

**Н.Н. НАЗАРЕНКО, М.Ю. МОСИЕНКО**

**БИОИНДИКАЦИЯ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Н.Н. НАЗАРЕНКО, М.Ю. МОСИЕНКО**

# **БИОИНДИКАЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Челябинск

2019

УДК 577 (021)

ББК 28.08я73

Н 19

Назаренко, Н.Н. Биоиндикация окружающей среды [Текст]: учебно-практическое пособие / Н.Н. Назаренко, М.Ю. Мосиенко. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2019. – 115 с.

ISBN 978-5-907210-03-5

Пособие содержит основные теоретические положения биоиндикации состояния окружающей среды. В нем приведены базовые понятия и методики биоиндикации и биотестирования параметров окружающей среды, важнейшие термины и определения. При описании работ приводятся краткие теоретические сведения о методах исследования, указания по выполнению лабораторных работ и анализу полученных результатов, список рекомендуемой литературы. Пособие предназначено для студентов-бакалавров биологического и экологического направления.

Знания по теории и практике методов биоиндикации необходимы для последующего изучения дисциплин профильной направленности (мониторинга окружающей среды, глобальной экологии, общей экологии), а также будут востребованы при выполнении курсовых и квалификационных работ.

Рецензенты:

Дерхо М.А., д-р биол. наук, профессор

Шталева Н.Р., канд. пед. наук, доцент

ISBN 978-5-907210-03-5

© Н.Н. Назаренко, М.Ю. Мосиенко, 2019

© Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОИНДИКАЦИИ</b>	<b>8</b>
<b>КЛАССИФИКАЦИЯ БИОИНДЕКАТОРОВ</b>	<b>17</b>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1</b>	
ФИТОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И СОСТОЯНИЮ ДРЕВЕСНО- КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ .....	24
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМУ .....	28
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОСАДКОВ. БИОТЕСТИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА .....	31
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ .....	35
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАСТЕНИЙ .....	44
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО СОСТОЯНИЮ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ .....	47

<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО СТРОЕНИЮ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОДУВАНЧИКА .....	54
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ .....	57
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9</b>	
ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ .....	60
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10</b>	
ФИТОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ .....	66
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11</b>	
ФИТОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ВСТРЕЧАЕМОСТИ ФЕНОВ КЛЕВЕРА .....	72
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12</b>	
ЗООИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ПОПУЛЯЦИИ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ .....	77
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ЛИШАЙНИКОВ .....	81
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14</b>	
БИОИНДИКАЦИЯ ТОКСИЧНОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ДАФНИЙ .....	86
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....</b>	91
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	95
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	99

## ВВЕДЕНИЕ

---

Современное беспрецедентное давление человечества на окружающую среду требует оперативной оценки экологической обстановки. Однако на пути ее реализации стоит несколько серьезных препятствий.

Во-первых, экологические системы – крайне сложные, а наши знания взаимодействий и зависимостей между их компонентами пока еще недостаточные для точных оценок.

Во-вторых, открытость экосистем обуславливает необходимость постоянно учитывать меняющиеся внешние факторы среды.

В-третьих, разный уровень организации экосистем предполагает разные подходы для их оценки, особенно при переходах с одного уровня на другой.

В-четвертых, сложность и дороговизна инструментальных методов исследования приводит к тому, что оценки либо запаздывают к необходимому сроку принятия решения, либо экспресс-оценки вообще затруднены для широкого круга исследователей.

В-пятых, крайне сложно охватить детальными исследованиями большие регионы и обеспечить сбор материалов, обеспечивающих одновременный «срез» обстановки на достаточно больших пространствах.

В-шестых многие экологические факторы оцениваются только качественно, словесно и не имеют однозначных единиц измерения. Все это вызывает необходимость использования достаточно простых, доступных широкому кругу исследователей, но при этом информативных методов оценки состояния окружающей среды. И именно биоиндикация дает такие методы.

Биоиндикация – это оценка экологических факторов и их динамики при помощи признаков или свойств самих экологических или биологических систем. При этом методы биоиндикации достаточно легко используются при мониторинге состояния окружающей среды. Здесь необходимо отметить, что биоиндикация является одним из направлений современной экологии и базируется на экологических законах, занимаясь, по сути, проблемой оценки (диагностики) экологических факторов, а также состояния и динамики экосистем по биотическим признакам. Объектом ее являются экологические свойства и биологические признаки, а предметом – закономерности взаимоотношений этих признаков (свойств) между собой и биотическими факторами. При этом необходимо помнить, что биоиндикация отображает влияние внешних по отношению к биосистеме факторов, в том числе и антропогенных.

