

**Д.В. НАТАРОВА, З.И. ТЮМАСЕВА**

**БИОМОНИТОРИНГ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**



Челябинск  
2021

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Д.В. НАТАРОВА, З.И. ТЮМАСЕВА**

# **БИОМОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

**УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Челябинск  
2021

УДК 5 (021)  
ББК 20.1я73  
Н 33

**Натарова, Д.В.** Биомониторинг экологической обстановки: учебно-практическое пособие / Д.В. Натарова, З.И. Тюмасева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГГПУ, 2021. – 137 с. – Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-907409-62-2

В пособии рассматриваются основы биомониторинга экологической обстановки. Представлены методы мониторинга природной среды: фитоиндикация воздушной среды, почвы, водоемов. На основе биотического индекса дается качественная оценка водной среды. Пособие содержит тестовые задания и основные понятия и термины.

Адресовано преподавателям, магистрантам гуманитарно-педагогических вузов, нацеленных на самостоятельную работу и углубленное изучение курсов «Биомониторинг экологической обстановки» и «Проектирование внеурочной деятельности обучающихся» по экологии, биологии и безопасности жизнедеятельности, а также учителям биологии и экологии.

Рецензенты:

И.А. Гетманец, д-р биол. наук, профессор

Б.А. Артеменко, канд. биол. наук, доцент

ISBN 978-5-907409-62-2

©Д.В. Натарова, З.И. Тюмасева, 2021

©Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ БИОМОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ	8
1.1. Основы мониторинга	8
1.2. Биоиндикаторы и тест-объекты	13
1.3. Морфологические изменения организмов	19
МОДУЛЬ 2. МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	27
2.1. Фитоиндикация воздушной среды	27
2.2. Методы биоиндикации качества атмосферного воздуха по состоянию сообщества лишайников	36
2.3. Методы биоиндикации качества атмосферного воздуха с помощью сосны	41
2.4. Методы биоиндикации почв	45
2.5. Биоиндикация водоемов с помощью макрофитов и беспозвоночных животных	59
2.5.1. Оценка качества водной среды на основе биотического индекса	59
2.5.2. Фитофльтрационный метод очистки водоема	62
2.6. Индивидуальное задание	73
2.7. Тестируем себя	76
2.8. Термины, понятия, определения	87
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	107
ПРИЛОЖЕНИЯ	109

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг экологической обстановки на определенной территории представляет научно-техническую проблему современности, так как техногенное загрязнение окружающей природной среды носит глобальный характер.

Загрязнение среды обитания человека негативно отражается на здоровье населения, его работоспособности и на демографических показателях общества.

В России действует система охраны окружающей среды, разработаны документы федерального и регионального уровней. Несмотря на наличие специального законодательства, правовая база природоохранной деятельности не стимулирует переход на экологически эффективные технологии и проведение природоохранных мероприятий.

В результате деятельности человека в окружающую среду все больше и больше вносятся отходы производства и жизнедеятельности. Биосфера Земли уже не успевает «перерабатывать» всю эту массу «выбросов» и «сбросов». В.И. Вернадский предупреждал, что человечество не выживет в собственных отходах. В этой связи становится актуальной проблема *оценки качества окружающей среды* (атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод) на территории России.

В соответствии с ФГОС 3++ в учебный план магистрантов по профилю «Образование в области безопасности жизнедеятельности» включен курс «Биомониторинг экологической обстановки».

*Целью изучения курса* является формирование у магистрантов представления о качественной оценке окружающей среды с помощью специальных объектов природы.

Задачи:

- формировать у магистрантов систему знаний о методах мониторинга окружающей природной среды;
- развивать представление о фиточистке водоемов;
- формировать систему знаний о биоиндикации атмосферного воздуха, почвы, воды;
- ознакомить с оценкой качества водной среды на основе биотического индекса.

Данное пособие будет способствовать формированию у студентов определенных компетенций, а также специальных знаний, умений и владений, обеспечивающих реализацию этих компетенций.

**ПК-1 способен реализовывать образовательный процесс в системе общего, профессионального и дополнительного образования:**

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:* психолого-педагогические основы организации образовательного процесса в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– знать психолого-педагогические основы организации образовательного процесса в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования при изучении основных вопросов биологического мониторинга окружающей среды.

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:*

– умеет использовать современные образовательные технологии, обеспечивающие формирование у обучающихся об-

разовательных результатов по преподаваемому предмету в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– уметь использовать современные образовательные технологии, обеспечивающие формирование у обучающихся образовательных результатов по преподаваемому предмету в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования, направленные на сохранение окружающей природной среды.

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:*

– владеет опытом реализации образовательной деятельности в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– владеть опытом реализации образовательной деятельности в системе общего и/или профессионального, дополнительного образования при использовании современных технологий при проведении биологического мониторинга.

**УК-1 способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий:**

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:*

– знает теоретические основы системного подхода; основные методы и приемы критического анализа и оценки проблемной ситуации.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– знать теоретические основы системного подхода; основные методы и приемы критического анализа и оценки экологической обстановки природной среды на основе биотестирования.

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:*

– умеет анализировать проблемную ситуацию на основе системного подхода; выбирать и описывать стратегию действий ее разрешения.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– уметь проектировать и осуществлять безопасную деятельность на основе системного подхода, с выбором стратегии действий в сложившейся экологической обстановке при использовании основных методов и подходов биотестирования; основные тест-объекты.

*Код и наименование индикатора достижения компетенции:*

– владеет методами и приемами решения проблемных ситуаций на основе системного подхода.

*Образовательные результаты по дисциплине:*

– владеть методами и приемами решения современных проблем экологической обстановки на основе системного подхода и биомониторинга.

Дисциплина «Биомониторинг экологической обстановки» имеет межпредметные связи с курсами, которые изучают студенты, «Основы биоритмологии и безопасности жизнедеятельности», «Экология и безопасность жизнедеятельности», «Человек, его здоровье и окружающая среда».

### 1.1. Основы мониторинга

**Мониторинг.** Вторая половина XX века ознаменовалась осознанием человечеством того, что необходимо создавать системы слежения за состоянием и изменением природной среды на планете Земля. Впервые вопрос о Международной программе глобальных наблюдений за изменением в биосфере был рассмотрен в 1971 г. Научным комитетом по проблемам окружающей среды.

Под мониторингом было решено понимать систему непрерывного наблюдения, измерения и оценки состояния окружающей среды. В дальнейшем понятие мониторинга несколько расширилось, в связи с чем его можно определить как *«систему наблюдений и контроля за состоянием окружающей человека природной среды с целью разработки мероприятий по ее охране, рационального использования природных ресурсов и предупреждения о критических ситуациях, вредных для существования живых организмов».*

**Мониторинг окружающей среды** (по определению) – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды. Этим термином называют регулярные, выполняемые по единообразной заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов,

растительного и животного мира, позволяющие выделить изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

**Экологический мониторинг** – это организованный мониторинг окружающей природной среды, при котором: – *во-первых*, обеспечивается постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем; – *во-вторых*, создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Все это позволяет считать термины «**мониторинг**», «**мониторинг окружающей среды**», «**экологический мониторинг**» – синонимами.

Если говорить о *структуре мониторинга*, то она выглядит следующим образом (по К.С. Бурдину, 1985 с изменениями):

Таблица 1

**Структура мониторинга**

<b>МОНИТОРИНГ</b>		
<b>НАБЛЮДЕНИЕ</b>	<b>ОЦЕНКА</b>	<b>ПРОГНОЗ</b>
за состоянием окружающей среды и за факторами, на нее воздействующими	фактического состояния окружающей среды	состояния окружающей среды

К *целям* мониторинга относятся:

1. Оценка наблюдаемых изменений.
2. Выявление эффекта деятельности человека.

3. Прогноз предполагаемых изменений состояния окружающей среды.

4. Принятие решений для предотвращения отрицательных последствий деятельности человека.

5. Разработка стратегии оптимального отношения общества к окружающей среде.

**Задачами** мониторинга окружающей среды являются:

1. Наблюдение за состоянием и изменением природной среды.

2. Выявление причин, вызывающих изменения природной среды.

В зависимости от размера охватываемого наблюдениями пространства различают следующие **типы мониторинга** – глобальный (биосферный или фоновый), региональный и локальный.

**Глобальный (фоновый) мониторинг** предполагает контроль за общепланетарными изменениями в биосфере, которые связаны с деятельностью человека. Он обеспечивает наблюдение, контроль и прогноз возможных изменений в отношении биосферы как среды для всего человечества и ее изменений, вызванных деятельностью общества.

**Региональный мониторинг** (синонимами являются геоэкологический, геосистемный, природно-хозяйственный) дает оценку антропогенного влияния на природную среду в ходе обычной хозяйственной деятельности человека, которая обязательно предполагает тот или иной вид взаимодействия с природой (градостроительство, сельское хозяйство, промышленность, энергетика, лесное хозяйство и т.д.).

**Локальный** (импактный, биоэкологический) **мониторинг** предполагает контроль за содержанием токсичных для человека химических веществ в атмосфере, природных водах, растительности, почве, подверженных воздействию конкретных источников загрязнения.

Одной из компонент мониторинга окружающей природной среды является **биологический мониторинг** – система наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биоте, вызванных факторами антропогенного происхождения. Структура биологического мониторинга довольно сложна. Он строится из отдельных подпрограмм, исходя из принципа, основанного на уровнях организации биологических систем. Диагностика подразумевает обнаружение, идентификацию и определение концентрации загрязняющих веществ в биотической составляющей на основе широкого использования организмов-мониторов (индикаторов). Прогноз состояния биотической составляющей окружающей среды может осуществляться на основе биотестирования и экотоксикологии (Бурдин, 1985).

**Биомониторинг** является составной частью экологического мониторинга – слежение за состоянием окружающей среды по физическим и биологическим показателям. 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.

В 1990 г. экологическая комиссия Европы под эгидой ООН приняла программу интегрированного мониторинга (ИМ) окружающей среды по следующим группам показателей

(в скобках указано их количество: общая метеорология (6), химия 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, 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 мониторинга по выбору.

На территории бывшего СССР было намечено 6 площадей для проведения регионального мониторинга по перечисленным выше биологическим показателям. Наиболее развиты системы регионального мониторинга в Германии и Нидерландах.

Результаты мониторинга представляют в виде таблиц и графиков. К числу удачных способов относится метод «Амебы». Рисуют круг, который делят линиями на равные секторы по числу измеряемых показателей. Линия окружности означает их нормальное значение. Показатели могут быть химическими (соединения 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 «Амебы» появляются «выросты-ложноножки». Результаты мониторинга, представленные в виде ряда таких

рисунков, наглядно выявляют направление «движения Амебы» и, соответственно, направление изменений в экосистеме.

## 1.2. Биоиндикаторы и ТЕСТ-ОБЪЕКТЫ

*Биоиндикация* – метод, который позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту встречи, отсутствия, особенностям развития организмов – *биоиндикаторов*.

*Биоиндикаторы* – организмы, присутствие, количество или особенности, развития которых служат показателем естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания.

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. При выборе биотических индикаторов в качестве критериев используют знания по биологии, биогеографии и экологии организмов, их чувствительности, а также 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;

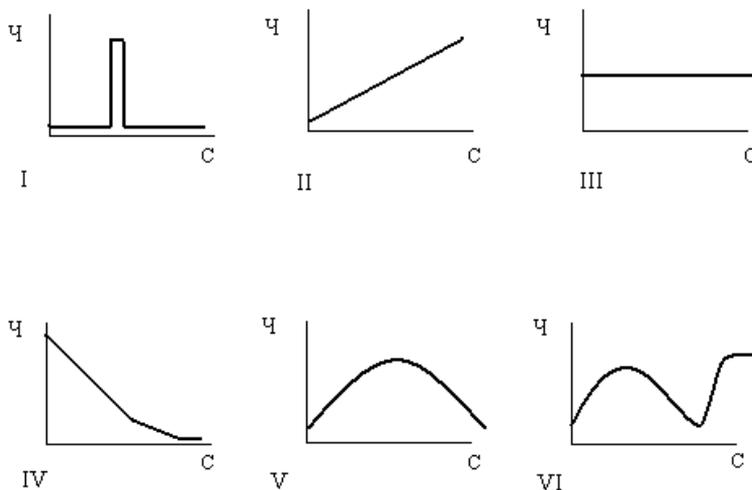
- биотесты должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов;

- 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 (рис. 1):



*Рис. 1. Типы чувствительности биоиндикаторов в зависимости от развития реакции во времени:*

Ч – чувствительность, С – стрессор

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.

*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 численность, 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 (это различные химические вещества, которые при накоплении в атмосфере в высоких концентрациях могут вызывать ухудшение здоровья человека и животных);

– системы с искусственным исключением действия антрополических факторов;

– системы, слабо или вовсе не подверженные действию антрополических факторов;

– градиенты (величина) изменения функций объекта, вплоть до пренебрежимо малого времени воздействия.

