

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Г. Л. Осипенко

БИОМОНИТОРИНГ И БИОИНДИКАЦИЯ

Практическое руководство

для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2015

УДК 574:502.1-047.36(076)
ББК 28.080.1я73+28.088я73
О-74

Рецензенты:

кандидат технических наук Р. Н. Вострова;
кандидат биологических наук Н. Г. Галиновский;

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Осипенко, Г. Л.

О-74 Биомониторинг и биоиндикация: практическое руководство
/ Г. Л. Осипенко ; М-во образования РБ; Гом. гос. ун-т
им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 39 с.
ISBN 978-985-439-961-4

Практическое руководство разработано в соответствии с учебной программой курса «Биомониторинг и биоиндикация» и содержит практические задания по изучению методов оценки абиотических и биотических факторов местообитаний при помощи биологических систем. Этот курс необходим для развития естественнонаучного мышления, успешного освоения последующих общегеографических и специальных курсов, для применения специалистом-геоэкологом полученных знаний в практической деятельности.

Адресовано студентам специальности 1-33 01 02 «Геоэкология»

УДК 574:502.1-047.36(076)
ББК 28.080.1я73+28.088я73

ISBN 978-985-439-961-4

© Осипенко Г. Л., 2015
© УО «Гомельский государственный

Предисловие.....	4
Практическое занятие 1. Биоиндикаторы и тест-объекты.....	5
Практическое занятие 2. Морфологические изменения организмов...	8
Практическое занятие 3. Фитоиндикация воздушной среды.....	15
Практическое занятие 4. Индикация физико-химических параметров почв.....	20
Практическое занятие 5. Биотестирование качества вод.....	23
Практическое занятие 6. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям.....	25
Практическое занятие 7. Методы биотестирования в лесном и сельском хозяйстве.....	30
Темы реферативных работ по дисциплине.....	35
Перечень вопросов для подготовки к зачету.....	35
Глоссарий.....	37
Литература.....	39

Предисловие

Практическое руководство по выполнению практических работ «Биомониторинг и биоиндикация» предназначено для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология».

Характерными чертами природных и антропогенных экологических проблем являются масштабность их проявления и неоднозначность воздействия как на отдельные регионы, так и на планету в целом. В связи с этим всегда существует проблема приоритетности принятия решений по снижению их последствий. Не последнюю роль в решении этой задачи играют мониторинговые исследования, благодаря которым можно оценить состояние среды, факторы воздействия и степень экологического риска. Биоиндикация является составной частью биомониторинга, выполняя функции экспресс-метода оценки качества окружающей среды, хотя и мало специфичного, но весьма эффективного в регистрации возникшего экологического напряжения. Существует несколько подходов к индикации экологических условий. Основаны они на использовании либо абсолютных стандартов сравнения (например, системы не подверженные воздействию антропогенных факторов, находящиеся в фоновом состоянии), либо относительных стандартов (корреляции с пространственно-временными изменениями антропогенных факторов среды). Для реализации этих задач используются разнообразные средства, объекты и материалы, применение которых зависит от типа анализируемой среды, экосистемы, а также возможностей исследователей. В данном руководстве приводятся практические работы по изучению методов и принципов биомониторинга.

Руководство состоит из 7 практических занятий по темам теоретического курса «Биомониторинг и биоиндикация». Структура практического руководства выполнена таким образом, чтобы студент при выполнении заданий мог изучить основные теоретические положения по темам данной дисциплины. В конце каждой темы приводятся вопросы для самоконтроля, а также практические задания.

Практическое занятие 1

Биоиндикаторы и тест-объекты

Для объективной оценки загрязнения природного сообщества необходимы адекватные тест-системы и биоиндикаторы, реагирующие на комплекс загрязнителей и пригодные для выявления мутагенного потенциала встречающихся в экосфере загрязнителей. *Тест-объекты (test-organism) – организмы, используемые при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др. Биоиндикаторы – организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки.* При выборе биотических индикаторов в качестве критериев используют знания о биологии, биогеографии и экологии организмов, их чувствительность, редкость вида, методические особенности работы с организмами и др. В идеале следует прибегать к «спектрам» биоиндикаторов, которые включают представителей разных трофических уровней и типов питания, различные жизненные формы и стадии развития. Правда, часто оказывается невозможным охватить весь спектр, поэтому обычно берут ограниченное число индикаторов, представляющих разные группы. Биоиндикаторы и тест-объекты должны удовлетворять ряду требований:

- накопление загрязняющих веществ не должно приводить к гибели тест-организмов;
- численность тест-организмов должна быть достаточной для отбора, т. е. без влияния на их воспроизводство (редкие и исчезающие виды даже при их высокой чувствительности не могут служить тест-объектами);
- в случае долгосрочных наблюдений предпочтительны многолетние виды;
- биотесты должны быть генетически однородны;
- должна быть обеспечена легкость взятия проб;
- должна реализоваться относительная быстрота проведения тестирования;
- биотесты должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов;
- биоиндикаторы должны быть одновозрастными и характеризоваться, по возможности, близкими свойствами;
- диапазон погрешностей измерений (по сравнению с классическими или эталонными методами тестирования) не должен превышать 20–30 %;
- при выборе тест-организмов предпочтение следует отдавать регистрации функциональных, этологических, цитогенетических изменений

индикаторных процессов биоты, а не только изменению ее структуры, численности или биомассы, т. к. последние являются более консервативными.

Все биоиндикаторы отличаются по чувствительности. В зависимости от скорости проявления биоиндикаторных реакций выделяют несколько различных типов чувствительности тест-организмов (рисунок 1)[6]:

I. Биоиндикатор проявляет спустя определенное время внезапную и сильную реакцию, продолжающуюся некоторое время, после чего перестает реагировать на загрязнитель.

II. Биоиндикатор в течение длительного времени линейно реагирует на воздействие возрастающей концентрации загрязнителя.

III. Биоиндикатор реагирует с момента появления нарушающегося воздействия с одинаковой интенсивностью в течение длительного времени.

IV. После немедленной, сильной реакции у биоиндикатора наблюдается ее затухание, сначала резкое, затем постепенное.

V. Под влиянием загрязнителя реакция биоиндикатора постепенно становится все более интенсивной, однако, достигнув максимума, постепенно затухает.

VI. Реакции и типы неоднократно повторяются, возникает осцилляция биоиндикаторных параметров.

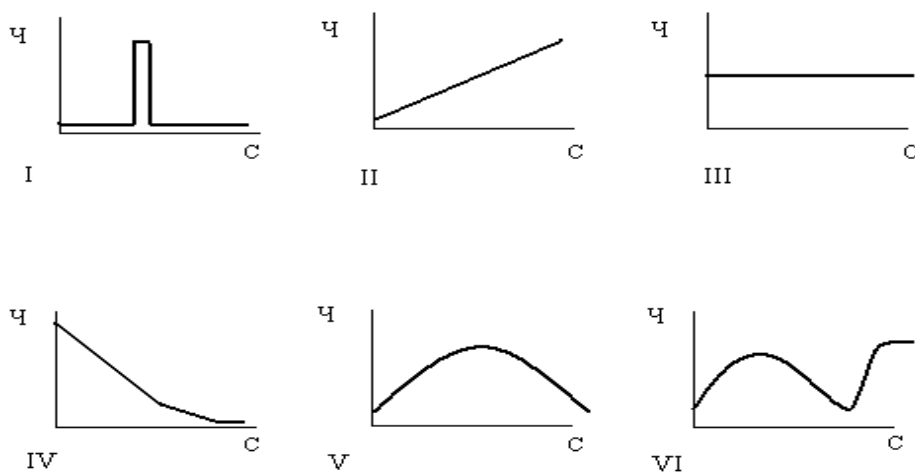


Рисунок 1 – Типы чувствительности биоиндикаторов в зависимости от развития реакции во времени: Ч – чувствительность, С – стрессор

Регистрирующие биоиндикаторы реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями, изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками (лишайники, хвоя деревьев и др.). Однако с помощью регистрирующих биоиндикаторов не всегда можно установить причины изменений, т. е. факторы, определившие числен-

ность, распространение, конечный облик или форму биоиндикатора.

Накапливающие биоиндикаторы концентрируют загрязняющие вещества в тканях, органах или частях тела, которые впоследствии используются для химического анализа (панцири ракообразных, личинок насекомых).

Абсолютные стандарты:

- системы, свободные от воздействия поллютантов;
- системы с искусственным исключением действия антрополических факторов;
- системы, слабо или вовсе не подверженные действию антрополических факторов;
- градиенты изменения функций объекта, вплоть до пренебрежимо малого времени воздействия.

