загрязнение

11. Составьте по порядку уровни организации живого:

- а) ландшафтный, экосистемный
- б) популяционно- видовой, биоценотический
- в) биосферный
- г) клеточный, субклеточный, организменный

12. Организмы, способные существовать лишь в строго определенных условиях окружающей среды и не переносящие их изменений:

- а) эврибионты
- б) стенобионты
- в) галофиты
- г) неофиты

13. Альгосинузии — это:

- а) сообщество водорослей
- б) сообщество насекомых
- в) сообщество растений
- г) сообщество лишайников

14. Сочетание основных факторов среды, обеспечивающих жизнедеятельность вида это:

- а) экологическая пластичность вида
- б) экологическая структура
- в) экологическая пирамида
- г) экологический стандарт

15. Раковинные амёбы являются:

- а) фитоиндикаторами
- б) биоиндикаторами
- в) зооиндикаторами
- г) альгоиндикаторами

16. В эту эколого-трофическую группу входит истинная почвенная группировка, использующая гумусные соединения:

- а) автотрофную
- б) олиготрофную
- в) автохтонную
- г) зимогенную

17. К базифилам относятся:

- а) сфагнум, зелёный мох, плауны
- б) папоротник мужской, орляк, малина
- в) черника, брусника, багульник
- г) бузина сибирская, бересклет бородавчатый, вяз шершавый

18. Растения кислых почв это:

- а) ацидофилы
- б) нейтрофилы
- в) галофиты
- г) базифилы

19. Биоиндикация становится незаменимой, когда:

- а) фактор не может быть измерен
- б) фактор трудно измерить
- в) фактор можно измерить, но сложно интерпретировать
- г) фактор отсутствует

20. Одним из основных требований для тест-организмов является:

- а) получение культур из генетически однородных организмов
- б) получение культур из генетически неоднородных организмов
- в) получение культур с разным генофондом
- г) получение культур с разной устойчивостью

21. Химическое загрязнение приводит:

- а) к изменению биологических параметров почв
- б) к изменению химических параметров почв
- в) к изменению физических параметров почв
- г) к изменению физико – химических параметров почв

22. Объектом индикации является:

- а) часть биосферы
- б) часть гидросферы
- в) компонент среды
- г) часть атмосферы

23. Дефолиация — это:

- а) опадение листвы
- б) отмирание участков тканей листа
- в) отмирание черешков листьев
- г) бледная окраска листвы

24. Биоиндикация антропогеннонарушенных почв может проводиться:

- а) на клеточном уровне
- б) на биосферном уровне
- в) на экосистемном уровне
- г) на всех уровнях

25. Виды мониторинга:

- а) активный
- б) нейтральный
- в) пассивный
- г) максимальный

26. Биоиндикаторы это:

- а) только насекомые, используемые для оценки состояния среды
- б) животные
- в) растения
- г) биологические объекты (от клеток до экосистем и биосферы)

27. Индикация по сукцессионным рядам может быть:

- а) прогнозной
- б) предваряющей
- в) зональной
- г) сопутствующей

28. Соотношение бактерий, грибов, актиномицетов в разных почвах это:

- а) функциональные структуры
- б) морфологические структуры
- в) таксономические структуры
- г) экологические структуры

29. Страна с наиболее развитой системой мониторинга в настоящее время:

- а) Россия
- б) Германия
- в) Нидерланды
- г) США

30. Найдите соответствие:

- а) педоиндикация
- б) галоиндикация
- 1) индикация грунтовых вод
- 2) индикация содержания солей

в) гидроиндикация

3) индикация горных пород

г) литоиндикация

4) индикация почвы

31. Хлороз молодых листьев, при этом жилки остаются зелеными. Это признаки избыточного содержания в почве:

а) магния

в) меди

б) азота

г) серы

32. Листья слегка темнеют и немного уменьшаются, на поздних стадиях роста их концы втянуты и отмирают. Это признаки избыточного содержания в почве:

а) магния

в) меди

б) азота

г) серы

33. Общее пожелтение листьев взрослых растений, некроз тканей, у старых листьев на конце и по краям появляются некротические пятна. Это признаки избыточного содержания в почве:

а) цинка

в) марганца

б) кобальта

г) фосфора

34. Вдоль основных жилок листа появляются заполненные водой прозрачные участки, идет некроз ткани, позднее листья приобретают коричневую окраску и опадают. Это признаки избыточного содержания в почве:

а) цинка

в) марганца

б) кобальта

г) фосфора

35. Общее огрубление растений, листья мелкие, тускло-зеленые. У некоторых растений на старых листьях появляются пурпурно-коричневые пятна и листья опадают. Это признаки избыточного содержания в почве:

а) бора

в) кальция

б) хлора

г) калия

36. Растения засоленных почв называются:

а) гликофиты

в) базифилы

б) галофиты

г) аргиллофиты

37. Растения глинистых почв называются:

а) гликофиты

в) базифилы





б) петрофиты

г) хасмофиты

55. Растения песчаных почв, называются:

а) псаммофиты

в) фреатофиты

б) петрофиты

г) хасмофиты

56. Различная растительность формируется на сходных местопроизрастаниях или аналогичных объектах индикации, это явление называется:

а) экологическая замещаемость

б) экологическая компенсация факторов

в) экологическая пластичность вида

г) экологический стандарт вида

57. В результате замены одного фактора другим на разных местопроизрастаниях формируется сходная растительность, это явление называется:

а) экологическая замещаемость

б) экологическая компенсация факторов

в) экологическая пластичность вида

г) экологический стандарт вида

58. Амплитуда варьирования отдельных факторов среды, в которых возможно существование данного вида, широта экологического стандарта, называется:

а) экологическая замещаемость

б) экологическая компенсация факторов

в) экологическая пластичность вида

г) экологический стандарт вида

59. Сочетание основных факторов среды, обеспечивающих жизнедеятельность данного вида, называется:

а) экологическая замещаемость

б) экологическая компенсация факторов

в) экологическая пластичность вида

г) экологический стандарт вида

60. Приспособление организмов к обитанию вблизи человека (в населенных пунктах, людских жилищах и т.д.), называется:

а) антропологизация

в) синантропизация

б) рудерализация

г) интродукция

Ключ

1. б	Г-3
2. а, Г	31. в
3. в	32. а
4. а	33. Г
5. а, б, в	34. б
6. б	35. б
7. б, Г	36. б
8. в	37. Г
9. Г	38. в
10. а, в, Г	39. в
11. Г, б, а, в	40. а
12. б	41. в
13. а	42. а
14. Г	43. Г
15. в	44. в
16. Г	45. б
17. Г	46. в
18. а	47. а
19. а, б, в	48. в
20. а	49. в
21. б	50. б
22. в	51. а
23. а	52. б
24. Г	53. а
25. а,в	54. б
26. Г	55. а
27. а, б,Г	56. а
28. в	57. б
29. б,в	58. в
30. а-4	59. Г
б-2	60. в
в-1	

## Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Сущность метода биодиагностики и биондикации.
2. Общие вопросы биоиндикации и биомониторинга
3. Биомониторинг.
4. Биоиндикация.
5. Формы и виды биоиндикации.
6. Биоиндикаторы и тест-объекты.
7. «Контроль» в биоиндикации.
8. Биоиндикация на разных уровнях организации живого.
9. Клеточный и субклеточный уровни.
10. Организменный уровень.
11. Примеры биоиндикации на организменном уровне.
12. Примеры биоиндикации на популяционно-видовом уровне.
13. Примеры биоиндикации на биоценотическом уровне.
14. Примеры биоиндикации на экосистемном уровне.
15. Биоиндикация на уровне биосферы.
16. Причины и виды загрязнения почвы и их биоиндикация.
17. Физическое, химическое и биологическое загрязнение почвы.
18. Классификации загрязнения почвы.
19. Причины физических нагрузок на почву.
20. Химическое загрязнение почвы и группы загрязнителей.
21. Загрязнение сернистым газом.
22. Загрязнение пылью и золой.
23. Загрязнение солями щелочных и щелочноземельных металлов.
24. Загрязнение агрохимикатами.
25. Загрязнение органическими газами и жидкостями, а также радиоактивными веществами.
26. Биологическое загрязнение почвы.
27. Методы биологического исследования почв и основные принципы их при-

менения.

28. Фитоиндикация и диагностика почв.
29. Педоиндикация, гидроиндикация, галоиндикация.
30. Задачи фитоиндикационных исследований.
31. Достоверность и значимость фитоиндикации.
32. Зональные, региональные и локальные индикаторы.
33. Прогнозная индикация.
34. Зональные особенности фитоиндикационных исследований.
35. Альгодиагностика и индикация почв.
36. Почвообразовательные процессы и соответствующие им альгосинузии.
37. Зональные особенности альгосинузий.
38. Состав почвенных водорослей в основных биоценозах на территории России.
39. Использование водорослей для оценки плодородия почв.
40. Микробиологическая и биохимическая диагностика и индикация почв.
41. Особенность микроорганизмов как биоиндикаторов.
42. Характеристика микробных сообществ.
43. Функциональная, морфологическая, таксономическая, экологическая структура микробных сообществ.
44. Актуальная биологическая активность.
45. Зоодиагностика и индикация почв.
46. Экологический стандарт.
47. Экологическая пластичность вида.
48. Педобионты.
49. Почвенные беспозвоночные – индикаторы различных свойств почвы.
50. Простейшие.
51. Микроартроподы.
52. Крупные беспозвоночные.
53. Биоиндикация и индикация антропогенно-нарушенных почв.
54. Абсолютные и относительные стандарты сравнения.

55. Чувствительные и аккумулятивные биоиндикаторы антропогенных воздействий.
56. Биодиагностика антропогенных воздействий на почву.
57. Различные по масштабу и по территориальному размаху воздействия на почву.
58. Перспективы биоиндикационных исследований.
59. Ситуации, когда биоиндикация является незаменимой.
60. Методики фитоиндикации.

## СЛОВАРЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕРМИНОВ

**Аргиллофиты** - растения глинистых почв

**Археофит** - растения, вошедшее в местную флору в доисторическое или ранее историческое время.

**Ацидофилы** - растения кислых почв.

**Базифилы** - растения щелочных почв.

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

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

**Галофиты** - растения засоленных почв.

**Гемеробность ландшафта** - окультуренность ландшафта.

**Гликофиты** - преснолюбивые растения.

**Зимогенная микрофлора** - микрофлора, использующая растительные остатки, поступающие в почву.

**Кальцефилы** - растения почв с высоким содержанием кальция.

**Кальцефобы** - растения с отрицательной реакцией на соли кальция.

**Лихеноиндикация** - использование лишайников в качестве биоиндикаторов степени загрязнения атмосферного воздуха, основанное на изучении состава и биологических особенностей лишенофлоры.

**Микробный пул** - запас латентных форм.

**Нейтрофилы** - растения почв с реакцией, близкой к нейтральной.

**Неофит** - недавно появившееся в местной флоре растение.

**Организм-индикатор** - организм с узкими пределами экологической приспособленности (стенобионт), своим поведением, изменением физиологических реакций или самой возможностью существования указывающий на из-

менения в среде или на ее определенные естественные или антропогенные характеристики.

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

**Петрофиты (литофиты)** - растения плотных скальных пород.

**Псаммофиты** - растения песчаных почв.

**Психрофиты** - растения холодных и влажных почв.

**Синантропизация** - приспособление организмов к обитанию вблизи человека (в населенных пунктах, людских жилищах и т.д.).

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

**Терофит** - однолетнее растение, полностью отмирающее к зиме с сохранением жизнеспособных семян.

**Тропофиты** - растения, которые весной ведут себя как мезофиты, а зимой как ксерофиты.

**Фреатофиты** - растения сухих мест обитания.

**Хасмофиты** - растения щебнистых почв.

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

**Экологический организм-индикатор** - стенобионт, приспособленный к жизни в определенной экосистеме и погибающий в других условиях, что дает возможность отличать одно комплексное природное образование от другого.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв / М.С. Гиляров. - М.: Наука, 1965.
1. Бабьева И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. - М.: Изд-во МГУ, 1989.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберт. М.: Мир. 1988.
3. Богач Я., Седлачек Ф., Швецова З., Криводушин Д. Животные - биоиндикаторы промышленных загрязнений // Журн. Общей биологии, 1988, № 5.
4. Влияние антропогенных факторов на популяции наземных насекомых // Итоги науки и техники. Сер. Энтомология. - Т. 13. М.: ВИНТИ, 1990.
5. Воробейчик Е.Л. Население дождевых червей (*Lumbricidae*) лесов Среднего Урала в условиях загрязнения выбросами медеплавильных комбинатов // Экология. 1998, № 2.
6. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1966.
7. Денисова С.И. Полевая практика по экологии: Учеб. пособие / С.И. Денисова. - Минск: Университетское, 1999. - 120 с.
8. Захаров В.М. Асимметрия животных / В.М. Захаров. - М.: Наука, 1987. - 255 с.
9. Израэль Ю.А. Экология и роль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
10. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997, № 6.
11. Клаусницер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990.
12. Криволуцкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле / Д.А. Криволуцкий. - М.: Наука, 1994.
13. Масловский О.М. Биоиндикация загрязненности воздуха с помощью лишайников и мохообразных / О.М. Масловский // Изучай, экспериментуй, исследуй: тематика и методические указания к проведению опытниче-

ской, экспериментальной, исследовательской работы по заданию ученых. - Минск, 1997.-С.53-58.

14. Мордкович В.Г. Зоологическая диагностика почв лесостепной и степной зон Сибири. Новосибирск: Наука. 1977.

15. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. - Л.: Гидрометеиздат, 1983.

16. Сергеев М.Г. Экология антропогенных ландшафтов / М.Г. Сергеев. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 1997.

17. Трасс Х.Х. Биоиндикация состояния атмосферной среды городов / Х.Х. Трасс // Экологические аспекты городских систем. - Минск: Наука и техника, 1984.-С.96-109.

18. Федорова А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. - 288 с.

19. Цаненко Л.В., Н.Г. Малюга. Чувствительность различных тестов на загрязнение воды тяжелыми металлами и пестицидами с использованием ряски малой *Lemna minor*L. // Экология. 1998, №5.

20. Чернова Н.М. Зоологическая характеристика компостов. М.: Наука, 1966.

21. Школьный экологический мониторинг: Учебно-методическое пособие / Под ред. Т.Я. Ашихминой. - М: АГАР, 1999. - 387 с.

22. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. - М.: Мир, 1988.-346 с.

23. Ecological indicators. V. 1-2, 1992.