*Относительные стандарты* базируются на:

– корреляции (взаимосвязь) с пространственно-временными изменениями антрополических факторов среды;

– установлению эталонных (контрольных) объектов, испытывающих незначительное или известное антрополическое воздействие.



### **Знаете ли вы?**

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

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

О возможностях растительной биоиндикации писал геолог А.М. Карпинский. Большой вклад в развитие биоиндикации внес русский – почвовед В.В. Докучаев.

В начале XX в., когда началось освоение окраин нашей страны, биоиндикационные исследования стали развиваться особенно интенсивно.

Для более достоверного оценивания исследуемой территории проводили ее биодиагностику – количественную оценку степени воздействия экологического фактора на окружающую среду.



### **Подумайте и ответьте**

1. Какие организмы можно использовать в качестве тест-объектов?
2. Кто такие биоиндикаторы? Приведите примеры.
3. Каким требованиям должны отвечать биоиндикаторы и тест-объекты?
4. Каково назначение регистрирующих и накапливающих биоиндикаторов?
5. Где и когда обратили внимание на использование живых организмов в качестве биоиндикаторов?
6. На чем базируются относительные стандарты при биотестировании?



### **Задание**

Рассмотрите рисунок 1, изучите типы чувствительности биоиндикаторов. Рисунок выполните в тетради.

### 1.3. 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 обратили внимание ученые 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 оксида серы, побурение или побронзовение, появление серебристой окраски и т.п. *Некрозы* – отмирание ограниченных участков ткани (рис. 2).



1 – точечные



2 – пятнистые



3 – межжилковые

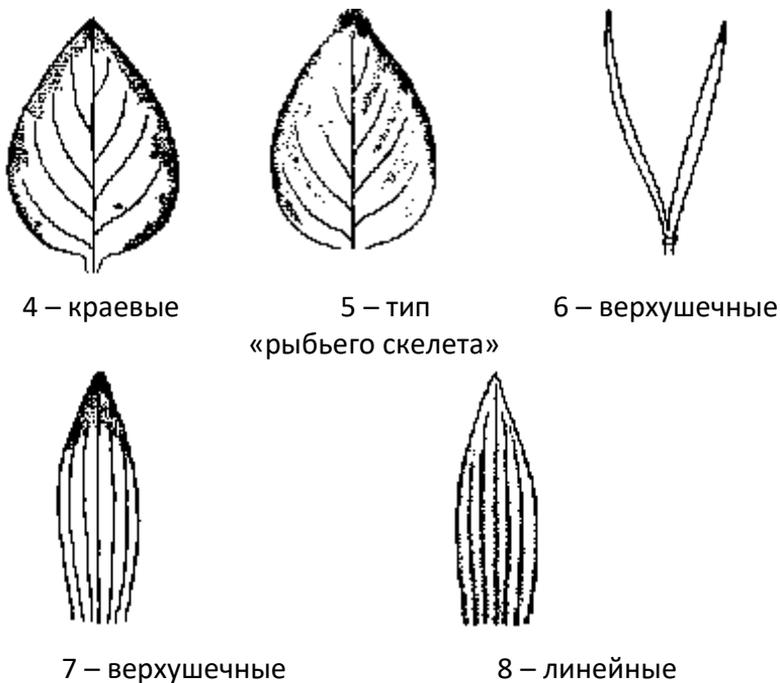


Рис. 2. Типы некрозов листьев у высших растений

При развитии некрозов сначала наблюдаются изменения в окраске (при действии оксида серы ( $\text{SO}_2$ ) чаще всего образуются грязно-зеленые, озон ( $\text{O}_3$ ) – металлически блестящие пятна, хлоридов – хлорозы). После гибели клеток пораженные 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 оксида серы);

– краевые (действие хлоридов);

– верхушечные (действие фтороводорода (HF), оксида серы);

– некрозы околоплодника.

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

3. Дефолиация (следствие некроза, влияние оксида серы, хлоридов (HCl)).

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

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 хлоридами, 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 плодovitости (например, уменьшение образования плодовых тел у

лишайников и грибов, продуктивности черники в загрязненной газо-образными выбросами атмосфере).



**Хлороз листьев**



**Покраснение листьев**

### ***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 оксида серы.

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 оксида серы 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 обеспечи-

вают организму стабильность внутренней организации и гармоничность во взаимоотношениях со средой. Стрессоры различного происхождения вызывают в организме отклонения от естественных ритмов. 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 (зеркальной). При этом различия между сторонами не являются строго генетически детерминированными (неспецифичными) 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.



### **Подумайте и ответьте**

1. Каковы макроскопические изменения в растительных организмах и их применение в биоиндикации? Приведите примеры.
2. Что такое некрозы?
3. Какие факторы окружающей среды могут вызывать некрозы листьев?
4. Какие микроскопические изменения используются в индикации антропогенной нагрузки на систему?
5. Какие существуют проблемы в оценке морфологических изменений у растений?
6. Как используется флуктуирующая асимметрия (ФА) в биоиндикации?



### **Задание**

Изучите некрозы листьев, опишите их основные признаки и зарисуйте.

## 2.2. 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 углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), 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 2).

Таблица 2

### Чувствительность некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха

Виды	$\text{SO}_2$	HF	$\text{NH}_3$	HCl, $\text{Cl}_2$
1	2	3	4	5
Ель обыкновенная	+++	+++	++	+++
Сосна обыкновенная	+++	++	++	+++

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
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 3).

Таблица 3

**Признаки изменения ассимиляционного аппарата  
под действием некоторых элементов**

Элемент, находящийся в избытке	Концентрация химических веществ	Морфологические изменения у растений	Биоиндикаторы
1	2	3	4
Двуокись серы	Влияние длительного воздействия SO <sub>2</sub> в концентрации менее 0,5 мг/м <sup>3</sup> Длительное влияние слабых концентраций двуокиси серы (менее 0,1 мг/м <sup>3</sup> )	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
Хлор		Появление различного рода пятен и красноватого оттенка листьев. Побледнение листьев, деформации хлоропластов	Шпинат, фасоль, кресс-салат

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
Озон		Появление на листьях темно-коричневых пятен и точечных некрозов на верхней стороне листьев	Табак, шпинат, соя
Фтор, фторидионы, ионы металлов	Невысокие концентрации	На листьях появляются узкие некротические светложелтые полосы, распространяющиеся по периферии листа от верхушки к его основанию. Ионы накапливаются в сухом веществе	Райграсс многоцветковый, полевика ползучая, полевика тонкая, горчица белая, листовая капуста, конский каштан, мхи
Окислы азота, аэрозоли, азотистая кислота	Концентрация, превышающая 2 мг/м <sup>3</sup>	Сильные повреждения ассимиляционных органов, которые схожи с повреждениями, вызванными SO <sub>2</sub> . Отличительной особенностью являются участки, чаще всего возникающие в верхней части, реже – в середине листовой пластинки. Межилковые 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 <sup>3</sup> )	Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев	Крапива жгучая, мятлик однолетний

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
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. Уменьшение прироста клеток	Пихта, ель, сосна, выводковые почки

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, редину, пустошь, техногенную эродированную пустыню. Данные модификации различаются структурой фитомассы видов – эдификаторов, а также отдельных элементов фитоценоза.



**Белый клевер (*Trifolium repens*)**  
**(клевер ползучий)**

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 ча-

стоты 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.



### **Это нужно знать!**

Часто наблюдается повреждение листвы лип под действием соли, применяемой для таяния льда: сначала появляются ярко-желтые, неравномерно расположенные краевые зоны, затем край листа отмирает, а желтая зона продвигается к середине и к основанию листа.

Биоиндикацию осуществляют с середины июля по август. На улицах и в парках встречаются различные липы (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. petiolaris* и др.), имеющие различную чувствительность, но с трудом различающиеся в поврежденном состоянии. Липу войлочную (*T. tomentosa*) следует рассматривать особо, так как она несколько более устойчива к действию загрязнителей.

**Таблица 4**

#### **Шкала качественной оценки краевых некрозов листьев лип**

Степень повреждения	Наблюдаемые морфологические изменения
1	Повреждения отсутствуют
2	Краевой хлороз
3	Сильный хлороз листовой пластинки, желтое окрашивание края листа
4	Обширный краевой некроз с желтой пограничной полосой
5	Большая часть листовой пластинки отмерла



**Липа войлочная  
(*T. tomentosa*)**



**Знаете ли Вы?**

Чувствительны к содержанию в воздухе хлороводорода, фтороводорода такие растения, как пшеница, кукуруза, пихта, ель, земляника садовая, береза бородавчатая.

Стойкими к содержанию *фтороводорода* в воздухе являются хлопчатник, одуванчик, картофель, роза, табак, томаты, виноград, а к *хлороводороду* – крестоцветные, зонтичные, тыквенные, гераневые, гвоздичные, вересковые, сложноцветные.



### **Подумайте и ответьте**

1. Какова роль фитоиндикации окружающей среды?
2. Какие растения являются более чувствительными к химическому загрязнению атмосферы?
3. Что такое ассимиляционный аппарат?
4. Какие растения могут переносить длительное загрязнение воздуха?



### **Задания**

*Задание 1.* Используя данные таблицы 2, составьте шкалу устойчивости древесных пород к длительному химическому загрязнению атмосферы.

*Задание 2.* Используя данные таблицы 3, назовите основные морфологические изменения у растений под действием химических веществ.

## 2.2. МЕТОД БИОИНДИКАЦИИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО СОСТОЯНИЮ СООБЩЕСТВА ЛИШАЙНИКОВ

Определение качества атмосферного воздуха по состоянию лишайников называется *лихеноиндикацией*. Природа лишайников (Lichenos) до сих пор во многом еще остается непознанной. Со времени открытия лишайников С. Швендером ведутся исследования их морфологии, которые подтверждают гипотезу первооткрывателя лишайников о том, что тело лишайника представляет собой *симбиоз гриба с водорослями или цианобактериями*.

Насчитывается более 20 тысяч видов лишайников, однако индикаторными видами являются лишь несколько десятков.

Лишайники могут поглощать до 300–400 % всей своей поверхностью, и поэтому впитывают токсические соединения в тех концентрациях, в которых они растворены в выпадающих осадках.

Накоплению в слоевищах лишайников токсических соединений способствует и низкая скорость обмена веществ, характерная для этих организмов.

Одной из первых реакций лишайников на загрязнение является изменение окраски слоевищ. Цвет их из серого в нормальных условиях становится розовым, бурым, иногда почти черным, или на поверхности появляются белые некротические пятна. При сильном загрязнении слоевище эпифитных лишайников полностью отмирает. Кроме изменения цвета, отмечается морщинистость, углубления и появления трещин на верхнем корковом слое таллома (слоевища).

Лишайники приспособлены к крайне неблагоприятным условиям внешней среды и растут всюду, где только возможна жизнь, от Арктики до влажных тропических лесов.

Различают лишайники:

*накипные* (корковые), имеющие слоевище в виде тонкой (гладкой или зернистой, бугорчатой) корочки, очень плотно срастающейся с субстратом (корой, камнем, почвой), так что отделить лишайник, не повредив субстрата, невозможно;

*листовые* (листоватые), имеющие вид мелких чешуек или пластинок, и прикрепленные пучками грибных гиф к субстрату, от которого они легко отделяются;

*кустистые*, имеющие вид тонких нитей или ветвящихся кустиков, прикрепленные к субстрату своим основанием.

Лишайники высокочувствительны к загрязнению среды обитания.



**Накипный лишайник**



**Листовой лишайник**



**Кустистый лишайник**

На них избирательно действуют прежде всего вещества, увеличивающие кислотность среды ( $\text{SO}_2$ ; HF; HCl;  $\text{NO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ). Для лишайников сравнительно безвредны тяжелые металлы, накапливающиеся в слоевище в значительных количествах, а также естественные и искусственные радиоактивные изотопы. Лишайники используют для биоиндикации изменений антропо-

погенного загрязнения среды в пространстве и биомониторинга изменений антропогенного загрязнения среды во времени. С помощью лишайников можно оценить комплексное действие промышленных выбросов в обследуемом районе. Для этого территорию разбивают на квадраты определенного размера (размер квадрата зависит от изучаемой площадки). Картирование лишайниковой растительности по мелким квадратам дает возможность оценить качественное состояние воздуха и указать местоположение источников выбросов. При этом могут использоваться количественные показатели (процент покрытия слоевищами каждого вида или избранных видов поверхности ствола, размеры слоевищ, доля поврежденных слоевищ и т.п.) и качественные критерии (наличие – отсутствие определенных видов лишайников, изменение состава лишайниковых группировок и т.п.). Для оценки степени покрытия выбирают отдельно стоящие, растущие вертикально деревья, у которых на высоте 30–150 см проводят учет лишайников по наиболее заросшей ими части коры. Сравнимые результаты могут быть получены, если при выборе деревьев ориентируются на разные виды, а затем рассчитывают среднюю степень покрытия для каждого квадрата съёмки.