Относительные стандарты базируются на:

- корреляции с пространственно-временными изменениями антрополических факторов среды;
- установлении эталонных объектов, испытывающих незначительное или известное антрополическое воздействие.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие организмы можно использовать в качестве тест-объектов?
2. Дайте понятие биоиндикаторов.
3. Каким требованиям должны отвечать биоиндикаторы и тест-объекты? Обоснуйте каждое требование.
4. Рассмотрите рисунок 1 и сделайте вывод о типах чувствительности биоиндикаторов.
5. Каково назначение регистрирующих и накапливающих биоиндикаторов?
6. Сделайте вывод о значимости абсолютных стандартов при биоиндикации.
7. На чем базируются относительные стандарты при биотестировании?

Практическое занятие 2

Морфологические изменения организмов

Морфологические реакции организмов на действие факторов среды – очень удобные для биоиндикации параметры состояния. На изменение окраски, формы тела, расположения органов, размера организма под антропогенным воздействием человек обратил внимание уже давно.

Все морфологические изменения делят на микро- и макроскопические.

Макроскопические изменения

1. Изменение окраски (неспецифическая реакция на различные стрессоры). Например, хлороз листьев под действием газов, пожелтение участков листьев под влиянием хлоридов, покраснение листьев под действием SO_2 , побурение или побронзовение, появление серебристой окраски и т. п. *Некрозы* – отмирание ограниченных участков ткани (рисунок 2).

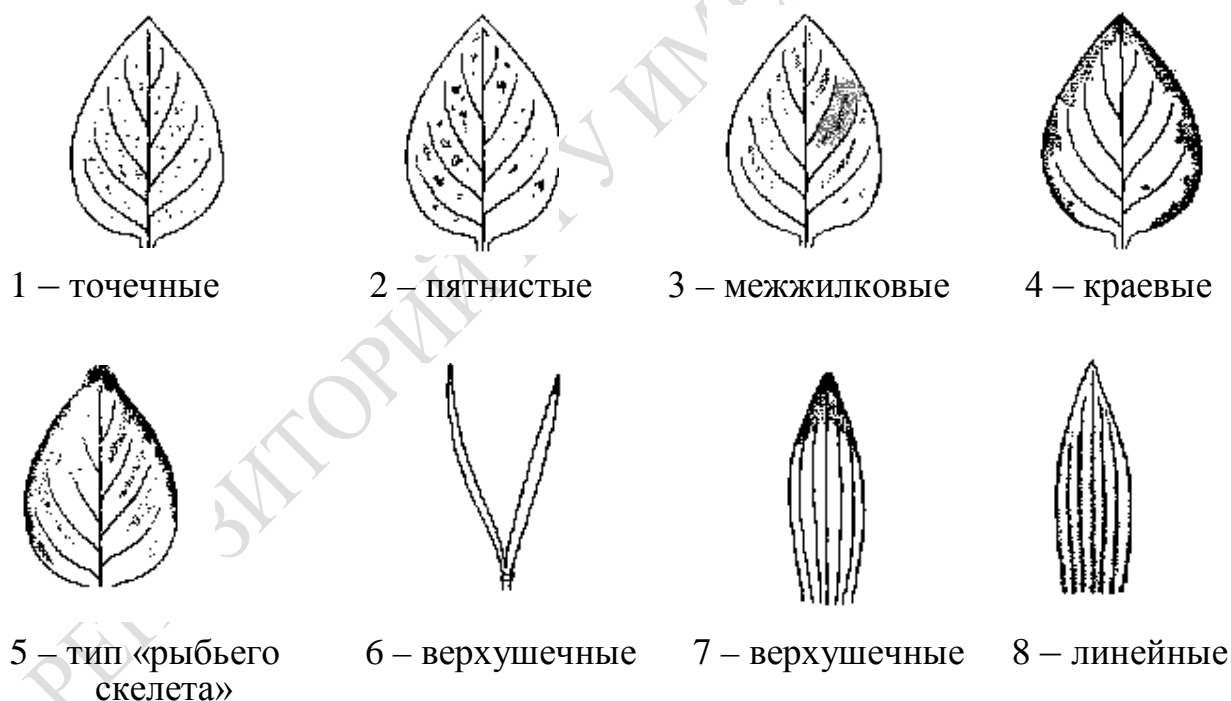


Рисунок 2 – Типы некрозов листьев у высших растений

При развитии некрозов сначала наблюдаются изменения в окраске (при действии SO_2 чаще всего образуются грязно-зеленые, O_3 – металлически блестящие пятна, хлоридов – хлорозы). После гибели клеток пора-

женные участки высыхают и приобретают бурую или беловатую окраску.

Различают:

– точечные и пятнистые (например, серебристые пятна после воздействия озона);

– межжилковые – отмирание тканей листовой пластинки между боковыми жилками первого порядка (при воздействии SO_2);

– краевые (действие хлоридов);

– верхушечные (действие HF , SO_2);

– некрозы околоплодника.

2. Преждевременное увядание (например, под действием этилена в теплицах).

3. Дефолиация (следствие некроза, влияние SO_2 , хлоридов).

4. Изменение размеров органов по большей части неспецифичны (например, удлинение хвои под действием нитратов, крупные листья на отмирающих деревьях при повреждении HCl).

5. Изменение формы, количества и положения органов (например, при действии радиоактивного облучения, локальных некрозов, гормональных гербицидов).

6. Изменение направления формы роста и ветвления (например, изменение направления роста корней одуванчика при изменении уровня грунтовых вод, кустовидная и подушечная форма роста деревьев при загрязнении атмосферы HCl , изреживание кроны при газодымовом загрязнении).

7. Изменения прироста неспецифичны, но часто используются. Например, измерения радиального прироста древесных стволов, прироста в длину побегов и листьев, длины корней, диаметра талломов лишайников и др.). Изменения плодовитости (например, уменьшение образования плодовых тел у лишайников и грибов, продуктивности черники в загрязненной газобразными выбросами атмосфере).

Микроскопические изменения

1. Изменение размеров клетки (реакция на газообразные загрязнения).

2. Изменения субклеточных структур (например, блокирование плазмодесм, расширение цистерн ЭПС, набухание тилакоидов, образование кристаллических включений, грануляция плазмы и разрушение хлоропластов и др.).

3. Плазмолиз – отслаивание плазмы от клеточной стенки как следствие действия кислоты и SO_2 .

4. Изменение степени ксероморфизма листьев – увеличение числа устьиц, толщины кутикулы, густоты опушения, толщины листа и степени

суккулентности (отношения сырой вес/сухой вес).

5. Изменение структуры древесины.

Эти и многие другие факторы используются в индикации антропогенной нагрузки на систему, и наиболее удобные в этом отношении объекты – растения. Однако существует проблема оценки морфологических изменений у растений. При определении морфологических изменений нужно уметь отличать симптомы повреждений, вызванных естественными факторами и антропогенными. Важно уметь правильно оценивать воздействие климата, почвы, стадии развития и времени года, присутствие вредителей, а также явление констелляции экологических факторов (при высокой влажности воздуха и почвы растения становятся особо чувствительными к газовым загрязнениям, зимой повышение температур снижает устойчивость и т. п.). Кроме того, внутренние факторы также затрудняют оценку изменений у растений.

Наблюдается различная чувствительность:

- на различных возрастных стадиях;
- у органов различного возраста (хвоя сосны особенно сильно повреждается на первом году жизни, потом устьица закрываются);
- в различное время дня и года (к выбросам SO_2 листья более устойчивы ночью, чем днем; хвоя весной и летом более чувствительна, чем осенью и зимой);
- у различных особей генетически неоднородных популяций;
- при различной предрасположенности (ранее подвергшиеся действию стрессора особи более чувствительны).

У животных при действии стрессоров реакция на морфологическом уровне проявляется в разнообразных формах. Наиболее известной является так называемый «индустриальный меланизм». Это явление потемнения окраски покровов у первоначально светлых форм.

Чрезвычайно удобны для биоиндикации биологические ритмы живых организмов. *Биоритмы* – это эндогенно обусловленные, упорядоченные реакции организмов на периодически изменяющиеся экологические факторы. В результате смены интенсивности и продолжительности действия факторов возникает определенная последовательность смены внешних условий. Эти изменения адаптируются организмами благодаря генетически закрепленным автономным ритмам. Они обеспечивают организму стабильность внутренней организации и гармоничность во взаимоотношениях со средой. Стрессоры различного происхождения вызывают в организме отклонения от естественных ритмов (циркадного, цирканнуального и прочих). Это проявляется в изменении активности поведения, физиологических и биохимических процессов, и может быть использовано для неспецифической биоиндикации. Например, искусственное освещение городских улиц

нарушает фотопериодические реакции растений, поэтому в крупных городах листопадные явления наступают позже. Изменения биоритмов растений еще не используются для биоиндикации, хотя имеется уже достаточное количество фактов, свидетельствующих о вмешательстве антропогенных стрессоров в суточные и сезонные ритмы у этих организмов. Среди наиболее частых проявлений отмечают нарушение ритма работы устьиц, ритма побегообразования, повторное цветение.

Наиболее удобны для биоиндикации изменения внешней морфологии, возникающие как спонтанная изменчивость развития. Ее можно оценить по флуктуирующей асимметрии, которой охвачены практически все билатеральные структуры у самых разных видов живых организмов. *Флуктуирующая асимметрия (ФА)* представляет собой небольшие ненаправленные отклонения биообъектов от билатеральной симметрии. При этом различия между сторонами не являются строго генетически детерминированными и, следовательно, зависят, в основном, от внешних условий. Уровень морфогенетических отклонений от нормы оказывается минимальным лишь при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях. Поэтому стабильность развития, оцениваемая по уровню ФА, является чувствительным индикатором состояния природных популяций и представляет интерес для биоиндикационных исследований.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы макроскопические изменения в растительных организмах и их применение в биоиндикации?
2. Дайте определение некрозов.
3. Какие факторы окружающей среды могут вызывать некрозы листьев?
4. Зарисуйте виды некрозов листьев и опишите их основные признаки.
5. *Вариант 1.* Рассмотрите выборки листьев древесных растений одного вида из средней части кроны (по 10–20 штук) из разных мест отбора проб. Фиксируйте макроскопические изменения листовой пластинки биогенного и небигенного происхождения (рисунок 2). На каждой листовой пластинке определите типологию повреждений, суммарную площадь повреждения листового аппарата, а также площадь биоповреждений и повреждений небологической этимологии. Для этого собранные листья расправьте на квадратном листе кальки, размеры которого соответствуют размерам листа ($S_{ке}$). Кальку взвесить ($P_{ке}$), лист очертить, по контурам вырезать его силуэт на кальке. Эту часть кальки также взвесить ($P_{л}$).

Определить площадь листа по формуле: $S_{л} = \frac{P_{л} \cdot S_{кв}}{P_{кв}}$.

Совместив контуры листа на кальке с образцом, очертить все поврежденные участки, вырезать их и взвесить.

Вычислить процент поврежденной ткани по формуле:

$$S_{повр} = \frac{S_{л} \cdot P_{повр}}{P_{листа}} \cdot 100.$$

Результаты анализа представьте в виде доли (в среднем) поврежденной поверхности от массы или от общей площади листа (для этого можно использовать миллиметровую бумагу) и занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика доли повреждений листовой пластинки у исследуемых видов на пробных площадках (% площади (массы) листа)

Тип морфологических изменений листа	Исследуемый вид растений	
	Пр. площадка № 1	Пр. площадка № 2...
	$M \pm m$	$M \pm m$
Изменение окраски (хлороз, побурение, серебристая окраска и т. п.)		
Некрозы:		
– точечные		
– пятнистые		
– межжилковые		
– верхушечные		
– краевые		
– линейные		
– тип «рыбьего скелета»		
Изменение формы и размера		
Всего		

Вариант 2. Одновозрастные листья березы бородавчатой, собранные в разных биотопах разместите перед собой сторонами, обращенными к верхушке побега. С каждого листа снимите показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (таблица 2):

- а) ширина левой и правой половин листа в месте перегиба при совмещении верхушки с основанием;
- б) длина жилки второго порядка, второй от основания листа;
- в) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

- г) расстояние между концами этих же жилок;
 д) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Таблица 2 – Результаты измерений

№ листа	Номер признака									
	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1										
2										

Коэффициент флуктуирующей асимметрии вычисляют по формуле:

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{|L_{ij} - R_{ij}|}{(L_{ij} + R_{ij})},$$

где m – число объектов;

n – число признаков;

L, R – величина признаков у каждого объекта слева и справа относительно плоскости симметрии.

Алгоритм вычислений:

1) определите относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого разность между промерами слева и справа делят на сумму этих же промеров: $(L - R)/(L + R)$. Полученные величины занесите во вспомогательную таблицу 3;

Таблица 3 – Вспомогательная таблица

№ листа	Номер признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1						
2						
Коэффициент флуктуирующей асимметрии, ФА						$X =$

2) вычислите показатель асимметрии для каждого листа как среднее арифметическое относительных величин асимметрии по каждому признаку;

3) рассчитайте коэффициент асимметрии как среднее арифметическое всех величин асимметрии для каждого листа.

Для характеристики состояния среды используется абсолютная 5-балльная оценка качества среды по степени отклонения ее состояния от экологической оптимальности. Каждому из приведенных баллов соот-

ветствует свой определенный интервал значений коэффициента флуктуирующей асимметрии. Баллом 1 характеризуются участки, практически не затронутые человеческой деятельностью. Баллом 5 обозначаются гибнущие экосистемы в районах с чрезвычайной антропогенной нагрузкой. Таким образом, абсолютная шкала предоставляет возможность сравнивать между собой любые территории и участки (таблица 4);

Таблица 4 – Абсолютная 5-балльная оценка качества среды по степени отклонения ее состояния от экологической оптимальности

Балл	Величина ФА	Характеристика состояния среды
1	< 0,040	ситуация условно нормальная
2	0,040–0,044	небольшие отклонения от нормального состояния
3	0,045–0,049	существенные нарушения
4	0,050–0,054	опасные нарушения
5	> 0,054	критическое состояние

6. На основании расчетов сделайте вывод о стабильности развития данного вида в исследуемых биотопах, охарактеризуйте качество среды. Удобен ли данный вид растений в качестве индикаторного для оценки параметров состояния среды?

7. Приведите примеры микроскопических изменений растений.

8. Чем определяется различная чувствительность организмов к антрополическим факторам?

9. Каково происхождение индустриального меланизма?

10. Сделайте вывод о роли биоритмов в биоиндикации и биотестировании.

Практическое занятие 3

Фитоиндикация воздушной среды

От загрязнения воздуха страдают биологические системы разного происхождения. Но следует иметь в виду, что животные и человек адаптированы к постоянному содержанию в воздухе кислорода, в то время как растения с их ассимиляционным аппаратом приспособлены к значительно более низким концентрациям в атмосфере CO_2 , и поэтому более чувствительны к концентрациям вредных веществ в воздухе. По этой причине растениям придается особое значение как биоиндикаторам атмосферного загрязнения.

Высшие растения очень различаются по чувствительности к разнообразным загрязнителям воздуха (таблица 5).

Таблица 5 – Чувствительность некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха

Виды	SO_2	HF	NH_3	HCl, Cl_2
Ель обыкновенная	+++	+++	++	+++
Сосна обыкновенная	+++	++	++	+++
Пихта белая	+++	+++	++	+++
Сосна Веймутова	++	++	.	++
Лиственница европейская	++	++	++	++
Граб обыкновенный	++	++	+++	+++
Липа мелколистная	++	++	+++	.
Рябина обыкновенная	++	.	.	.
Береза повислая	++	+	++	.
Береза пушистая	++	++	.	.
Вяз шершавый	+	.	.	.
Осина дрожащая	+	.	.	+
Сирень обыкновенная	+	+	.	.
Роза собачья (шиповник)	+	+	.	.
Дуб черешчатый	-	-	-	++
Клен ясенелистный	-	+	+	.
Бузина черная	-	-	-	.
Бузина красная	-	-	-	.
Бересклет европейский	-	.	-	.
Слива садовая	.	+++	.	.
Лещина обыкновенная	.	++	.	.
Яблоня домашняя	.	++	.	.
Каштан конский	.	+	.	.
Примечание – «-» – нечувствительные, «+» – малочувствительные, «++» – чувствительные, «+++» – очень чувствительные, «.» – реакция недостаточно изучена.				

У растений под действием различного рода стрессоров возникают биохимические, физиологические и морфологические отклонения от нормы. Последние являются часто используемыми показателями в качестве тест-функций, так как могут изучаться без специальных лабораторий и обученного персонала, а также имеются испытанные стандартизированные морфологические индикаторы и условия их применения. Морфологические изменения ассимиляционного аппарата – очень удобный диагностический параметр, который иногда проявляется в виде специфической реакции на стрессор (таблица 6).