Иногда картирование распределения лишайников сопровождают активным мониторингом. Метод активного мониторинга заключается в том, что действие загрязнителей определяется по характеру реакции трансплантированных из «чистых» местообитаний слоевищ лишайников. Для этой цели лучше всего использовать деревянные дощечки с круглыми углублениями, в которых лишайники могут быть закреплены стальным стержнем. Деревянные дощечки с закрепленными на них ли-

шайниками выставляют затем в исследуемой местности с соблюдением как можно более одинаковых условий (экспозиция, высота и т.п.). При необходимости фрагменты лишайника могут извлекаться из дощечек. Критериями в таких опытах могут быть как внешние повреждения (изменение окраски, обесцвечивание лопастей и др.), так и физиолого-биохимические показатели.

Лихеноиндикация не дает точных количественных сведений об уровне загрязнения воздуха. Следует учитывать, что ряд видов гибнет уже при малых концентрациях загрязнителя, часто не достигающих установленных санитарных норм. Исчезновение лишайников – это сигнал тревоги, призыв к активному действию.

### ***Лихеноиндикация загрязнения воздуха (качественная оценка)***

На основании эмпирически установленных качественных критериев, основанных на фактах наличия / отсутствия определенных типов лишайников, выделяют зоны с разной степенью загрязнения (см. таблицу 5):

Таблица 5

#### **Шкала класса загрязнения воздуха по состоянию лишайников**

Зона	Степень загрязнения	Наличие (+) или отсутствие (-) лишайников		
		Кустист.	Листов.	Накип.
1	Загрязнения нет	+	+	+
2	Слабое загрязнение	–	+	+
3	Среднее загрязнение	–	–	+
4	Сильное загрязнение («лишайниковая пустыня»)	–	–	–

В обследуемом районе изучают обрастание лишайниками стволов и ветвей деревьев, камней, стен домов и т.п. и по таблице определяют степень загрязнения воздуха.



### **Подумайте и ответьте**

1. Что такое лишайник?
2. Какие экологические группы лишайников выделяют?
3. Какие происходят изменения у лишайников в результате загрязнения воздуха?
4. Что такое лишеноиндикация?



### **Задания**

Изучите текст по биоиндикации и опишите метод лишеноиндикации загрязнения воздуха (качественная оценка).

## **2.3. Метод биоиндикации качества атмосферного воздуха с помощью сосны**

В лесной полосе России наиболее чувствительными к загрязнению воздуха являются сосновые леса.

Сосна – важнейший индикатор антропогенного влияния. Информативными по техногенному загрязнению являются морфологические и анатомические изменения, а также продолжительность жизни хвои.

### 1. Определение класса повреждения и усыхания хвои.

Некрозы хвои обычно появляются весной, сразу после образования хвои, а затем увеличиваются незначительно. Некротические реакции у деревьев, находящихся на продуваемых местах, выражены сильнее, чем в случае густого насаждения. Объектом обследования является верхушечная часть ствола. Внимательно осматривают хвоинки участка центрального побега (второго сверху) предыдущего года и определяют по шкале класс повреждения и усыхания хвои (следует иметь в виду, что шипик на конце хвоинки всегда более светлый, поэтому его окраска не включается в оценку).

Рассмотрите рисунок 3.

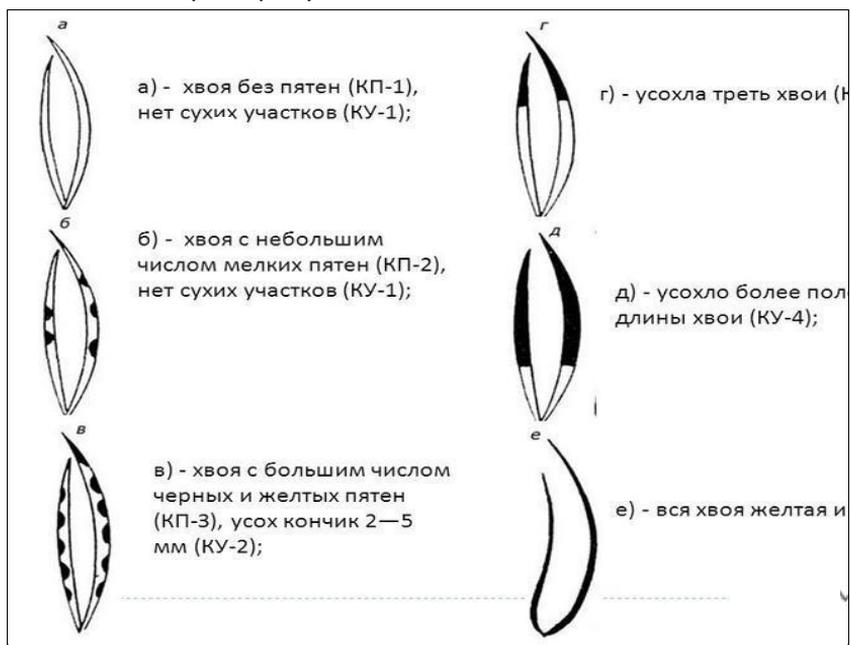


Рис. 3. Биоиндикация по хвоинкам сосны

**2. Определение продолжительности жизни хвои.** Продолжительность жизни хвои оценивают, обследуя верхушечную часть ствола за последние годы: каждая мутовка, считая сверху — это год жизни. Определяют, сколько лет сохраняется хвоя (максимальный возраст хвои), причем, если на самом нижнем из охвоенных участков часть хвоинок опала, но то оценивают примерную долю сохранившихся. Таким образом, полный возраст хвои определяется числом участков ствола с полностью сохраненной хвоей плюс доля сохраненной хвои на следующем за ним участке. Например, если верхушечная часть и два участка между мутовками полностью сохранили хвою, а на следующем участке сохранилась половина хвои, то показатель продолжительности жизни хвои вычисляется:

$$3 + \frac{1}{2} = 3\frac{1}{2}.$$

**Экспресс-оценка загрязнения воздуха.** Определив класс повреждения и продолжительности жизни хвои, можно оценить класс загрязнения воздуха по следующей таблице 6:

Таблица 6

**Оценивание загрязнения воздуха (класс) по хвое сосны**

Максимальный возраст хвои	Класс повреждения хвои на побегах 2-го года жизни		
	1	2	3
4	I	I–II	III
3	I	II	III–IV
2	II	III	IV
2	–	IV	IV–VI
1	–	IV	V–VI
1	–	–	VI

Условные обозначения класса загрязнения воздуха:

I – идеально чистый, II – чистый; III – относительно чистый («норма»); IV – загрязненный («тревога»); V – грязный («опасно»); VI – очень грязный («вредно»): «–» – невозможные сочетания.



### Подумайте и ответьте

1. Почему сосну используют как индикатор?
2. В чем заключается экспресс-оценка загрязнения воздуха?
3. Опишите усыхание хвои сосны.



### Задания

Опишите метод биоиндикации газодымовых загрязнений по состоянию хвои сосны.

При обследовании повреждений основными параметрами являются прирост побегов, темные верхушечные некрозы хвои, продолжительность жизни хвои сосны (*Pinus sylvestris*). Обследования можно проводить круглогодично. По карте района (области) намечают точки обследования, причем, чем выше антропогенная нагрузка, тем ближе друг к другу расположены точки обследования (1,5–3 км). В малозагрязненной местности точки обследования могут быть удалены друг от друга на расстояние до 10–15 км. Работу планируют так, чтобы все обследования намеченной территории провести в течение

2–4 дней. В намеченной точке обследования находят молодые сосны, произрастающие на открытом месте (поляне, опушке леса, просеке, вырубке). Выбирают 5 молодых деревьев высотой 1–1,5 м, отстоящих друг от друга на расстояние 10–20 м. Если все деревья очень высокие, то обследование проводят, используя один из боковых побегов в четвертой сверху мутовке.

## 2.4. Метод биоиндикации почвы

Почва является связующим звеном между биотическим и абиотическим компонентами биосферы. Полный анализ почвы требует много времени и труда. Однако многие особенности почвы, в том числе и *плодородие*, можно определить по населяющим ее *растениям-индикаторам*.

Например, о *высоком плодородии* свидетельствуют следующие растения: малина, крапива, иван-чай, таволга, сныть, чистотел, копытень, кислица, валериана, чина луговая, костер безостый.

Индикаторами *среднего (умеренного) плодородия*: майник двулистный, медуница, дудник, грушанка, гравилат речной, овсяница луговая, купальница, вероника длиннолистная.

О *низком плодородии* можно судить по наличию сфагновых (торфяных) мхов, наземных лишайников, кошачьей лапки, брусники, клюквы, белоуса, ситника нитевидного и душистого колоска.

*Безразличны к почвенному плодородию*: лютик едкий, пастушья сумка, мятлик луговой, черноголовка, ежа сборная.

Сосна обыкновенная может произрастать на почвах с низким содержанием питательных веществ.

Кроме плодородия почвы, можно выяснить глубины залегания грунтовых вод, кислотность почвы, определить отдельные ее элементы, используя для этого методы *альгоиндикации*, биомониторинга с помощью почвенных животных и высших растений.

### ***Растения-индикаторы глубины залегания грунтовых вод***

Установление показателей глубины залегания грунтовых вод имеет значение для уточнения свойств почв и для выработки рекомендаций по их мелиорации. Для индикации глубины залегания грунтовых вод используют *травянистые растения*. Для луговых почв выделяют пять групп индикаторных видов (таблица 7).

Таблица 7

### **Индикаторные группы растений – указатели глубины грунтовых вод на лугах (по Г.Л. Ремезовой)**

Индикаторная группа	Глубина грунтовых вод
I. Костер безостый, клевер луговой, подорожник большой, пырей ползучий	Более 150 см
II. Полевица белая, овсяница луговая, горошек мышиный, чина луговая	100–150 см
III. Таволга вязолистная, канареечник	50–100 см
IV. Осока лисья, осока острая, вейник Лангсдорфа	10–50 см
V. Осока дернистая, осока пузырчатая	0–10 см

В качестве биоиндикатора может быть использован и один вид растения, если он является массовым для данного местообитания.

### ***Растения – индикаторы водного режима почв***

Индикаторами разного водного режима почв являются растения – гигрофиты, мезофиты и ксерофиты (экологические группы по влажности).

К *гигрофитам* (обитателям влажных, заболоченных почв) относятся: голубика, багульник, морощка, калужница, герань луговая, камыш лесной, таволга вязолистная, мята полевая и другие.

*Мезофиты* (растения, растущие на умеренно влажных почвах) – тимофеевка, лисохвост луговой, пырей ползучий, ежа сборная, клевер луговой, горошек мышиный, чина луговая. В лесу встречаются такие мезофиты, как брусника, костяника, копытень, золотая розга, плауны.

Растения сухих местообитаний (*ксерофиты*): кощачья лапка, ястребинка волосистая, очитки (пурпурный, большой, едкий), ковыль перистый, толокнянка, полевика белая, наземные лишайники.

### ***Растения – индикаторы кислотности почв***

*Кислотность* – одно из важнейших свойств почвы лесной зоны. Повышенная кислотность отрицательно сказывается на росте и развитии ряда видов растений. Кислыми почвы становятся из-за накопления в них, например, растворимого алюминия или избытка марганца. Они нарушают углеводный и белковый обмен в растениях, задерживают образование генеративных органов и приводят к нарушению семенного размножения, а иногда вызывают гибель растений.

Повышенная кислотность почв подавляет жизнедеятельность почвенных бактерий, которые участвуют в размножении органики и высвобождении питательных веществ, необходимых растениям.

В лабораторных условиях кислотность почв можно определить универсальной индикаторной бумагой, набором Алямовского, рН-метром.

В полевых условиях можно приблизительно определить кислотность почвы с помощью растений: *ацидофилы* (растения кислых почв), *нейтрофилы* (обитатели нейтральных почв), *базифилы* (растения щелочных почв).