Фитоиндикационным методом, дающим достаточно надежную экологическую оценку состояния природных экосистем, является изучение верхушечного и радиального годичного прироста у древесных растений, интенсивности транспирации и фотосинтеза, величины и скорости продуцирования биомассы. При оценке лесных экосистем в процессе постепенной деградации насаждений выделяют несколько стадий: фоновую (естественное состояние), преддигрессивную, дигрессивную при сохранении эдификаторной роли древесного яруса, дигрессивную при разрушении древесного яруса, редиуну, пустошь, техногенную эродированную пустыню. Данные модификации различаются структурой фитомассы видов – эдификаторов, а также отдельных элементов фитоценоза.

Таблица 6 – Признаки изменения ассимиляционного аппарата под действием некоторых элементов

Элемент, находящийся в избытке	Концентрация	Признаки отравления	Биоиндикаторы
1	2	3	4
Двуокись серы	Влияние длительного воздействия SO ₂ в концентрации менее 0,5 мг/м ³ Длительное влияние слабых концентраций двуокиси серы (менее 0,1 мг/м ³)	У растений появляются слабые повреждения, обнаруживающиеся по общему обесцвечиванию листа. Межжилковые некрозы и хлорозы. Наблюдается деформация листовых пластинок в виде морщинистости, скручивания без заметного изменения их окраски. На листьях образуются наросты, края становятся коричневыми, а затем бледно-желтыми.	Люцерна, гречиха, подорожник большой, горох.

Окончание таблицы 6

1	2	3	4
Хлор		Появление различного рода пятен и красноватого оттенка листьев. Побледнение листьев, деформации хлоропластов.	Шпинат, фасоль, кресс-салат.
Озон		Появление на листьях темно-коричневых пятен и точечных некрозов на верхней стороне листьев.	Табак, шпинат, соя.
Фтор, фторид-ионы, ионы металлов	Невысокие концентрации	На листьях появляются узкие некротические светло-желтые полосы, распространяющиеся по периферии листа от верхушки к его основанию. Ионы накапливаются в сухом веществе.	Райграс многоцветковый, полевица ползучая, полевица тонкая, горчица белая, листовая капуста, конский каштан, мхи.
Окислы азота, аэрозоли, азотистая кислота	Концентрация, превышающая 2 мг/м ³	Сильные повреждения ассимиляционных органов, которые схожи с повреждениями, вызванными SO ₂ . Отличительной особенностью являются участки, чаще всего возникающие в верхней части, реже – в середине листовой пластинки. Межжилковые некрозы.	Шпинат, сельдерей.
Этилен	Слабая концентрация	Отмирание цветочных почек, мелкие размеры цветков, закручивание краев листьев, повышение пероксидазной активности.	Петуния, салат, томаты.
Пероксиацетилнитрат	Длительное влияние слабых концентраций (менее 0,1 мг/м ³)	Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев	Крапива жгучая, мятлик однолетний.
Радионуклиды	Невысокие концентрации	Накопление в сухом веществе	Олений мох, исландский мох
Сочетание вредных веществ в воздухе, смог	Высокие концентрации смога (основные компоненты: озон и пероксиацетилнитрат)	Поражаются субэпидермальные клетки нижней стороны листа, появляются вздутия и серебристый налет листьев, образуются некротические пятна, сосредоточенные посреди и по краям листа. Умень-	Пихта, ель, сосна, выводковые почки

Оценить состояние окружающей среды можно с помощью фенотипических биоиндикаторов. *Фены* – это четко различающиеся варианты какого-либо признака или свойства биологического вида. Под воздействием экологических факторов в популяциях увеличивается частота встречаемости специфичных фенотипов у различных видов. В таких случаях частота встречаемости является биологическим индикатором воздействия антропогенных факторов. В качестве объекта можно использовать широко распространенный белый клевер *Trifolium repens* (клевер ползучий). Форма рисунка на пластинках листа и частота встречаемости может использоваться как индикатор загрязнения среды. При индикации осуществляют подсчет форм с различным рисунком и без него и последующего расчета частоты встречаемости этих фенов в процентах. С помощью методов биоиндикации, основанных на морфологии растений, создают картосхемы антропогенного влияния, а также используют их при селекции устойчивых линий растений.

Контрольные вопросы и задания

1. Используя данные таблицы 5, сделайте вывод о чувствительности некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха.
2. Используя данные таблицы 6, сделайте вывод о признаках изменения ассимиляционного аппарата под действием некоторых элементов.
3. Какова роль фитоиндикации окружающей среды?
4. Приведите примеры биоиндикаторов, реагирующих изменением ассимиляционного аппарата на действие элементов.
5. Внимательно рассмотрите отдельные растения, определите их фенотип и суммируйте общее число особей каждого фена. Отдельно отметьте наличие растений с какими-либо уникальными фенами (например, с рисунком красного цвета, с большим или меньшим количеством листовых пластинок и т. п.). Подсчет сделайте не менее чем для 200 особей. Результаты наблюдений внесите в таблицу 7 и обработайте математически.

Таблица 7 – Результаты фенотипической диагностики

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

--	--	--	--	--	--	--	--

Для расчета частоты встречаемости отдельных фенов и индекса соотношения фенов используют формулы:

$$P_i = \frac{Cn_i}{N} \times 100 \% , \quad ИСФ = \frac{C(n_2 + n_3 + \dots)}{N} \times 100 \% ,$$

где P_i – частота i -го фена;

n_i – количество растений с i -м рисунком на листовой пластинке;

N – общее число учтенных растений.

По величине ИСФ при достаточно большом числе учетных площадок на исследуемой территории можно выделить наиболее антропогенно нагруженные участки. На чистых территориях величина ИСФ не превышает 30 %, а на загрязненных территориях ИСФ может достигать 70–80 %.

6. На основании проведенных исследований сделайте вывод о степени нагрузки на фитоценозы в исследуемых районах.

Практическое занятие 4

Индикация физико-химических параметров почв

Индикация плодородия почв, глубины залегания грунтовых вод, кислотности почв и других характеристик проводится с использованием методов альгоиндикации, биомониторинга с помощью высших растений и сообществ почвенных животных. Анализ состояния почвенного микробиоценоза может быть осуществлен количественным учетом различных групп (видов) или измерением интегральных параметров функционирования. К ним относят почвенное дыхание, скорость разложения целлюлозы и других субстратов, интенсивность включения глюкозы и накопления аминокислот, активность азотфиксации и нитрификации. Информативным параметром является изменение видового состава почвенных сообществ, биомассы почвенных микроорганизмов. По результатам индикации выделяют несколько состояний почв, характеризующих переход от благоприятных к неблагоприятным условиям существования под влиянием антропогенных нагрузок:

- сохранение стабильности состава сообщества (зона гомеостаза);
- перераспределение доминантных популяций (зона стресса);
- преимущественное развитие устойчивых популяций (зона резистентности);
- полное подавление роста и развития микроорганизмов в почве (зона репрессии).

Различают несколько типов изменения почв, вызванных разными причинами и приводящих к нарушению структурно-функциональных связей почвенных сообществ. 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.

Физическое изменение почвы. 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.

Физическим нагрузкам сильно подвержены все имеющие антропогенное происхождение (т. е. сильно измененные) почвы. Это относится к большей части почв, возникающих в процессе рекультивации бывших горных разработок, на месте поселений или промышленных предприятий.

Причины физических нагрузок на почву:

1. Прямые механические воздействия:

– повышенное давление на поверхность почвы (транспорт, вытаптывание);

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

2. Процессы, связанные с перемещением почвы:

– водная эрозия;

– эоловые отложения (особенно вследствие промышленных выбросов).

Изменение почвенных параметров касается, прежде всего, сложения и структуры почвы, например 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. В почвенных ценозах происходит снижение активности и обилия организмов (микроартропод и микробов), разлагающих органические вещества. Наблюдаемое в полевых условиях и экспериментально полученное уплотнение почвы определяется пенетрометрически. Параллельно в лаборатории и в поле можно провести исследования важных экологических параметров (прорастание, рост побегов и корней, продуктивность).

Подорожники *Plantago major*, *P. lanceolata*, *P. media* демонстрируют, например, видоспецифичные различия в отношении к уплотнению (вытаптыванию) почвы. В результате представляется возможным путем оценки популяционно-экологических параметров названных видов использовать полученные данные для биоиндикации.

Химическое загрязнение почвы. 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 удастся разграничить не всегда. Химическое загрязнение почвы вызывается разными причинами. Оно происходит либо произвольно (например, в результате применения средств защиты растений) или непреднамеренно (в случае промышленных выбросов). В связи с этим в большинстве случаев с территориальной точки зрения различными могут быть и радиус действия, и интенсивность загрязнения. Исходя из агрегатного состояния и способа действия загрязнителей, их делят на 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 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 сукцессий. 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 биоиндикации это важно, поскольку между химической обстановкой и ее влиянием на биоценоз не обязательно существует линейная зависимость. Решающее значение для действия на биологическом уровне имеет по этой причине соотношение интенсивности стрессора и специфической реакции буферной системы почвы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие признаки являются информативным параметром индикации почв?
2. На какие виды делятся состояния почв, характеризующих переход от благоприятных к неблагоприятным условиям существования под влиянием антропогенных нагрузок?
3. Приведите примеры типов изменения почв, вызванных разными причинами и приводящих к нарушению структурно-функциональных связей почвенных сообществ.
4. С чем связано физическое изменение состояния почв?
5. Какими веществами вызвано химическое загрязнение почв?
6. Каковы причины физических нагрузок на почву?
7. На какие группы делят загрязнители, исходя из их агрегатного состояния и способа действия?

Практическое занятие 5

Биотестирование качества вод

Для оценки качества природных вод пригодны и биоиндикационные методы, и приемы биотестирования. Суть токсикологического контроля качества вод заключается в относительно кратковременном наблюдении за какой-либо характеристикой тест-организмов, помещенных в исследуемую среду. Биотестирование с применением гидробионтов может быть использовано для оценки токсичности загрязняемых природных вод, контроля токсичности сточных вод, ускоренной оценки экстрактов, смывов и сред с санитарно-гигиеническими целями. В ходе лабораторных токсикологических тестов устанавливаются критерии качества вод, выраженные значениями ПДК, ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) и др. Для каждого тест-организма устанавливается круг основных тест-параметров, контролируемых в обязательном порядке. При этом для надежного контроля токсичности загрязнителей должно быть использовано несколько тест-объектов.

Токсикологические исследования проводят на зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *C. Pyrenoidosa*, видах рода *Ankistrodesmus* и др. Токсичность испытываемых веществ определяют по визуальным показателям (изменение окраски культуры водорослей, лизис клеток), значениям рН культуры, численности клеток, выделению и поглощению кислорода, соотношению живых и мертвых клеток. Для более полной оценки токсичности веществ используют показатели биомассы клеток, содержание хлорофилла и каротиноидов и др. наиболее удобные тест-объекты из макрофитов – элодея (*Elodea Canadensis*) и рясковые (ряска малая (*Lemna minor* L.) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs* L.)). В острых опытах устанавливают концентрации веществ, вызывающие за 10 дней роста культуры гибель 50 % особей. В хронических опытах при разведении исходной острой концентрации контролируют визуальные повреждения (изменение окраски, потеря тургора и др.), выживаемость и прирост основного побега, число боковых отростков и их длину, число и длину корней. Ряска малая (*Lemna minor* L.) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs* L.) чувствительны к загрязнению воды при содержании в ней до 10 мкг/мл ионов Ва, Сu, Мg, Fe, Со. На каждый загрязнитель у видов рясок проявляется специфическая реакция. На медь (0,1–0,25 мг/мл) листецы реагируют полным рассоединением из групп и изменением окраски с зеленой на голубую; реакция проявляется через 4 часа после воздействия. Реакция на цинк (0,025 мг/мл) заключается в изменении окраски листеца с насыщенно зеленой до бесцветной, где зелеными остаются

только точки роста. Барий (0,1–0,25 мг/мл) вызывает полное рассоединение листецов, опадание корней и изменение окраски с зеленой на молочно-белую. Кобальт (0,25–0,0025 мг/мл) – полную приостановку роста и потерю окраски. Кроме этого, в качестве тест-функции используют изменение количества хлоропластов в эпистрофном положении как чувствительный показатель, свидетельствующий о степени загрязнения системы. В качестве тестовых организмов могут выступать и простейшие, например, инфузории *Paramecium caudatum*. Отклик на токсиканты определяют по показателям выживаемости особей и функции их размножения, выражающейся в изменении скорости клеточного деления. ПДК для ракообразных устанавливают на примере представителей отряда *Cladocera*: *Daphnia magna*, *D. longispina*, *D. carinata*, *Ceriodaphnia affinis*. В острых опытах степень воздействия той или иной концентрации вещества оценивают по времени гибели 50 % популяции. В хронических опытах исследуют такие популяционные характеристики, как выживаемость, рост, плодовитость и качество потомства. Среди представителей бентоса удобными тест-объектами являются брюхоногие моллюски и личинки хирономид. При токсикологических испытаниях используют также представителей ихтиофауны – мальков и взрослых рыб из семейств лососевых (форель, пелядь), окуневых (судак, окунь), карповых (плотва, пескарь, верховка, голавль, голянь, лещ, красноперка, карп, карась). Степень отравления определяют по изменению следующих показателей: выживаемость рыб, прирост или снижение биомассы, клиническая картина отравления, характер питания, характер и частота дыхания, внешний вид, состояние жаберного аппарата.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается суть токсикологического контроля качества вод?
2. Для каких целей может быть использовано биотестирование с применением гидробионтов?
3. На каких зеленых водорослях можно проводить токсикологические исследования?
4. Какие показатели используют для более полной оценки токсичности веществ?
5. Каковы фитоиндикационные свойства ряски малой (*Lemna minor L.*) и ряски тройчатой (*Lemna trisulcs L.*)?
6. Какие простейшие могут выступать в качестве тестовых организмов?
7. На примере каких представителей ракообразных устанавливают ПДК для загрязнителей?
8. Какие представители бентоса являются удобными тест-объектами?

9. Приведите примеры представителей ихтиофауны, которые можно использовать в качестве тестовых.

Практическое занятие 6

Классификация качества воды водоемов

и водотоков по гидробиологическим показателям

Большинство биотических индексов имеют собственную бальную градацию и соответственно прямым образом могут оценивать качество воды. Рассмотрим примеры биотических индексов, которые широко применяются в странах ЕС и США, методы расчета, а также их соответствующие бальные оценки качества воды.

Индекс FBI (Family Biotic Index) разработан в 1987 году для рек штата Висконсин (США) и является одним из стандартных индексов в Американском агентстве защиты окружающей среды (таблица 8). Индекс содержит большое количество различных таксонов водных беспозвоночных и имеет шесть балльных градаций (таблица 9). Одно из требований к данному индексу – количество особей в пробе не должно быть менее 100 экз. Данный индекс применяется для индикации вод с органическим загрязнением. Расчет величины индекса производится по следующей формуле:

$$FBI = \sum(x_i \cdot t_i)/n,$$

где x_i = число особей внутри таксона;

t_i = значение толерантности (балльная оценка) для таксона;

n = общее число организмов в пробе.

В своей последней модификации индекс *FBI* следующим образом отражает качество воды (таблица 8).

Таблица 8 – Пределы изменения индекса *FBI* и качество воды

Значение индекса	Качество воды	Степень органического загрязнения
0,00–3,50	Прекрасное	Отсутствует
3,51–4,50	Очень хорошее	Вероятно слабое
4,51–5,50	Хорошее	Вероятно некоторое
5,51–6,50	Посредственное	Вероятно среднее
6,51–7,50	Ниже посредственного	Существенное
7,51–8,50	Плохое	Очень существенное

8,51–10,00	Очень плохое	Сильное
------------	--------------	---------

Таблица 9 – Данные для расчета индекса *FBI* для некоторых таксономических групп

Таксон	Число особей в пробе	Баллы	Таксон	Число особей в пробе	Баллы
<i>Lymnaea</i> sp.	10	6	<i>Hydra</i> sp.	19	5
<i>Physidium</i> sp.	4	8	<i>Nemoura</i> sp.	11	2
Sphaeridae	21	8	<i>Oligochaeta</i> sp.	6	8
<i>Asellus aguaticus</i>	14	8	<i>Oulimneus</i> sp.	31	4
<i>Gammarus lacustris</i>	23	4	<i>Brachycentrus</i> sub.	3	1
Clossosomatidae sp.	5	0	<i>Hydropsyche</i> sp.	13	4
<i>Caenis horaria</i>	6	7	<i>Cloen simile</i>	4	4
<i>Limnephilus</i> sp.	54	4	<i>Calopteryx splendens</i>	1	5
<i>Sigara falleni</i>	8	5	Chironomidae sp.	3	6
<i>Heptagenia coeruleans</i>	11	4	<i>Micronecta</i> sp.	9	5