Таблица 8

**Растения-индикаторы кислотности почв  
(по Л.Г. Раменскому)**

Группа	Биоиндикатор	рН почвы
1	2	3
<i>1. Ацидофилы</i>		
1.1. Крайние ацидофилы	Сфагнум, зелёные мхи: гилокомиум, дикранум, плаун булавовидный, плаун годичный, плаун сплюснутый, ожика волосистая, пушица влагищная, подбел многолистный, кошачьи лапки, кассандра, цетрария, белоус, щучка дернистая, хвощ полевой, щавелек малый	3,0–4,5
1.2. Умеренные ацидофилы	Черника, брусника, багульник, калужница болотная, сушеница, лютик ядовитый, толокнянка, седмичник	4,5–6,0

Окончание табл. 8

1	2	3
	европейский, белозор болотный, фиалка собачья, сердечник луговой, вейник наземный	
1.3. Слабые ацидофилы	Папоротник мужской, ветреница лютиковая, медуница неясная, зеленчук, колокольчик крапиволистный, колокольчик широколистный, бор развесистый, осока волосистая, осока ранняя, малина, смородина черная, вероника длиннолистная, горец змеинный, орляк, иван-да-марья, кисличка заячья	5,0–6,7
1.4. Ацидофильно-нейтральные	Зеленые мхи: гилокомиум, плеврозиум, ива-козья	4,5–7,0
<i>2. Нейтрофильные</i>		
2.1. Окололинейные	Сныть европейская, клубника зеленая, лисохвост луговой, клевер горный, клевер луговой, мыльнянка лекарственная, аистник цикутный, борщевик сибирский, цикорий, мятник луговой	6,0–7,3
2.2. Нейтрально-базифильные	Мать-и-мачеха, пупавка красильная, люцерна серповидная, келерия, осока мохнатая, лядвенец рогатый, гусиная лапка	6,7–7,8
<b>3. Базифильные</b>		
	Бузина сибирская, вяз шершавый, берескет бородавчатый	7,8–9,0



### **Знаете ли Вы?**

В настоящее время выявлены растения – индикаторы повышенного содержания в почвах и породах хрома, марганца, никеля, меди, цинка, селена, железа, кобальта, олова, свинца, серебра, золота и других. Содержание этих элементов в зоне растений-индикаторов увеличивается до 10–15 %.

Например, на почвах богатых цинком встречаются виды родов *Viola* (Фиалка), *Thlaspi* (Ярутка); кобальтом – *Crotalaria juncea* (Конопля коричневая), *Silene* (Смолевка); медью – отдельные виды маков; селена – *Astragalus* sp (Астагал).



**Viola (Фиалка)**



**Silene (Смолевка)**

Значительный интерес представляет выявление индикаторов нефти и газа. В условиях повышенной бутиминозности отмечены гигантизм у видов рода *Suaeda* (Сведа), *Salsola orientalis* (Солянка восточная), *Anabasis aphylla* (Анабазис безлистный); карликовость – у *Halocnemum strobilaceum* (Сарсазан шишковатый из семейства Амарантовых), вторичное цветение – у *Pyrethrum* (Пиретрум, сем. Астровые); появление наростов, искривлений – у видов семейства маревых.



**Astragalus sp (Астагал)**



**Anabasis aphylla  
(Анабазис безлистный)**



**Halocnemum strobilaceum**  
(Сарсазан шишковатый из семейства Амарантовых)



**Pyrethrum**  
(Пиретрум, сем. Астровые)



### **Это интересно!**

Анализ состояния *почвенного микро-биоценоза* 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).

### **Типы изменения почв, вызванные загрязнением**

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 экосистемам (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;

– оловые 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 раз-

ными 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 био-индикации 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.



### **Подумайте и ответьте**

1. Какие растения-индикаторы свидетельствуют о высоком плодородии почвы?
2. По каким растениям-индикаторам можно судить о среднем и низком плодородии почв?
3. Какие растения-индикаторы используют при установлении грунтовых вод?
4. Назовите экологические группы растений по влажности.
5. Какие растения являются показателями кислотности почвы?
6. Каким образом можно определить кислотность почвы с помощью растений в полевых условиях?
7. Назовите источники химического загрязнения почвы.
8. Каковы причины физических нагрузок на почву?
9. На какие группы делятся загрязнители, исходя из их агрегатного состояния и способа действия?



### **Задание**

*Задание 1.* Различаю прямое и косвенное загрязнение почв. После изучения материала «Методы биоиндикации почв», заполните таблицу 9.

Таблица 9

**Загрязнение почвы**

№ п/п	Прямое загрязнение почвы	Косвенное загрязнение почвы
1	Отходы промышленного производства	Тяжёлые металлы, которые попадают со снегом
2		
3		
4		
5		

*Задание 2.* Эрозия почв – процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы водой (водная эрозия) или ветром (дефляция).

Какие виды эрозии встречаются в природе? Охарактеризуйте их.

## **2.5. Биоиндикация водоемов с помощью макрофитов и беспозвоночных животных**

### ***2.5.1. Оценка качества водной среды на основе биотического индекса***

Оценка качества водной среды может быть проведена с помощью растительного и животного населения водоема.

Поскольку беспозвоночные присутствуют в водной среде постоянно, изменение качества среды отражается на

их состоянии и численности. Для оценки качества вод по обитающим в них беспозвоночным можно подсчитать биотический индекс, используя индивидуальные коэффициенты для каждой группы животных. Более высокий коэффициент характерен для чувствительных к загрязнению беспозвоночных, например, нимф веснянок и большинства поденок, тогда как для устойчивых к загрязнению животных, например, для кольчатых червей и личинок звонцов, величина коэффициента мала.

### **Оценка качества водной среды на основе биотического индекса**

1. Определите беспозвоночных, обнаруженных в пробе, взятой в ручье или в реке и запишите их названия.

2. Найдите величину коэффициентов для каждой группы беспозвоночных, используя определенную таблицу. Если какое-либо животное не определено или не указано в специальной таблице, не принимайте его в расчет.

3. Суммируйте коэффициенты для всех животных, обнаруженных в пробе, чтобы получить индекс пробы.

4. Вычислите среднюю величину индекса путем деления индекса пробы на количество групп обнаруженных в водной среде беспозвоночных. Полученная величина называется биотическим индексом.

Значение биотического индекса находится в интервале от нуля (безжизненный водоем) до десяти (чистый горный ручей, эта величина вряд ли будет достигнута). Чем больше значение индекса, тем выше качество водной среды.

Таблица 10

**Индивидуальные коэффициенты  
беспозвоночных животных**

Название животного	Индивидуальный коэффициент
1	2
Пленария	4
Пресноводные олигохеты	1
Пиявки	3
Прудовики	3
Катушки	3
Горошины	3
Беззубки, перловицы	10
Речные чашечки	8
Речные раки	10
Водяные ослики	3
Бокоплавы	6
Водяные клещи	4
Нимфы поденок (ползающие формы)	10
Нимфы поденок (формы быстротекущих вод)	10
Нимфы поденок (плавающие формы)	6
Личинки стрекоз-красоток	8
Водяные скорпионы	5
Личинки стрекоз-стрелок	6
Личинки стрекоз-коромысел	3
Личинки радиокрылых стрекоз	8
Личинки веснянок	10
Водомерки	5
Ранатра	8
Гладыш (имаго и личинки)	5

Окончание табл. 10

<b>1</b>	<b>2</b>
Личинки вислокрылок	4
Личинки ручейников (живущие в домиках)	8
Личинки ручейников (свободноживущие)	5
Водные жуки (плавунцы, водолюбы)	5
Личинки долгоножек	5
Личинки мух-журчалок «крыски»	3
Личинки мошек	5
Личинки комора-звонца	2

### ***2.5.2. Фитофльтрационный метод очистки водоема***

Для гидроэкологического анализа качества вод могут быть использованы практически все группы организмов, населяющие водоем: планктонные и бентосные организмы, простейшие, водоросли, бактерии, рыбы и макрофиты.

Водная экосистема, находясь в равновесии с факторами внешней среды, имеет сложную систему подвижных биологических связей, которые нарушаются под воздействием антропогенных факторов, что отражается на видовом составе водных сообществ и соотношении численности слагающих их видов. Биологический метод оценки состояния водоема позволяет решить задачи, разрешение которых с помощью гидрофизических и гидрохимических методов невозможно. Оценка степени загрязнения водоема по составу живых организмов позволяет быстро

установить его санитарное состояние, определить степень и характер загрязнения и пути его распространения в водоеме, а также дать количественную характеристику протекания процессов естественного самоочищения. При реализации данного метода используют индикаторные виды, к которым относятся и некоторые *макрофиты* (высшая водная растительность).

С середины 60-х годов XX века появляются научные работы, посвященные выяснению роли высшей водной растительности *в самоочищении водоемов*.

В чем сущность фитофильтрационного метода очистки стоков, формирования улучшенного качества природной воды, а также охраны поверхностных водоемов от загрязнений?

1. Макрофиты (тростник обыкновенный, рогоз широколистный, камыш озерный, ежеголовка ветвистая и многие другие гидрофиты, в отличие от сухолюбивых растений способны успешно расти и развиваться при недостатке и даже полном отсутствии кислорода в почвенно-водной среде благодаря *аэренхимному строению тканей корней и других органов*.

2. Прибрежно-водные и погруженные растения могут извлекать из воды и грунта не только необходимые им биогенные элементы (азот, фосфор, калий, железо), но и другие минеральные макро- и микроэлементы, а также балластные и токсические вещества, в том числе соли тяжелых металлов (железа, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, хрома, мышьяка и др.), синтетические поверхностно-активные (СПАВ), различные ядохимикаты (гербициды, неорганические кислоты, щелочи, инсектициды, фунгициды, бактерициды, пестициды и т.п.), если концентрация их в воде не превышает летальных (смертельных) доз для этих растений.

3. Макрофиты лучше адаптируются к токсическим и нетоксическим веществам сравнительно с низшими организмами (бактерии, водоросли, грибы, простейшие) активного ила, под влиянием которых происходит биохимическая (микробиологическая) очистка сточных вод в аэротенках. Поэтому их можно применять для очистки сточных вод высокой концентрации без разбавления их свежей водой.

4. Особенность многих водных растений, в частности тростника обыкновенного в том, что они способны развивать два типа корней: водные и почвенные. Роль этих корней в очистке грязной воды от растворенных и взвешенных веществ чрезвычайно велика.

5. Макрофиты благотворно влияют на кислородный режим водоема. Особенно погруженные растения увеличивают количество кислорода в результате быстрого окисления органического вещества.

6. Крупные макрофиты (тростник, рогоз и др.), затеняя поверхность воды и поглощая биогенные вещества, являются мощными антагонистами синезеленых водорослей, устраняют «цветение» воды.

7. В зарослях высших растений наблюдается обеззараживание воды, так как в процессе метаболизма они выделяют фитонциды и антибиотики, снижается численность патогенных бактерий.

8. В зарослях высших водных растений развивается *фитофильная фауна*, служащая пищей для рыб.

9. Макрофиты выполняют роль сорбента и поглотителя, а также активатора и намного ускоряют самоочищение воды от такого стойкого загрязнения, как нефть.

Таким образом, значение макрофитов наиболее существенно при предварительном гидробиологическом осмотре водных объектов. В загрязненных водоемах изменяется видовой состав, биомасса и продукция макрофитов, возникают морфологические аномалии, происходит смена доминантных видов, обуславливающих особенности биоценоза. Во время индикации водоемов и водотоков необходимо учитывать степень покрытия водоемов макрофитами, флористическое разнообразие растений, их жизненность, отклонения в развитии и росте, определять ряд количественных характеристик: величину фитомассы и продукцию, высоту и массу стеблей, химический состав растений.

Индикаторные свойства макрофитов стоит рассматривать на основании подобности структурных и функциональных изменений видовых групп, которые проявляют стенобионтность по отношению к исследуемому фактору.

Биоиндикация с использованием макрофитов проводится путем многократных наблюдений. Вместе с тем изменения в видовом составе высшей водной растительности необходимо подтверждать параллельными гидрологическими и гидрохимическими исследованиями.

*Для чистых водоемов* индикаторными свойствами обладают популяции лобелии Дортмана (*Lobelia dortmana* L.), полунника озерного (*Isoetes lacustris* L.), урути очерёдноцветковой (*Myriophyllum alterniflorum* L.), кубышка желтая, белая кувшинка, водокрас. Данные виды являются охраняемыми, они чувствительны к изменению качества воды.

На **неблагополучие в водной экосистеме** указывает, например, массовое развитие видов семейства рясковых

(Lemnaceae). Обилие ряски трехдольной (*Lemna trisulca* L.) говорит о большом количестве биогенных веществ, развитие ряски малой (*Lemna minor* L.) и многокоренника обыкновенного (*Spirodela polyrrhiza* L.) помимо эвтрофирования может свидетельствовать о сельскохозяйственном загрязнении водоема. Массовое развитие телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides* L.) ведет к заболачиванию водоема.

***Примечание!***

*Эвтрофикация – поступление в водные объекты избыточного количества питательных веществ – приводит к ухудшению качества водной среды и зарастанию водотоков и водоёмов.*



**Это нужно знать!**

Все виды ряски содержат витамин С, провитамин А. По биохимическому составу виды ряски близки к зерну культурных растений, а по количеству сырого протеина не уступают семенам бобовых растений. В ряске содержится белка до 38%, жиров – около 5%, т.е. больше, чем в кукурузе, фосфора – 3%, кальция – 6%, магния – 2% и немного клетчатки – 17%. Она содержит многие микроэлементы – кобальт, бром, медь, никель, йод, цинк, ванадий, цирконий и даже золото. Свежая масса ряски богата витаминами.

Это отменный корм для домашних животных, особенно для птицы, поросят, овец.



### Это интересно!

Размножаются ряски в основном вегетативным путем, время удвоения по сухому веществу составляет 5–6 суток, по количеству листочков 2–3 суток.

Высокая скорость размножения ряски позволяет собирать урожай с одной площади в течение летнего сезона. В искусственных условиях ряску можно выращивать в течение круглого года. *Ряска малая* и особенно *ряска многокоренная* хорошо растут на разбавленных животноводческих стоках при искусственном освещении в помещении.

Ряска хорошо и быстро размножается в воде, где много минеральных и органических веществ, т.е. в загрязненных водоемах. При этом корневые выделения рясок стимулируют размножение водных микроорганизмов, которые разрушают органическое вещество сточных вод и тем способствуют сохранению водоемов в чистом состоянии.

**Индикаторами скорости течения** водоема может быть глицерия (*Glyceria fluviatilis* L.), Ежеголовник всплывающий (*Sparganium emersum* Rehmman), подводные формы сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.), стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.), некоторые виды рдестов: рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.).



### Знаете ли Вы?

*Сусак зонтичный* – ценное кормовое растение для ондатры, бобра, водяной крысы, водоплавающих птиц.

Ондатра особенно любит лакомиться мягкими и сочными основаниями стеблей, листьев и корневищами растений.

*Стрелолист обыкновенный* имеет огромное кормовое значение, так как в клубеньковых образованиях его корневища накапливается большое количество крахмала. За свои высокие питательные качества один из видов стрелолиста получил у американских охотников южных штатов название «дикий картофель».

\*\*\*

Для водных объектов с минерализованной водой характерны zostера морская (*Zostera marina* L.), взморник малый (*Zostera noltii* Hornem), камыш приморский (*Schoenoplectus litoralis* (Schard.) Palla), камыш трехгранный (*Schoenoplectus triqueter* (L.) Palla), камыш Табернемонтана (*Schoenoplectus tabernaemontani* (C.G.Gmel) Palla) и другие. Хорошо выдерживают засоление и эврибионтные виды: тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.), наяда морская (*Najas marina* L.), уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.) и другие. В целом возрастание минерализации воды приводит к обеднению видового состава растений. В минерализованной воде практически не встречаются виды с плавающими листьями.

Чередование **резких понижений и повышений уровня воды** вызывает массовое появление таких видов, как горец земноводный (*Polygonum amphibium* L.), стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.).

Индикаторами **постоянного уровня воды и отсутствия течения** являются виды рода пузырчатка (*Utricularia*).

**Повышение температуры** хорошо переносят уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), валлиснерия спиральная (*Vallisneria spiralis* L.), наяда морская (*Najas marina* L.).

**Индикатором изменений температурного и гидромического режимов водоема** могут служить и макрофиты-вселенцы, например, пистия (*Pistia stratiotes* L.). Данный вид характерен для тропических рек Африки. Но в летний период в некоторых водоемах Центральной и Южной Украины наблюдалась неожиданная вспышка ее размножения в реках (Мокрая Сура, Северский Донец, Запорожское водохранилище), что объясняется высокой температурой летом, высокой минерализацией воды и высоким содержанием органических соединений в воде.

**При уменьшении pH** заросли тростников становятся более редкими, на их месте развивается болотный хвощ (*Equisetum palustre* L.), осоки (род *Carex*), манник большой (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.). При понижении pH до 6,7 начинают исчезать рдестники. Видовой состав, характер распространения, структура растительных сообществ, показатели фитомассы и площади зарастания акватории водоема выступают маркерами, которые визуально могут указать на экологическое состояние водных объектов. Наблюдение за динамикой

качественных и количественных показателей развития водной растительности позволяют определить направление трансформации водной экосистемы. Исследования необходимо проводить на акватории водоема или на его отдельном участке, используя стационарные наблюдательные пункты с четко фиксированными границами. Закладку пунктов наблюдения производят на разных по типу зарастания участках и местах контакта фитоценозов с возможностью восстановления наблюдения на данном участке и в последующие года. Подобные площадки регулярно картируются с точным нанесением границ растительных сообществ, детальным их описанием, учетом фенологических особенностей видов, количественными их измерениями с обязательной отметкой факторов природной среды. Сравнение проводят по всем параметрам, которые характеризуют группировки: по площади зарастания, по видовому составу, вертикальной и горизонтальной структуре, по продукционным характеристикам. Изменения могут носить сезонный или годовой характер, обусловленные изменением климатических условий, особенностями биоритмов растений, массовым развитием животных, которые прямо или косвенно воздействуют на них, или же антропогенным воздействием на водоем. Сезонные изменения характеризуются хаотичностью и являются обратимыми. Поэтому они рассматриваются как временное изменение структуры группировки, вызванные внешними или внутренними факторами. Для того чтобы понять, какие изменения происходят в группировках и чем именно они вызваны, необходимы долгосрочные исследования. Изменения в группировках макрофитов могут оцениваться при помощи специальных экологических индексов: число видов, независимо от

их количественной характеристики (обилия) учитывают коэффициенты Жаккара и Серенсена.

$$\text{Коэффициент Жаккара: } K = \frac{c}{a+b-c} .$$

$$\text{Коэффициент Серенсена: } K = \frac{2c}{a+b} ,$$

где  $K$  – коэффициент видового сходства,  $a$ ,  $b$  – число видов в сравниваемых участках,  $c$  – количество общих видов.

Таким образом, высшая водная растительность является более консервативным показателем состава и качества вод по сравнению с другими элементами водной экосистемы, что связано с большей ее устойчивостью к антропогенному воздействию, и это свойство консервативности может служить биоиндикатором. Степень и характер зарастания водоема, флористический состав, развитие, величина фитомассы и продукции макрофитов могут свидетельствовать о степени трофности водоема, а изменения этих показателей – о протекании процесса трансформации его экосистемы, на что должно быть обращено серьезное внимание.

## **2. Описание прибрежных обрастаний**

Прибрежное обрастание – лучший индикатор опасных загрязнений в предварительной оценке качества воды в водоеме. Прибрежное обрастание располагается на поверхности предметов у кромки воды и может иметь различный цвет и консистенцию:

*чистые* водоемы – ярко-зелёный или буроватый;

*загрязнённые* – белые хлопьевидные;

*при избытке органических соединений и повышении общей минерализации* – сине-зелёный (за счёт цианобактерий);

*при плохой очистке фекально-бытовых сточных вод – белые или сероватые (за счёт большого количества прикреплённых инфузорий);*

*избыток сернистых соединений – хлопьевидный налёт из нитчатых серобактерий.*



### **Подумайте и ответьте**

1. Что такое биотический индекс?
2. Какие растения относятся к макрофитам?
3. Какую роль играют макрофиты в самоочищении водоема?
4. Почему ряску считают отменным кормом для домашних животных?
5. Какие растения-индикаторы используются для установления минерализации воды?
6. Какие растения переносят повышение температуры воды в реках и озерах?
7. О чем может сказать описание прибрежных обрастаний?
8. Что такое «цветение» воды?
9. Какие животные и растения относятся к слабоустойчивым организмам, приспособившимся к жизни в относительно чистых водоемах?
10. Какие животные наиболее устойчивы к токсическим веществам?



### Задание

Используя таблицу «Индивидуальные коэффициенты беспозвоночных животных», материал по оценке качества воды рек, озер по биотическому индексу заполните таблицу 11.

Таблица 11

### Оценка качества водной среды на основе биотического индекса

№ п/п	Название организмов – показателей чистоты	Название организмов и других параметров, свидетельствующих о загрязнении водоема
1	<i>Пример:</i> Речной рак – 10	Массовое размножение ряски – много органических веществ в водоеме
2		
3		
4		
5		

## 2.6. Индивидуальное задание

Задание:

1. Изучите материал по биоиндикации рекреационной нагрузки.

Рекреация – место отдыха человека, обычно это парки, леса, водоёмы. Рекреационная нагрузка тем выше, чем:

а) выше плотность населения и;

б) меньше естественных привлекательных для отдыха ландшафтов. Особенно велика рекреационная нагрузка неорганизованного отдыха при использовании резко возросшего числа личного автотранспорта.

Основной прием учета рекреационной нагрузки – регистрация последовательных этапов разрушения растительности (аналог учёта стадий пастбищной дигрессии): от совершенно здорового древостоя до полной гибели древесного яруса и отсутствия напочвенного покрова (в первую очередь исчезают эпигейные лишайники и мхи).

Стадии дигрессии лучше и быстрее всего оцениваются на открытой местности, а также в лесных насаждениях путём определения процента деградированных участков или площади, занимаемой дорогами и тропами (так наз. дорожно-тропическая сеть – ДТС). В этом случае выделяют 5 основных стадий дигрессии (по Е.Н. Шелуховой, 1994):

*1 стадия.* ДТС выражена слабо, значительных изменений растительности по сравнению с контрольным участком, не посещаемым людьми совсем или только случайно, не обнаруживается.

*2 стадия.* ДТС занимает 5–10%.

*3 стадия.* ДТС занимает 20–30%.

*4 стадия.* ДТС занимает около 50%; происходит исчезновение лесных травянистых видов – уменьшается ПП, отмечается внедрение луговых и сорных видов.

*5 стадия.* ДТС занимает около 90%, преобладает луговая и сорная растительность.

Важными признаками при оценке стадии рекреации являются также:

1) соотношение лесных (теневыносливых растений: зеленчук, медуница, копытень, вороний глаз и др.), луговых (осоки, сныть, щучка и др.) и сорных (мятлик однолетний, клевер ползучий вплоть до амброзии и подорожника) видов;

2) общее снижение видового разнообразия при сильном и постоянном нарушении (на пограничных участках или в начальной стадии нарушений – наоборот, увеличение за счёт встречи на одном участке разных фитоценотивов);

3) общее состояние древесных растений – разреженность, суховершинность, плохое ветвление или облиствение, заломы, сбитости коры и т.п.

*2. Определите стадию рекреационной дигрессии. Для этого необходимо взять измерительную ленту, определитель растений и гербарий.*

#### *Ход работы*

1. Выбрать опытные и контрольный участки в местах отдыха населения.

2. Сделать их общее описание: местообитание, площадь, характер использования и др. особенности.

3. Вычислить площадь ДТС в %:

– при небольшом участке можно определить глазомерно аналогично ПП;

– при большом участке выделить наиболее репрезентативную площадку и с помощью шагов или мерной ленты определить общую площадь ( $S_0$ ) участка и участков ДТС (тропинки, асфальтированные дорожки, вытопанные площадки и т.п.).

4. Определить индекс ДТС ( $S_{дтс}$ ), разделив  $S_{дтс}$  на  $S_0$  и умножив на 100, т.е. узнать соотношение площадей нарушенных и ненарушенных участков:

$$S_{дтс} = \frac{S_{дтс}}{S_0} * 100 .$$

5. По значению ДТС (%) дополнительным признаком (см. выше) указать стадию рекреационной дигрессии каждого участка.

б. Сделать вывод и возможный прогноз с рекомендациями.

## **2.7. ТЕСТИРУЕМ СЕБЯ**

### **1. Биоиндикация – это:**

- а) изучение влияния человека на экосистемы;
- б) индикация абиотических и биотических факторов;
- в) выявление изменений окружающей среды при воздействии радиоактивного излучения;
- г) выявление изменений окружающей среды при возведении промышленного комплекса.

### **2. Биоиндикаторы – это:**

- а) живые организмы, обитающие в районах техногенного загрязнения;
- б) живые организмы, изменяющиеся морфологически в условиях техногенного загрязнения;
- в) живые организмы, реагирующие на изменение сапробности воды;

г) живые организмы, используемые для выявления загрязнения окружающей среды.

**3. Самый лучший метод очистки воды от загрязнения органическими веществами:**

- а) механический;
- б) химический;
- в) биологический;
- г) физический.

**4. Биологический метод очистки воды от загрязнения основан на использовании:**

- а) рыб;
- б) растений;
- в) микроорганизмов;
- г) торфа.

**5. Биоиндикационные исследования нельзя проводить на уровнях:**

- а) субклеточном;
- б) клеточном;
- в) видовом;
- г) межвидовом.

**6. Воды рек обновляются через:**

- а) сутки;
- б) месяц;
- в) 10–12 суток;
- г) год.

**7. Особенности состояния популяции определяют также её показатели как:**

- а) возрастной спектр;
- б) устойчивость;
- в) индекс численности;
- г) инерционность популяционной системы.

**8. Живые системы считаются открытыми потому, что они:**

- а) построены из тех же химических элементов, что и неживые;
- б) обмениваются веществом, энергией и информацией с внешней средой;
- в) обладают способностью к адаптациям;
- г) способны размножаться.