Индекс *IBGN* (*Indece Biologique Global Normalize*) был разработан во французской системе мониторинга. Индекс предназначен для оценки экологического качества малых и средних рек (таблица 10). Данный индекс содержит большое число таксономических групп макрозообентоса, среди которых выделены индикаторные группы. Расчет индекса производится следующим образом: вначале подсчитывается общее количество таксономических групп *VT* (таблица 11), даже если в группе обнаружен один экземпляр на пробу, и эта величина ранжируется по баллам (таблица 12). Далее среди пробы находится таксон с наибольшим значением балльной оценки (*GI*) (таблица 13):

$$ISBN = GI + VT - 1.$$

Таблица 10 – Величины индекса *ISBN* и качество воды

<i>ISBN</i>	Качество воды	Цвет воды
20–7	Очень хорошее	Голубой
16–13	Хорошее	Зеленый
12–9	Посредственное	Желтый
8–5	Плохое	Оранжевый
4–0	Очень плохое	Красный

Таблица 11 – Ранжирование числа таксономических групп макрозообентоса

VT	> 50	49–	44–	40–	36–	32–	28–	24–	20–	16–	12–	9–7	6–4	3–1
Ранг VT	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Таблица 12 – Балльная оценка для индикаторных групп видов макрозообентоса

VT	GI	VT	GI	VT	GI
<i>Cloroperlidae</i>	9	<i>Nemouridae</i>	6	<i>Limnephilidae</i>	3
<i>Perlidae</i>		<i>Lepidostomatidae</i>		<i>Hydropsychidae</i>	
<i>Perlodidae</i>		<i>Sericostomatidae</i>		<i>Ephemerellidae</i>	
<i>Taeniopterygidae</i>		<i>Ephemeridae</i>		<i>Aphelocheiridae</i>	
<i>Carniidae</i>	8	<i>Hydroptilidae</i>	5	<i>Baetidae</i>	2
<i>Brachycentridae</i>		<i>Heptageniidae</i>		<i>Caenidae</i>	
<i>Odontoceridae</i>		<i>Polumitarcidae</i>		<i>Elmidae</i>	
<i>Philopotamidae</i>		<i>Potamanthidae</i>		<i>Cammaridae</i>	
<i>Leuctridae</i>	7	<i>Leptoceridae</i>	4	<i>Mollusca</i>	1
<i>Clossosomatidae</i>		<i>Polycentropodidae</i>		<i>Chironomidae</i>	
<i>Beraeidae</i>		<i>Psychomyidae</i>		<i>Asellidae</i>	
<i>Goeridae</i>		<i>Rhyacophilidae</i>		<i>Hirudinea</i>	
<i>Leptophlebiidae</i>				<i>Oligocheta</i>	

Таблица 13 – Данные для расчета индекса ISBN

Таксономическая группа	Количество особей в пробе	GI
Сем. <i>Hydropsychidae</i>		
<i>Hydropsyche spp.</i>	14	
Сем. <i>Brachycentridae</i>		
<i>Brachycentrus subnubilus</i>	32	
Сем. <i>Leptoceridae</i>		
<i>Mystacides longicornis</i>	11	
Сем. <i>Elmidae</i>		
<i>Oulimneus spp.</i>	5	
Сем. <i>Leptophlebiidae</i>		
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	8	
Класс <i>Hirudinea</i>		
<i>Erobdella octoculata</i>	13	
Тип <i>Mollusca</i>		
<i>Pisidium spp.</i>	6	
<i>Viviparidae spp.</i>	15	
Класс <i>Crustacea</i>		
<i>Gammarus lacustris</i>	5	
<i>Asellus aguaticus</i>	10	

Индекс *СМБИ* (*Citizen Monitoring Biotic Index*) основан на четырех группах зообентоса, ранжированных по чувствительности к загрязнениям. Эти группы содержат следующие виды (таблица 14).

Таблица 14 – Индикаторные группы видов, используемые при расчете индекса *СМБИ*

№ группы	Индикаторные группы
1	<i>Plecoptera, Coridalidae, Sialidae</i>
2	<i>Trichopterta, Decapoda, Anisoptera, Odonata, Ephemeroptera, Coenagriidae</i>
3	<i>Simulidae, Amphipoda, Mollusca</i> (левозакрученная раковина), личинки <i>Culicidae</i>
4	<i>Mollusca</i> (правозакрученная раковина), <i>Isopoda, Chironomidae, Hirudinea, Tubifex</i>

Расчет индекса производится следующим образом:

- число особей первой группы × 4;
- число особей второй группы × 3;
- число особей третьей группы × 2;
- число особей четвертой группы × 1.

Далее производится подсчет общего числа особей (*A*) и общая сумма баллов, полученных при умножении на балл для каждой группы (*B*) (таблица 15). Величина индекса равна:

$$СМБИ = B/A .$$

Таблица 15 – Данные для расчета индекса *СМБИ*

Представители	Кол-во особей (<i>A</i>)	Балл для данной группы	<i>B</i> (<i>A</i> × балл)	<i>СМБИ</i> = <i>B/A</i>
Кл. <i>Hirudinea</i>. Сем. <i>Erobdellidae</i> <i>Erobdella octulata</i>	2			
Тип <i>Mollusca</i>. Сем. <i>Viviparidae</i>				
<i>Viviparidae sp.</i>	5			
<i>Lymnea sp.</i>	8			
Отряд <i>Ephemeroptera</i>	11			
Сем. <i>Caenidae</i>. <i>Caenis horaria</i>				
Сем. <i>Baetidae</i>. <i>Baetis vernus</i>	69			
Отряд <i>Megaloptera</i>				
Сем. <i>Sialidae</i>. <i>Sialis lutaria</i>	24			
Отряд <i>Trichopterta</i>				
Сем. <i>Polycentropidae</i> <i>Neureclipsis bimaculata</i>	7			

Сем. <i>Brachycentridae</i> <i>Brachycentrus subnubilus</i>	58			
	$\Sigma =$		$\Sigma =$	<i>СМВІ</i> =

Качество воды определяется исходя из таблицы 16.

Таблица 16 – Величина индекса *СМВІ* и качество воды

Число баллов	Качество воды
> 3,6	Очень хорошее
3,5–2,6	Хорошее
2,5–2,1	Посредственное
2,0–1,0	Плохое

Контрольные вопросы и задания

1. Какова методика расчета индекса *FBI*?
2. Используя данные таблиц 8, 9, рассчитайте индекс *FBI* для водоема по приведенным таксономическим группам. Дайте оценку качества вод.
3. Какова методика расчета индекса *ISBN*?
4. Используя данные таблиц 10–13, рассчитайте индекс *ISBN* для водоема по приведенным таксономическим группам, дайте оценку качества вод.
5. Используя данные таблиц 14–16, рассчитайте индекс *СМВІ* для водоема по приведенным таксономическим индикаторным группам. Сделайте оценку качества вод.

Практическое занятие 7

Методы биотестирования в лесном и сельском хозяйстве

Антропогенные изменения естественных факторов местообитаний относительно быстро проявляются в изменении состава растительных сообществ с точки зрения входящих в них эколого-ценотических групп, т. е. увеличения доли одних групп и снижения доли других (таблица 17). Для оценки состояния гумуса в лесах и лесопосадках важную роль играют растения-индикаторы грубого, модер- и мулльгумуса, а на полях – экологические группы растений, отдающих предпочтение хорошей технологической готовности почвы. По их появлению или исчезновению можно судить о результатах вмешательства человека в гумусовый баланс почвы. Выделение эколого-ценотических групп дает в распоряжение сельского и лесного хозяйства организмы-индикаторы, которые в случае вмешательства человека в природные процессы относительно быстро и надежно свидетельствуют о биологическом воздействии.