**9. Массовая гибель рыбы при разливе нефти в водоемах связана с уменьшением в воде:**

- а) световой энергии;
- б) кислорода;
- в) углекислого газа;
- г) солености.

**10. За какое время разлагается половина пролитой в море нефти:**

- а) за неделю;
- б) за месяц;
- в) за год;
- г) за десять лет.

**11. Гомеостаз – это:**

- а) защита организма от антигенов;

- б) поддержание относительного постоянства внутренней среды организма;
- в) смена биологических ритмов;
- г) смена биоценозов.

**12. Основная задача биоиндикации:**

- а) разработка системы контроля за состоянием окружающей среды;
- б) разработка методов и критериев, адекватно отражающая уровень антропогенных воздействий с учётом характера загрязнения;
- в) разработка системы наблюдений за состоянием окружающей среды;
- г) выявление характера воздействия внешних факторов на живые организмы.

**13. Использование методов биоиндикации позволяет решать задачи:**

- а) экологического мониторинга;
- б) фенологического мониторинга;
- в) географического мониторинга;
- г) антропогенного мониторинга.

**14. Термин «экология» предложен Эрнстом Геккелем в:**

- а) 1900 г.;
- б) 1866 г.;
- в) 1953 г.;
- г) 1859 г.

**15. Для защиты окружающей среды от загрязнения:**

- а) создают заповедники;
- б) охраняют отдельные природные сообщества;

- в) ограничивают добычу биологических ресурсов;
- г) внедряют малоотходные и безотходные технологии.

**16. Организмы, способные жить в узком диапазоне экологической валентности:**

- а) эвритопные;
- б) космополиты;
- в) стенотопные;
- г) полукосмополиты.

**17. Косвенно действующий экологический фактор – это:**

- а) рельеф;
- б) температура;
- в) свет;
- г) вода.

**18. Учение о лимитирующих факторах разработал:**

- а) В.Н. Сукачев;
- б) Ю. Либих;
- в) В.И. Вернадский;
- г) Э. Зюсс.

**19. Растения, произрастающие на умеренно увлажненных лугах:**

- а) ксерофиты;
- б) гигрофиты;
- в) гидрофиты;
- г) мезофиты.

**20. Пустынные кактусы относятся к группе:**

- а) суккулентов;

- б) склерофитов;
- в) сциофитов;
- г) гигрофитов.

**21. Четыре «закона», обязательные для рационального природопользования, предложил:**

- а) Ч. Дарвин;
- б) К. Линней;
- в) К. Мальтус;
- г) Б. Коммонер.

**22. Свет, температура, влажность, давление относятся к факторам:**

- а) биотическим;
- б) абиотическим;
- в) антропогенным;
- г) экзогенным.

**23. Абиотические факторы определяются:**

- а) элементами неживой природы;
- б) физическими факторами;
- в) химическим составом;
- г) солнечной энергией.

**24. Диоксид серы приводит у растений к:**

- а) снижению интенсивности фотосинтеза;
- б) снижению урожайности;
- в) снижению транспорта органических веществ;
- г) повышению урожайности.

**25. Потеря тургора, появление светло-желтых и бурочерных пятен ожогов в середине листовой пластинки свидетельствуют о поражении растения:**

- а) сернистым ангидридом;
- б) сероводородом;
- в) озоном;
- г) углекислым газом.

**26. Понятие «индустриальный меланизм» означает:**

- а) усиленное образование и отложение на коже, сетчатке глаза и других органах меланинов;
- б) преимущественное распространение темноокрашенных особей у какого-либо вида организмов;
- в) изменение окраски особей при антропогенном воздействии на более светлую;
- г) изменение окраски особей при антропогенном воздействии на красную.

**27. К макроскопическим изменениям организмов, имеющим значение в биоиндикации, относят:**

- а) изменение окраски листьев;
- б) изменение структуры клеток;
- в) изменение числа «хлоридных» клеток;
- г) изменение химического состава клеток.

**28. Хронограмма – это:**

- а) список мест проявления стрессоров и их частот;
- б) список поведенческих реакций, их взаимосвязей и частот;
- в) список событий и их продолжительность;
- г) список времени проявления стрессоров и их частот.

**29. Лучшим из популяционных характеристик для оценки воздействия антропогенных стрессоров считается:**

- а) продуктивность;
- б) плотность популяции;
- в) возрастная структура;
- г) половая структура.

**30. Отрицательное влияние на популяции вирусов в почве оказывает:**

- а) избыток влаги;
- б) дефицит влаги;
- в) прямое действие видимого света;
- г) низкая температура.

**31. Вид, не требующий строго определенных условий существования, называется:**

- а) эндемик;
- б) стенобионт;
- в) эврибионт;
- г) реликт.

**32. «Кресс-салатный» тест проводят для выявления загрязнения почвы:**

- а) тяжелыми металлами;
- б) известью;
- в) нефтепродуктами;
- г) солью.

**33. Тест помутнения воды по Гертелю направлен на выявление в воздухе:**

- а) SO<sub>2</sub>;
- б) NO<sub>2</sub>;

- в)  $\text{NH}_3$ ;
- г) фреонов.

**34. Какой признак растения исследуется в «кресс-салатном» тесте:**

- а) всхожесть семян;
- б) длина корней;
- в) продуктивность;
- г) урожай.

**35. Что такое тест-реакция:**

- а) изменения какого-либо показателя тест-объекта под воздействием токсикантов;
- б) количественное выражение токсичности среды;
- в) характеристика состояния тест-объекта;
- г) значение тест-параметра.

**36. При активном мониторинге исследуются:**

- а) видимые повреждения тканей;
- б) невидимые повреждения тканей;
- в) пути и места скопления токсикантов;
- г) тест-параметры.

**37. Биоиндикаторами на смог являются:**

- а) мак, роза, мальвовые;
- б) смолевка, лиственница;
- в) бобы, томаты, бегония;
- г) яблоня, слива.

**38. Гладиолусы, фрезия, абрикос, ель, сосна, бук, нарцисс, рододендрон являются индикаторами на:**

- а) медь;
- б) фтор;
- в) цинк;
- г) кобальт.

**39. Смолевка, приобретая карликовую форму и мелкие, невзрачные цветки, темно-красную окраску листьев свидетельствует о загрязнении окружающей среды:**

- а) кобальтом;
- б) никелем;
- в) свинцом;
- г) марганцем.

**40. К загрязнению озоном сильно чувствительным является:**

- а) фасоль;
- б) томат;
- в) табак;
- г) пшеница.

**41. Лишайники являются биоиндикаторами на:**

- а) Zn;
- б) CO;
- в) SO<sub>2</sub>;
- г) NO<sub>2</sub>.

**42. У каких растений под действием фтора при повышенных концентрациях отмирают верхние части листьев:**

- а) гладиолуса;
- б) мака;

- в) орхидеи;
- г) розы.

**43. При воздействии озона на фасоль происходит:**

- а) образование пятен на листьях;
- б) изменение окраски листьев;
- в) искривление растений;
- г) опадение листьев.

**44. Биоиндикатором на радиоактивные вещества является:**

- а) водоросли;
- б) табак;
- в) фасоль;
- г) соя.

**45. Среди высших растений наиболее чувствительными к загрязнению воздуха являются:**

- а) мхи;
- б) папоротники;
- в) цветковые растения;
- г) голосеменные.

**46. Какие лишайники исчезают первыми при загрязнении воздуха:**

- а) корковые;
- б) листоватые;
- в) кустистые;
- г) нитчатые.

**47. Степень поражения хвойных насаждений диоксидом серы можно определить методом:**

- а) учета продолжительности жизни хвоинок;
- б) измерения площади некрозов на хвоинках;
- в) изучения характера расположения некрозов на хвоинках;
- г) изучения прироста побегов.

**48. Наличие этого вида свидетельствует о загрязненной воде:**

- а) трубочника;
- б) ностока;
- в) личинки мухи-журчалки;
- г) осциллятории.

## **2.8. Термины, понятия и определения**

**Абсорбция** (от лат. absorbeo – поглощение, всасывание) – процесс поглощения веществ из растворов или газов поверхностным слоем жидкости или твердого тела. Абсорбция используется при очистке сточных вод и газовых выбросов.

**Автотрофы** (от греч. autos – сам и trophe – пища, питание) – организмы, способные синтезировать необходимые для жизни органические вещества, используя в качестве источника углерода углекислый газ или органические вещества (угле-

воды, жиры, белки и т.д.). Автотрофами являются зеленые растения, фото- и хемотрофные бактерии. Автотрофы – первичные продуценты органического вещества в биосфере.

**Автохтоны** (от греч. autos – сам и chthon – земля) – организмы, со времени своего становления обитающие в данной местности.

**Адаптация** (позднелат. adaptation от лат adapto – приспособление) – процесс выработки морфофизиологических, поведенческих, популяционных и других особенностей вида, обеспечивающих возможность специфического образа жизни организмов (особей, популяций) в определенных условиях среды. Адаптации бывают морфологические (изменения в строении организмов), физиологические (изменения в физиологии организмов) и этологические (изменения в поведении организмов).

**Активный ил** – ил, образующийся при биологической очистке сточных вод в аэротенках, аккумулирующий в себе большое количество микроорганизмов и, вследствие этого, интенсивно окисляющий органические вещества.

**Аллохтоны** (от греч. allos – другой, иной и chthon – земля) – организмы, появившиеся в данной местности в результате расселения.

**Анаэробы** (от греч. an – отрицательная частица, aeg – воздух и bios – жизнь) – организмы, способные жить и развиваться при отсутствии в среде свободного кислорода. Анаэробы бывают облигатные (неспособные жить в кислородной среде) и факультативные (способные жить как в присутствии кислорода, так и без него).

**Антропогенное воздействие** – прямое или косвенное влияние человеческого общества на окружающую среду, приводящее к ее точечным, локальным или глобальным изменениям.

**Антропогенные стрессоры** – факторы среды, обязанные своим происхождением человеческой деятельности и оказывающие стрессовое воздействие на организмы.

**Антропогенные факторы** (от греч. anthropos – человек, genesis – происхождение, возникновение и лат. factor – делающий, производящий) – факторы среды, обязанные своим происхождением человеческой деятельности и оказывающие определенное воздействие на организмы.

**Ареал** (от лат. area – площадь, пространство) – часть земной поверхности (территории или акватории), в пределах которой распространен и проходит полный цикл своего развития таксон или синтаксон.

**Аэробы** (от греч. aer – воздух и bios – жизнь) – организмы, способные жить только при наличии в среде свободного кислорода, который они используют в качестве окислителя (все растения, большинство животных и грибов, некоторые микроорганизмы).

**Аэротенк** (от греч. aer – воздух и tank – резервуар) – сооружение в виде проточного резервуара для биологической очистки сточных вод от органических веществ путем окисления их микроорганизмами, находящимися в аэрируемом слое.

**Биоаккумуляция** (от греч. bios – жизнь и лат. accumulation – накопление, собирание в кучу) – накопление в

организме загрязняющих веществ, поступающих из окружающей среды, через легкие, кожу и пищеварительный тракт.

**Биогеоценоз** (от греч. bios – жизнь, ge – земля и koinos – общий) – природный взаимообусловленный комплекс живых (биоценоз) и косных (биотоп) компонентов, объединенных обменом веществ и потоком энергии.

**Биоиндикаторы** (от греч. bios – жизнь и лат. indico – указывать, определять) – биосистемы, по наличию, состоянию и поведению которых можно судить об изменениях в окружающей среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей.

**Биоиндикация** (от греч. bios – жизнь и лат. indico – указывать, определять) – методы оценки качества окружающей среды с помощью фактической реакции биосистем на то или иное природное или антропогенное воздействие.

**Биоиндикация вторичная** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по второй и последующим реакциям биосистемы, на воздействие того или иного фактора среды.

**Биоиндикация косвенная** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по реакции какого-либо элемента биосистемы, при осуществлении воздействия на другой ее элемент.

**Биоиндикация неспецифическая** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по одной и той же реакции биосистемы, вызываемой различными факторами среды.

**Биоиндикация первичная** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по первой реакции биосистемы, на воздействие того или иного фактора среды.

**Биоиндикация прямая** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по реакции биосистемы или ее элемента на непосредственное воздействие фактора.

**Биоиндикация специфическая** – биоиндикация, при которой определяется качество среды по реакции биосистемы, вызываемой определенным фактором среды.

**Биологическая очистка воды** – метод очистки бытовых и промышленных сточных вод, основанный на способности организмов (главным образом бактерий) к разрушению (минерализации) загрязнений органического происхождения. Биологическая очистка вод может протекать с участием кислорода воздуха (аэробная) и без доступа кислорода (анаэробная).