Таблица 17 – Растения индикаторы разных типов местообитаний

Параметр состояния	Виды-индикаторы
1	2
Индикаторы временно пересыхающих почв	
Кислые и бедные почвы	<i>Cladonia sp.</i> , <i>Dicranum spurium</i> , <i>Politrichum uniperium</i> , <i>Politrichum piliferum</i>
Умеренно кислые почвы	Буквица лекарственная, колокольчик персиколистный, виды рода астрагал, ландыш майский.
Известковые почвы	Фиалка трехцветная, <i>Rhytidium rugosum</i> .
Индикаторы сырых почв	
Очень кислые почвы	Виды рода клюква, виды родов <i>Sphagnum</i> , <i>Polytrichum</i> .
Кислые	Лапчатка болотная, щитовидник обыкновенный, виды рода <i>Sphagnum</i>
Основные	Калужница болотная, зюзник европейский, некоторые виды шлемника.
Индикаторы перемен-но сухих, глинистых местообитаний	Вейник, осока низкая
Индикаторы очень кислых почв	
Почвы от сухих до умеренно влажных	Вереск обыкновенный, черника обыкновенная, брусника, <i>Dicranum scoparium</i> , <i>Pleurozium schreberi</i>
Почвы от умеренно влажных до влажных	<i>Ptilium crista-castrensis</i> , <i>Ptilidium ciliare</i>

Окончание таблицы 17

1	2
Почвы от влажных до сырых	Лапчатка прямостоячая, багульник болотный, голубика, <i>Polytrichum commune</i> , <i>sphagnum acutifolium</i>
Индикаторы на удобряемых свежих лугах	
Индикаторы сухости	Шалфей, тимьян обыкновенный, чабрец, скабиоза голубиная, лядвенец рогатый, ожика равнинная, трясунка средняя, смолевка обыкновенная, подорожник средний, колокольчик круглолистный
Индикаторы обеднения почвы	Ясколка полевая, очиток едкий, ястребинка волосистая
Индикаторы кислотности	Щавель обыкновенный, гипохерис укореняющийся
Индикаторы нарушения дернины	Пырей ползучий, вейник наземный
Индикаторы влажности	Калужница болотная, осока заостренная
Индикаторы на удобряемых влажных лугах	
Индикаторы сырости	Калужница болотная, дербенник иволистный, осока просяная, подмаренник болотный, лютик жгучий, лютик ползучий
Индикаторы сухости	Подорожник средний, бедренец обыкновенный, овсяница овечья, истод обыкновенный, фиалка собачья, гвоздика травяная
Индикаторы на пастбищах	
Индикаторы местообитаний с поступлением азота и вытаптыванием	Лебеда раскидистая, горец птичий, подорожник большой, ромашка пахучая, мятлик однолетний
Индикаторы местообитаний, богатых азотом и фосфором	Клевер белый, мятлик обыкновенный, пырей ползучий, бодяк полевой, будра плющевидная, лапчатка ползучая, лапчатка гусиная, лютик ползучий
Индикаторы влажности	Осока заячья, ситник развесистый, бодяк болотный, горюха-кукушкин цвет
Индикаторы на пахотных землях	
Индикаторы сильного подкисления	Щавель обыкновенный, дивала однолетняя, баранец малый, клевер пашенный
Индикаторы азота	Крапива жгучая, желтушник левкойный, паслен черный, молочай огородный
Индикаторы, предпочитающие карбонаты	Петрушка собачья, овсюг

Биоиндикация массового появления вредителей. Вредители в биоце-

нозах никогда не появляются в разные годы в одном и том же количестве. Их численность может резко возрасти в силу действия внешних причин, и нельзя полагать, что они могут полностью исчезнуть в результате отрицательного воздействия окружающей среды и интенсивных мер борьбы с ними. Знание причин популяционной динамики вредителей и ее индикация имеют важное значение в деле защиты растений, так как создают основу для прогнозирования появления вредителей и размера ущерба. Массовым размножением считается необычно высокий рост плотности популяции вредителей, т. е. сверхразмножение. Вспышка массового размножения всех видов вредителей, несмотря на отдельные модификации, имеет общие черты (рисунок 3). Этот процесс включает в себя сначала рост плотности популяции (проградацию) до максимального уровня (кульминации), затем спад обилия (ретроградацию) и, наконец, возвращение в исходное состояние (латентную фазу), когда в очаге массового размножения может произойти полный распад популяции вредителей. Даже во время латентной фазы плотность их популяции постоянно изменяется. Однако, общие колебания численности вследствие гораздо более низкого обилия особей при этом не столь заметны.

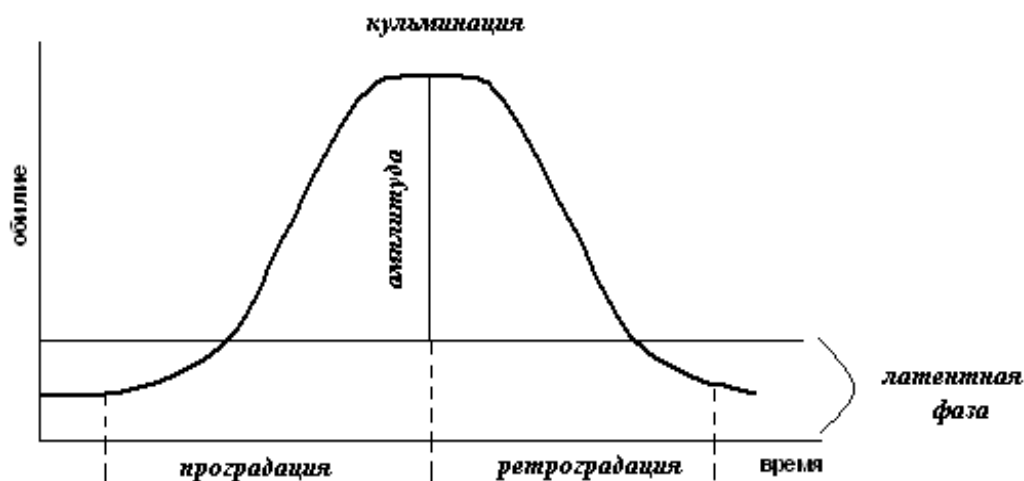


Рисунок 3 – Схема процесса массового размножения

В хронологическом отношении различают несколько типов массового размножения:

1. Перманентный тип – устойчивое состояние, которое характерно для таких видов, как яблонная плодожерка (*Laspeyresia pomonella*), капустная белянка (*Pieris brassicae*).

2. Временный тип – быстро затухающее состояние – свойствен златогузке (*Euproctis chrysorrhoea*), озимой совке (*Scotia segetum*), колорад-

скому жуку (*Leptinotarsa decemlineata*), полевке обыкновенной (*Microtus arvalis*).

3. Латентный тип – состояние, которое наблюдается крайне редко или вообще не характерны вспышки массового размножения. Подобный тип встречается у вредной черепашки (*Eurigaster spp.*), пьявицы (*Oulema spp.*), малого хлебного пилильщика (*Cephus pigmacus*).

Для ограничения и регуляции численности популяций таких видов требуется высокое сопротивление среды, которым агроэкосистемы сами по себе не обладают, поэтому важной задачей комплексной защиты растений является прогнозирование массового размножения. Во многих случаях достаточно составить негативный прогноз, т. е. исключить возможность появления опасного вредителя или вспышки его численности. Основанием для такого прогнозирования является удачное сочетание ключевых факторов, управляющих популяцией данного вида. Более основательный прогноз направления, характера и интенсивности массового размножения можно получить путем составления имитационных математических моделей динамики популяции вредителей. Моделируемая популяция вредителя подразделяется на блоки. Для каждого из них составляются математические уравнения, отражающие ход развития, изменения плодовитости и смертности, вредные воздействия, влияние факторов среды и т. п. Получается знаковая модель, описывающая общую динамику популяции.

Контрольные вопросы и задания

1. Найдите соответствия на основании таблицы 18.

Таблица 18

Вид индикатора	Представители
1. Индикаторы временно пересыхающих почв	Щавель обыкновенный, калужница болотная, лютик жгучий, горец птичий, подорожник большой, ландыш майский, клюква, калужница болотная, вереск обыкновенный, черника обыкновенная, голубика, чабрец, клевер белый, клевер пашенный, крапива жгучая, петрушка собачья, гвоздика травяная, ромашка пахучая, <i>Ptilium crista-castrensis</i> , <i>Cladonia sp.</i>
2. Индикаторы сырых почв	
3. Индикаторы очень кислых почв	
4. Индикаторы на удобряемых свежих лугах	
5. Индикаторы на удобряемых влажных лугах	
6. Индикаторы на пахотных землях	

2. На основании рисунка 3 расскажите о чертах процесса массового размножения вредителей и его фазах.

3. Найдите верные утверждения:

1. Виды рода *Sphagnum* – являются индикаторами местообитаний с поступлением азота и выщелачиванием.

2. Бодяк полевой – индикатор нарушения дернины.

3. Лапчатка гусиная – индикатор местообитаний, богатых азотом и фосфором.

4. Фаза проградации – рост плотности популяции.

5. Латентная фаза – гибель 50 % особей всей популяции.