**Биологическая продуктивность** – способность природных сообществ или их компонентов поддерживать определенную скорость воспроизводства биомассы входящих в их состав организмов. Мерой биологической продуктивности служит прирост биомассы в сообществе, созданный за единицу времени.

**Биологические ритмы** – циклические колебания интенсивности и характера биологических процессов и явлений. Они присущи всем организмам и отмечаются на всех уровнях организации биосистем: от внутриклеточных до биосферных. Например, ритмичность в делении клеток, синтезе ДНК и РНК, секреции гормонов; фотонастии, осенний листопад, сезонное одревеснение зимующих побегов, сезонные миграции птиц и млекопитающих, зимняя спячка животных, колебания численности популяций и т.д.

**Биологические системы** – биологические объекты различного уровня организации и сложности (клетки, ткани, органы, системы органов, организмы, популяции, биоценозы, биомы и биота).

**Биологическое потребление кислорода (БПК)** – показатель загрязненности воды органическими веществами: количество кислорода (в мг/л), потребляемое при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях.

**Биологическое самоочищение** – способность биоценозов ликвидировать присутствие загрязняющих веществ в экосистеме в процессе жизнедеятельности организмов.

**Биосенсоры** (от греч. bios – жизнь и лат. sensus – восприятие, чувство, ощущение) – ферменты или микроорганизмы, дающие специфическую реакцию на определенный тип загрязнителя в воде. Биосенсоры используются в анализирующих устройствах для быстрого определения БПК, выявления полихлорбифенилов, производных ДДТ, ароматических углеводов и других веществ. При авариях, связанных с выбросом таких соединений в окружающую среду, биосенсоры включают автоматизированную систему реагирования, выявляющую их присутствие.

**Биотестирование** (от греч. bios – жизнь и от англ. Test – проба, испытание, исследование) – метод оценки загрязненности среды в контролируемых условиях, основанный на учете реакций организмов, чувствительных к конкретным химическим примесям.

**Биофильтр** (от греч. bios – жизнь и франц. filter – фильтр) – устройство для биологической очистки сточных вод.

**Биоценоз** (от греч. bios – жизнь и koinos – общий) – сообщество видов растений, животных, грибов и бактерий, связанных прямыми или косвенными взаимоотношениями в пределах биотопа.

**Быстрая эволюция** – быстрый отбор (за один или несколько вегетационных периодов), устойчивых к антропогенным стрессорам экотипов видов, что обычно ведет к обеднению их популяций и сильному сужению спектра изменчивости (например, устойчивые к гербицидам, тяжелым металлам, мышьяку и другим стрессорам экотипы многих видов).

**Вирусы** (от лат. virus – яд) – доклеточные формы жизни, являющиеся облигатными внутриклеточными паразитами.

**Водоросли (Algae)** – сборная группа низших, обычно водных растений (зеленые, бурые, красные, диатомовые, желто-зеленые, харовые водоросли и др.).

**Воздух** – смесь газов (в основном азота и кислорода), составляющая земную атмосферу.

**Возрастная структура популяции** – процентное соотношение в популяции особей разных возрастных групп.

**Газоустойчивость** – устойчивость растений к повышению концентрации вредных для них газов (сероводород, оксиды азота, углерода, серы и др.) в воздухе.

**Грибы (Mycota)** – одно из царств эукариот (100 тыс. видов), представители которого сочетают признаки растений (неподвижность, неограниченный верхушечный рост, способность к синтезу витаминов, наличие клеточных стенок) и животных (гетеротрофный тип питания, наличие хитина в клеточной стенке, запасного углевода гликогена, образование мочевины,

структура цитохромов), а также характеризуются особым циклом развития (смена ядерных фаз, наличие дикарионов, гетерокариоза, парасексуального процесса).

**Гумус** (от лат. humus – земля, почва) – основная часть органического вещества почвы, полностью утратившая черты анатомического строения; образуется в результате гумификации продуктов разложения органических остатков; состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гумина и ульмина.

**Детрит** (от лат. detritus – истертый) – мелкие остатки организмов и их выделений, осевшие на дно водоема или взвешенные в толще воды.

**Дистанция** (от лат. distantia – расстояние) – расстояние, промежуток между чем либо.

**Дробянки (Mychota)** – единственное царство в надцарстве прокариот (3–5 тыс. видов).

**Ёмкость поглощения вирусов почвой** – максимальная численность вирусов в данной почве. Ёмкость поглощения вирусов никогда в природе не реализуется, так как адсорбированные глиной и присутствующие в почвенном растворе вирусы находятся в постоянном равновесии.

**Ёмкость среды** – количественная характеристика совокупности условий среды, ограничивающих рост численности популяции.

**Животные (Animalia)** – самое крупное царство эукариот (1,5 млн видов), представители которого отличаются от растений гетеротрофным типом питания, ограниченным ростом тела, подвижностью в вегетативном состоянии, наличием хитина в клеточной стенке, запасанием гликогена, образованием мочевины, наличием структуры цитохромов.

**Индикатор** (от лат. *indico* – указываю) – физическое явление, химическое вещество или организм, наличие, количество или перемена состояния (цвета, поведения и пр.) которого указывают на характер или изменение свойств окружающей среды.

**Качество окружающей среды** – совокупность показателей, характеризующих состояние окружающей среды; степень соответствия среды жизни человека его потребностям.

**Кишечная палочка** – грамотрицательная бактерия, обитающая в кишечнике животных и человека и сбраживающая глюкозу, лактозу и другие углеводы; патогенные виды являются возбудителями кишечных заболеваний – колибактериозов. Присутствие колибактерий в исследуемых пробах воды и почвы свидетельствует об их фекальном загрязнении.

**Климакс** (от англ. *climax* – лестница) – относительно стабильное состояние сообщества, возникающее в результате автогенных и аллогенных сукцессий.

**Климаксное сообщество** (от греч. *climax* – лестница) – относительно устойчивое сообщество, возникающее в процессе смены фитоценозов и находящееся в равновесии с окружающей средой.

**Коли-титр** – наименьший объем воды (в мл), содержащий одну кишечную палочку.

**Комплекс** (от лат. *complexus* – связь, сочетание) – совокупность предметов или явлений, составляющих одно целое.

**Компостирование** (от лат. *compositus* – составной) – способ обезвреживания отходов, в основном бытовых и сельскохозяйственных, заключающийся в разложении органических

веществ аэробными микроорганизмами; компост подобен гумусу и используется в качестве удобрения.

**Косвенное воздействие** – изменение окружающей среды в результате цепных реакций или вторичных явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

**Ландшафт** (нем. landschaft – общий вид местности) – крупный природно-географический комплекс, качественно отличающийся от соседствующих участков земной поверхности, ограниченный естественными границами, в пределах которого природные компоненты находятся в сложном взаимодействии.

**Ландшафт антропогенный** – ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека, в котором изменена связь природных компонентов, приведшая к сложению нового по сравнению с ранее существовавшим на этом месте природным комплексом.

**Ландшафт нарушенный** – тип антропогенного ландшафта, возникшего в результате нерационального использования природных ресурсов.

**Ландшафтная оболочка** – оболочка Земли, состоящая из особых территориальных образований – ландшафтов, представляющих собой сочетание абиотических (неживых), биотических (живой природы) и антропогенных (порожденных человеком) элементов, находящихся во взаимосвязанном и взаимообусловленном единстве.

**Лишайники** (Lichenes) – симбиотические ассоциации грибов и зеленых водорослей (или цианобактерий).

**Меланизм индустриальный** (от греч. melas – черный) – морфологическая реакция животных на антропогенное воздей-

ствие (загрязнение воздуха сажей, копотью), которая выражается в возникновении и преимущественном распространении темноокрашенных особей видов; изменение покровов животных определяется пигментами меланинами, оно наследуется и закрепляется естественным отбором, если темные формы более жизнеспособны и плодовиты.

**Микробное число** (от греч. mikros – малый, маленький) – число клеток аэробных сапрофитных организмов в 1 мл воды.

**Микроорганизмы** (от греч. mikros – малый, маленький) – мельчайшие организмы из разных царств органического мира, различимые только под микроскопом.

**Мониторинг биологический** – слежение за биологическими объектами (наличием видов, их состоянием, появлением заносных видов и т.д.).

**Неофиты** (от греч. neos – новый и phyton – растение) – заносные наземные растения, вошедшие в состав местной флоры в исторически сравнительно недавнее время и встречающиеся в естественных и искусственных ценозах.

**Отходы токсичные** – отходы, содержащие вещества, которые в случае попадания в окружающую среду представляют или могут представлять угрозу для человека в результате биоаккумуляции и (или) токсичного воздействия на биологические системы.

**Охрана окружающей среды** – деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направлен-

ная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий.

**Очистка сточных вод биологическая** – удаление растворимых органических примесей с помощью микроорганизмов активного ила, разлагающих эти вещества до неорганических соединений. На практике широко распространены аэробные процессы, протекающие в естественных условиях (на полях орошения, полях фильтрации) и искусственных сооружениях (в аэротенках, на биофильтрах). Образующийся избыток активного ила перерабатывается анаэробными методами (в метантенках) или компостированием.

**Плотность популяции** – число особей или биомасса популяции, приходящаяся на единицу площади или объема (воды, воздуха, почвы).

**Поведение** (от греч. etos – нрав, поведение) – способность животных изменять свои действия, реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов.

**Поля фильтрации** – специально обустроенная территория для биологической очистки сточных вод.

**Популяция** (позднелат. populatio от лат. populus – народ, население) – совокупность особей одного вида, занимающая, более или менее длительное время, определенное пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений.

**Почва** – это поверхностный горизонт земной коры, образующий небольшой по мощности слой, сформировавшийся в

результате взаимодействия факторов почвообразования: климата, организмов, почвообразующих пород, рельефа местности, возраста страны (времени), хозяйственной деятельности человека.

**Праймер-эффект** (от англ. primaries – первичный и лат. effectus – исполнение, действие) – форма воздействия стрессора, который вызывает изменение состояния организма, коррелирующее с продолжительностью его воздействия и влияющее на восприятие организмом других стрессоров (косвенное воздействие).

**Рекреационная нагрузка** – степень влияния отдыхающих людей на естественные природные комплексы или рекреационные объекты (например, памятники архитектуры).

**Релизер-эффект** (от лат. gealis – вещественный, осуществленный и effectus – исполнение, действие) – форма воздействия стрессора, который вызывает непосредственно полный поведенческий ответ.

**Самоочищение воды** – совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водных объектов.

**Сапробность** (от греч. sapros – гнилой) – биохимические и физиологические свойства организма, обуславливающие его способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ, поступающих в водоемы преимущественно с хозяйственно-бытовыми сточными водами.

**Сапротрофы** (от греч. sapros – гнилой и trophe – пища, питание) – гетеротрофные организмы, использующие в качестве пищи органические вещества мертвых тел или выделения (экскременты) животных. К ним принадлежат сапротрофные

бактерии, грибы, растения (сапрофиты), животные (сапрофаги). Среди них встречаются детритофаги (питаются детритом), некрофаги (питаются трупами животных), копрофаги (питаются экскрементами) и др.

**Стресс** (от англ. stress – напряжение) – совокупность адекватных ответных реакций биосистемы, возникающая под влиянием экстремальных природных и антропогенных факторов. Различают эустресс и дистресс.

**Стрессоры** – факторы среды, вызывающие состояние стресса в биосистемах.

**Стресс-реакция** – реакция биосистемы на экстремальные факторы среды.

**Структура популяции** – соотношение в популяции групп особей по полу, возрасту, размеру, генотипу, распределением особей по территории и т.д. (половая, возрастная, размерная, генетическая, пространственно-этологическая и др.).

**Сукцессия** (от лат. succession – преемственность, наследование) – последовательная смена во времени одних биоценозов другими на определенном участке земной поверхности, выраженная в изменении их видового состава и структуры. Сукцессии бывают природные – происходящие под действием естественных причин, не связанных с деятельностью человека (например, в связи с глобальными изменениями климата), и антропогенные – обусловленные деятельностью человека (например, осушение территорий, сплошные рубки леса и т.д.).

**Сукцессия аллогенная** (от греч. allos – другой и genesis – происхождение, возникновение) – сукцессия, вызываемая внешними причинами.

**Сукцессия аутогенная** (от греч. autos – сам и genesis – происхождение, возникновение) – сукцессия, возникающая вследствие внутренних причин.

**Сукцессия вторичная** – развивающаяся на месте уже существующих биоценозов в результате их нарушения после вырубки, пожара, вспашки, извержения вулкана и др.

**Сукцессия первичная** – развивающаяся на субстрате, не занятом живыми организмами (на скалах, обрывах, сыпучих песках, в новых водоемах и т.п.).

**Тест** (от англ. – проба, испытание, исследование) – в экологии пробные воздействия загрязняющих веществ на организм с целью изучения его ответной реакции.