6. Латентный тип массового размножения – состояние, которое наблюдается крайне редко или вообще не характерны вспышки массового размножения.

7. Перманентный тип массового размножения – быстро затухающее состояние.

8. Временный тип массового размножения характерен для вредной черепашки (*Eurigaster spp.*), пьявицы (*Oulema spp.*), малого хлебного пилильщика (*Cephus pigmacus*).

9. Перманентный тип массового размножения характерен для полевки обыкновенной (*Microtus arvalis*).

10. Негативный прогноз размножения вредителей – исключение возможности появления опасного вредителя или вспышки его численности.

Темы реферативных работ по дисциплине

1. Биологический мониторинг, его виды и цели.
2. Биотические стрессоры.
3. Абиотические стрессоры.
4. Развитие учений о тест-функциях.
5. Фитоиндикаторы временно пересыхающих почв.
6. Фитоиндикаторы сырых почв.
7. Фитоиндикаторы очень кислых почв.
8. Фитоиндикаторы влажных лугов.
9. Фитоиндикаторы на пастбищах.
10. Биоритмы организмов.
11. Лихеноиндикация.
12. Альгоиндикация.
13. Животные-биоиндикаторы.
14. Индустриальный меланизм.
15. Рясковые – биоиндикаторы качества водной среды.
16. Популяции редуцентов как индикаторы качества почв.
17. Устойчивость к влиянию техногенной среды разных жизненных форм высших растений.
18. Практические рекомендации службам озеленения города при планировании и проведении искусственных посадок, формировании рекреационных зон и зон, несущих культурно-эстетическую нагрузку.

Перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Понятие биоиндикации и биомониторинга.
2. Методическая основа биоиндикации.
3. Биотестирование.
4. Уровни биоиндикации.
5. Тест-объекты.
6. Понятие биоиндикаторов.
7. Стандарты сравнения при биоиндикации. Регистрирующая биоиндикация, биоиндикация по аккумуляции.
8. Прямая и косвенная индикация.
9. Первичная и вторичная биоиндикация.
10. Понятие о стрессе и стрессорах.
11. Токсичность среды и ее характеристики.

12. Диапазон физиологической толерантности организмов.
13. Морфологические, биоритмические и поведенческие реакции.
14. Некрозы.
15. Индустриальный меланизм.
16. Биоритмы.
17. Действие на первичных продуцентов.
18. Параметры нарушения, параметры фитоценоза.
19. Математические и статические индексы и методы оценки структуры.
20. Функциональные показатели нарушения равновесия экосистем.
21. Характеристика степеней гемеробности.
22. Причины и виды загрязнения воздуха.
23. Биоиндикация с помощью высших растений.
24. Лихеноиндикация.
25. Причины и виды загрязнения почвы.
26. Параметры водной среды.
27. Биотестирование качества вод.
28. Альгоиндикация.
29. Животные – биоиндикаторы качества вод.
30. Метод Вудивисса.
31. Современная экспертная система оценок, основанная на методе экологических модификаций.
32. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям.
33. Основные характеристики воды и биоты по классам качества воды.
34. Биоиндикация антропогенно измененных природных комплексов местообитаний.
35. Растения индикаторы разных типов местообитаний.
36. Биоиндикация массового появления вредителей.

Глоссарий

1. **Альгоиндикация** – определение состояния водной среды при помощи водорослей.

2. **Биоиндикаторы** – организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки.

3. **Биологическая индикация** – определение состояния среды по наличию или отсутствию в ней тех или иных организмов, называемых **индикаторами**.

4. **Биоритмы** – это эндогенно-обусловленные, упорядоченные реакции организмов на периодически изменяющиеся экологические факторы.

5. **Биотестирование** – процедура установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих нарушением жизненно важных функций об изменениях в среде.

6. **Биоциды** – вещества различных химических классов, попадающие в среду как средства защиты растений, гигиены человека и животных, пищевых запасов, в ходе промышленного загрязнения.

7. **Гемеробность** – окультуренность ландшафта.

8. **Дистресс** – патогенные процессы, возникающие, как правило, при постоянных нагрузках или усилиях, которые индивид не в состоянии регулировать короткое или длительное время.

9. **Индустриальный меланизм** – явление потемнения окраски покровов у первоначально светлых форм.

10. **Лихеноиндикация** – направление лихенологии, в задачи которой входит изучение влияния атмосферного загрязнения на лишайники в полевых условиях, нахождение зависимости между характеристиками лишайникового покрова (число видов, присутствие, степень покрытия, синтетический индекс лишайникового покрытия) и параметрами, характеризующими уровни локального и регионального загрязнения.

11. **LC₀** – минимальный порог чувствительности, при котором отмечаются специфические тест-реакции или смертность тест-объектов.

12. **LC₅₀** – стандартная мера токсичности вещества, показывающая, какая концентрация вещества вызывает гибель 50 % тест-организмов за установленное время (24, 48 или 96 ч.).

13. **LC₁₀₀** – высший смертельный порог для всех животных или тест-культуры водорослей, использованных в опыте.

14. **Накапливающие биоиндикаторы** концентрируют загрязняющие вещества в тканях, органах или частях тела, которые в последствии

используются для химического анализа.

15. **Некрозы** – отмирание ограниченных участков ткани.

16. **ОБУВ** – ориентировочно безопасный уровень воздействия.

17. **Регистрирующие биоиндикаторы** реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями, изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками.

18. **Сапробные водоемы** – водные системы, загрязненные органическими стоками.

19. **Стресс** – реакция биологической системы на экстремальные факторы среды (стрессоры), которые могут в зависимости от силы, интенсивности, момента и продолжительности воздействия более или менее сильно влиять на систему.

20. **Тест-объекты** (*test-organism*) – организмы, используемые при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др.

21. **Токсикант** – вещество, оказывающее токсическое действие.

22. **Токсикация** – процесс воздействия токсиканта на организм.

23. **Токсификация** – процесс воздействия токсиканта на экосистемы.

24. **Токсичность среды** – свойство химических параметров среды проявлять повреждающее или летальное действие на живые организмы.

25. **Токсичность острая** – выражается в гибели отравленного организма за короткий промежуток времени – от нескольких секунд до 48 часов.

26. **Токсичность среды хроническая** – проявляется через некоторое время в виде нарушений жизненных функций организмов и возникновения патологических состояний (токсикозов).

27. **Токсобность** – способность живых организмов существовать в токсической среде, сорбируя или используя определенное количество токсического вещества.

28. **Фены** – это четко различающиеся варианты какого-либо признака или свойства биологического вида.

29. **Флуктуирующая асимметрия (ФА)** – небольшие ненаправленные отклонения биообъектов от билатеральной симметрии.

30. **Эустресс** – физиологическая адаптивная реакция, которая вызывается в организме биоэнергетическими процессами, когда в критических ситуациях организму необходимо приспособиться к изменившимся условиям среды.

Литература

1. Алексеев, С. В. Изучаем экологию экспериментально: практикум по экологической оценке состояния окружающей среды / С. В. Алексеев. – Санкт-Петербург. – 1993. – 98 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: учебное пособие для вузов / под. ред. Р. Шуберта. – М.: «Мир», 1988. – 65 с.
3. Конюшко, В. С. Биологические индикаторы как объект внеклассной работы в школе : учебное пособие для вузов / В. С. Конюшко, А. А. Лешко, С. В. Чубаро. – Витебск, 1998. – 154 с.
4. Крапивный, А. П. Краткий зоологический словарь / А. П. Крапивный, В. А. Радкевич, Н. И. Тихонова. – 2-е издание. – Минск: «Вышэйшая школа», 1990. – 314 с.
5. Мусатова, О. В. Биоиндикация и биоповреждения: методические рекомендации к лабораторным работам / О. В. Мусатова. – Витебск: УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2006. – 32 с.
6. Мэннинг, У. Дж. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Дж. Мэннинг, У. А. Федер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 211 с.
7. Лысенко, Н. Л. Биоиндикация и биотестирование водоемов / Н. Л. Лысенко // Биология в школе. – 1996. – № 5. – С. 62–66.
8. Семченко, В. П. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семченко, В. И. Разлуцкий. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 329 с.

Производственно-практическое издание

Осипенко Галина Леонидовна

БИОМОНИТОРИНГ И БИОИНДИКАЦИЯ

Практическое руководство
для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология»

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 24.02.2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,3.
Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 25 экз. Заказ 125.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Г. Л. Осипенко

**БИОМОНИТОРИНГ
И БИОИНДИКАЦИЯ**

Гомель
2015