**Тест «кресс-салатный»** – основан на снижении всхожести семян и уменьшении длины корней проростков кресс-салата при загрязнении почвы солью и выхлопными газами. Изменения неспецифичны.

**Тест «липовый»** – основан на повреждении листьев липы под действием соли, применяемой на улицах для таяния льда. На них сначала появляются ярко-желтые, неравномерно расположенные краевые зоны, затем край листа отмирает, а желтая зона продвигается к середине и к основанию листа. Недостатком теста является его ограничение во времени (только в вегетационный период).

**Тест «сосновый»** – применяется для определения содержания в воздухе диоксида серы. В качестве тест-объекта используется сосна обыкновенная. Основные параметры – прирост побегов, темные верхушечные некрозы хвоинок и их продолжительность жизни. По бонитировочной шкале определяют

класс некроза и продолжительность жизни (возраст), соответствующий определенной концентрации диоксида серы в воздухе. Преимущество метода – круглогодичность.

**Тест «табачный»** – применяется для выявления содержания озона с помощью сорта табака, специально выведенного для целей индикации (Be1W3). Уже при слабом воздействии озона через несколько дней по всей листовой пластинке образуются некротические пятна серебристого цвета.

**Тест-объект** – организм, используемый для оценки токсичности веществ, природных и сточных вод, степени загрязнения почв, донных отложений, кормов.

**Тест-реакция** – параметр организма, который измеряется при биотестировании.

**Тест-функция** – жизненная функция организма, используемая в биотестировании для характеристики отклика тест-объекта на повреждающее действие среды.

**Токсичность** – ядовитость, способность некоторых химических веществ оказывать вредное или даже летальное воздействие на организмы.

**Токсобность** (от греч. toxikon – яд) – способность водных организмов существовать в водах, содержащих токсические вещества, сорбируя или используя их.

**Толерантность** (от лат. tolerantia – терпение) – выносливость, способность организма переносить неблагоприятное воздействие факторов среды.

**Толерантный лимит** – количественное выражение концентрации токсиканта, при которой гибнет или выживает 50% тест-организмов за 48 часов опыта.

**Фенология** (от греч. phainomena – явления и logos – слово, учение) – система знаний о сезонных явлениях природы, сроках их наступления и причинах, их определяющих.

**Феромоны** (от греч. phero – несу, и hormao – привожу в движение, возбуждаю) – биологически активные вещества, выделяемые животными в окружающую среду и специфически влияющие на поведение или физиологическое состояние других особей того же вида.

**Флавоноиды** – фенольные соединения, содержащиеся в высших растениях преимущественно в виде соединений с сахарами и органическими кислотами. Многие из флавоноидов – пигменты, придающие окраску различным органам растений (антоцианы – красную, синюю, фиолетовую и их оттенки, флавоны, ауроны и халконы – желтую и оранжевую).

**Функциональные граничные условия** – условия среды, которые являются ориентирующими раздражителями для животных, что вызывает подготовку их завершающего поведения.

**Функциональные объекты** – объекты среды, от которых исходят раздражения, обуславливающие завершающее поведение животных.

**Циркадные ритмы** (от лат. circa – около и dies – день) – повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений с периодом от 20 до 28 часов.

**Цирканые ритмы** (от лат. circa – около и annus – год) – повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений с периодом от 10 до 13 месяцев.

**Чувствительность** (от лат. *sensus* – восприятие, чувство, ощущение) – способность организмов воспринимать действие раздражителей из внешней и внутренней среды.

**Эвтрофирование** (от греч. *eutrophia* – хорошее питание) – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов (фосфора, азота и др.) под воздействием естественных и антропогенных факторов. Негативным последствием эвтрофикации является ухудшение физико-химических условий водной среды для гидробионтов за счет массового развития фитопланктона, разложения отмерших организмов и токсичности продуктов их распада.

**Эвтрофы** – растения, требовательные к плодородию почвы, хорошо растущие на почвах, богатых гумусом и элементами минерального питания.

**Эдафические факторы** (от греч. *edaphos* – основание, почва) – свойства земной поверхности, оказывающие экологическое воздействие на ее обитателей.

**Эдификаторы** (от лат. *aedificator* – строитель) – виды, с сильно выраженной средообразующей способностью и поэтому определяющие среду всего биоценоза (как правило, это растения).

**Экологическая валентность** (пластичность, толерантность, устойчивость) – степень приспособляемости вида к изменениям условий среды; его способность переносить количественные колебания значений того или иного экологического фактора в той или иной степени.

**Экологические ритмы** – эндогенные биологические ритмы, возникшие как приспособление живых организмов к

периодическим изменениям среды (суточные, годовые, приливные, лунные и др.).

**Экосистема** (от греч. oikos – жилище, местопребывание и systema – сочетание, объединение) – совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, связанных между собой потоком энергии и круговоротом веществ, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и представляющих функциональное единство. Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским геоботаником и экологом А. Тенсли.

**Экотип** (от греч. oikos – жилище, местопребывание и typos – справочный эталон, определяющий приложение научного названия) – совокупность особей вида, приспособленных к условиям местообитания и обладающая наследуемыми признаками, обусловленными экологически.

**Экотоп** (от греч. oikos – жилище, местопребывание и topos – место) – исходный комплекс абиотических факторов среды, позволяющий развиваться биоценозу.

**Эксплеренты** (от лат. explere – выполняющий) – выполняющие виды, для которых характерна низкая конкурентная мощность, но они способны благодаря короткому жизненному циклу, высокой скорости размножения и большому числу зачатков быстро заполнять свободные экологические ниши (однолетники пустынь, эфемеры степей, эфемероиды лесов, рудеральные растения, приспособленные к жизни в условиях нарушений, например, на вырубках, гарях, отмелях и т.д.).

**Эмерджентность** (от лат. *emergo* – появляюсь, возникаю) – наличие у системы особых, качественно новых свойств, не присущих ее частям.

**Эндемики** (от греч. *endemos* – местный) – виды и другие таксоны растений и животных, ограниченные в своем распространении относительно небольшой географической областью (часто встречаются на островах океанического происхождения, в горных районах и изолированных водоемах).

**Эндогенные ритмы** (от греч. *endon* – внутри, *genesis* – происхождение, возникновение, *rhythmos* – чередование) – внутренние биологические ритмы, генерируемые самим организмом (ритмичность синтеза ДНК, РНК и белков, деление клеток, биения сердца, дыхание и т.д.).

**Эпигейные лишайники** (от греч. *epi* – на, над, сверх, при, после и *ge* – Земля) – наземные виды лишайников.

**Эпифиты** (от греч. *epi* – на, над, сверх, при, после и *phyton* – растение) – растения, поселяющиеся на других растениях (главным образом на ветвях и стволах деревьев) и получающие питательные вещества из воздуха.

**Этология** (от греч. *ethos* – характер, нрав и *logos* – слово, учение) – наука об особенностях поведения животных.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высших учеб. заведений / под. ред. О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева. – 3-е изд., стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-7033-9. – Текст: непосредственный.

2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для вузов / ред. О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева. – 2-е изд. испр. – Москва: Академия, 2008. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-5594-7. – Текст: непосредственный.

3. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / ред. Р. Шуберта; с нем. Г.И. Лойдина, В.А. Турчанинова; ред. Д.А. Криволуцкий. – Москва: Мир, 1988. – 348 с. – ISBN 5-03-000016-X (В пер.). – Текст: непосредственный.

4. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / Т.Я. Ашихмина [и др.]. – Москва: Академический Проект, Альма Матер, 2016. – 416 с. – ISBN 978-5-8291-2505-9. – Текст: непосредственный.

5. Латышенко, К.П. Экологический мониторинг: Часть I: лабораторный практикум / К.П. Латышенко; Московский гос. ун-т инж. экологии. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Моск. гос. ун-т инж. экологии, 2008. – 132 с. – ISBN 5-9513-0009-6. – Текст: непосредственный.

6. Латышенко, К.П. Экологический мониторинг. Часть II: лабораторный практикум / К.П. Латышенко; Московский гос. ун-т инж. экологии. – Москва: Моск. гос. ун-т инж. экологии, 2008. – 107 с. – ISBN 978-5-9513-0153-6. – Текст: непосредственный.

7. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / К.П. Латышенко. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 381 с. – ISBN 978-5-534-01328-3. – Текст: электронный.

8. Мотузова, Г.В. Экологический мониторинг почв: учебник для студентов высших учебных заведений / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – Москва: Гаудеамус: Академический Проект, 2007. – 237 с. – ISBN 978-5-8291-0913-4. – Текст: непосредственный.

9. Муравьев, А.Г. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство / А.Г. Муравьев, Б.Б. Карьев, А.Р. Ляндзберг / под ред. А.Г. Муравьева. – Санкт-Петербург: «Крисмас+», 2000. – 164 с. – ISBN 5-89495-029-5. – Текст: непосредственный.

10. Тюмасева, З.И. Оздоровление человека природы: учеб. пособие для студ. пед. вузов небиологических специальностей, изучающих дисциплины эколого-биологического и медицинского циклов / З.И. Тюмасева. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2013. – 277 с. – ISBN 978-5-85716-958-2. – Текст: непосредственный.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### *РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ ВЫСОКОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ*



**Сныть**



**Чистотел**



**Копытень европейский**



**Кислица обыкновенная**



**Таволга вязолистная**



**Иван-чай**

**РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ УМЕРЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ**



**Майник двулистный**



**Медуница лекарственная**



**Грушанка**



**Гравилат речной**



**Овсяница луговая**



**Купальница европейская**

***РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ НИЗКОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ***



**Сфагнум мох**



**Лишайник**



**Кошачьи лапки (бессмертник)**



**Клюква**



**Ситник нитевидный**



**Мятлик луговой**



**Ежа сборная**

***Макрофиты водоемов***



**Тростник обыкновенный**



**Камыш озерный**



**Рогоз широколистный**



**Ежеголовка ветвистая**



**Манник водяной (большой)**

**РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ ВОДОЕМОВ**



**Кувшинка белая**



**Кубышка желтая**



**Телорез**



**Ольха черная**



**Рдест**



**Элодея**



**Уруть**



**Водокрас**



**Ива козья**

**РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ**

***Ацидофилы***



**Плаун булавовидный**



**Щучка дернистая**



**Багульник**



**Лютик ядовитый**

***НЕЙТРОФИЛЫ***



**Клубника зеленая**



**Лисохвост луговой**



**Цикорий**



**Мыльнянка лекарственная**

*Базифилы*



**Бузина сибирская**



**Вяз шершавый**



**Бересклет бородавчатый**

**ЖИВОТНЫЕ-ИНДИКАТОРЫ ВОДОЕМОВ**



**Жаброног обыкновенный**



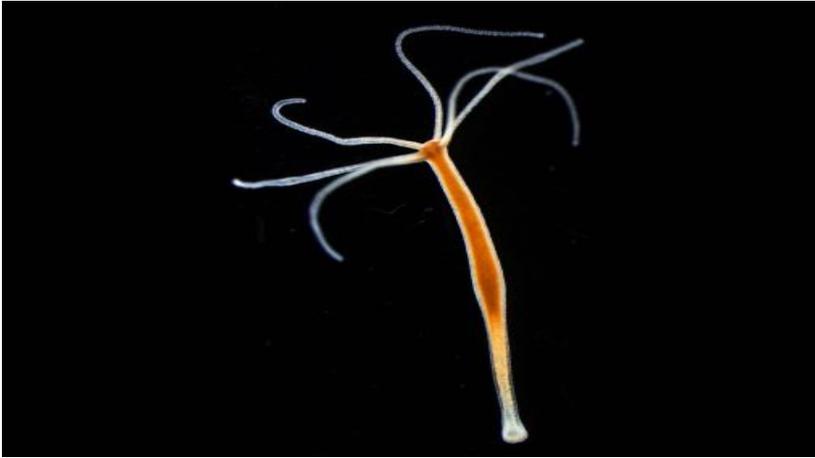
**Речной рак**



**Перловица**



**Пиявка медицинская**



**Гидра**

**БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ ЖИВОТНЫЕ  
С НИЗКИМ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ**



**Личинки мух-журчалок «крыски»**



**Личинки комара-звонца**



**Водяной ослик**



**Катушка**



**Личинки стрекоз-коромысел**



**Прудовик обыкновенный**

**Учебное издание**

***Дарья Вячеславовна Натарова***

***Зоя Ивановна Тюмасева***

**БИОМОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

*Учебно-практическое пособие*

**ISBN 978-5-907409-62-2**

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ

Протокол № 23, 2021г.

Издательство ЮУрГГПУ

454080 г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Е.М. Сапегина

Технический редактор Н.А. Усова

Подписано в печать 9.08. 2021

Объем 3 уч.-изд. л. (7,93 усл. п.л.)

Формат 60\*84 1/16

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГГПУ

454080 г. Челябинск, пр. Ленина, 69