Различают несколько направлений биоиндикации. Во-первых, это аутидикация и сининдикация, использующие, соответственно, свойства отдельных признаков (организмов) как индикаторов и групп (совокупностей) организмов, комплекса видов как компонентов экосистемы. Во-вторых, по индикатору различают альгоиндикацию (ис-

пользование водорослей), лишеноиндикацию (лишайников), бриоиндикацию (мхов), фитоиндикацию (высших растений), дендроиндикацию (древесные растения), зооиндикацию (животных) и т.д. В соответствии с объектом исследований различают агроиндикацию (индикацию агроэкосистем), гидроиндикацию (водных факторов), лесную индикацию, индикацию климатов, галоиндикацию (засоление почвогрунтов), геоиндикацию (индикацию горных пород, минералов и других геологических объектов) и др.

Используя методы биоиндикации, необходимо помнить, что, несмотря на оперативность получения данных и техническую простоту, точность оценки не всегда соответствует точности инструментальных методов. Поэтому методы биоиндикации ограничены в своем использовании.

Предложенное учебное пособие дает возможность будущим экологам и природопользователям закрепить знания теоретических основ экологии и получить практические навыки использования методов биоиндикации для оценки состояния окружающей среды.

Пособие предназначено для студентов биологического и экологического направлений, а также широкого круга интересующихся проблемой оценки состояния окружающей среды.



## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОИНДИКАЦИИ

---

В связи с активным развитием методов экологических исследований, в частности мониторинга состояния окружающей среды, биоиндикационные исследования приобретают большую значимость при оценке абиотических, биотических и антропогенных факторов и биотопов.

В чем же причина широкого применения биоиндикации?

Во-первых, экологические системы – сложный феномен, знания о котором далеко не полные, в особенности о взаимодействии между отдельными компонентами.

Во-вторых, экосистемы как системы открытого типа предполагают постоянное взаимодействие с окружающей их средой, и точно учитывать эту внешнюю составляющую достаточно тяжело.

В-третьих, иерархический характер структуры экосистем приводит к тому, что изменение масштабов исследования сопряжено с эмерджентной, качественной сменой свойств экосистемы, которые тяжело учитывать и прогнозировать.

В-четвертых, очень сложно учитывать скачкообразные изменения экосистем, выходящих за пределы динамического равновесия в результате воздействия факторов внешней среды.

При этом существующие методы исследования экосистем характеризуются рядом недостатков, таких как:

1. Прямые инструментальные методы исследования часто очень трудоемкие, дорогие и недостаточно обеспечены соответствующими приборами, которые могли бы давать возможность получать экспресс-данные непосредственно в полевых условиях.

2. Современные исследования не дают возможности быстро охватить достаточно большие территории и, в лучшем случае, ограничиваются отдельными мониторинговыми площадками.

3. Не всегда дают возможность получить единый временной срез или сравнимые временные данные.

4. Многие важные экологические показатели не имеют количественной оценки, а выражаются исключительно в качественных (номинальных) или ранговых шкалах, соответственно, не определяются инструментальными методами.

В результате чего возникла необходимость в поиске методов, которые могли бы оценивать экосистемы комплексно, достаточно оперативно и при этом работали на приемлемом уровне точности и использовали характеристики самих экосистем.

Биоиндикация – оценка состояния окружающей среды, экологических факторов и их динамики при помощи признаков и свойств самих экосистем, их биоты. Биоиндикация изучает теоретические основы и практические способы использования организмов для оценки условий среды. Также биоиндикацию можно определить как: раздел

экологии, который занимается оценкой экологических факторов по биологическим признакам; науку, изучающую зависимость между биотическими признаками и состоянием экосистем в целом и их составляющих; науку, которая занимается диагностикой состояния экосистем по показателям биотических признаков и свойств.

В данном случае необходимо помнить, что биоиндикация, с одной стороны – это комплекс методов оценки, включающий не только биосистемы, но и их свойства, структуру и взаимоотношения между ними, а с другой – наука, изучающая проблемы оценки экологических факторов, экосистем, их состояния и динамики по биотическим признакам.

*Объектом* биоиндикации являются экологические характеристики и биотические признаки, а *предметом* – закономерности взаимосвязей между ними.

В современной биоиндикации выделяются несколько направлений:

1. В зависимости от уровня исследуемых экосистем выделяют:

- аутбиоиндикацию – оценка выполняется по отдельным признакам или организмам;
- синбиоиндикацию – оценка выполняется по сообществам или комплексу видов.

2. В зависимости от используемых систематических групп организмов:

- альгоиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ водорослей);

- лишеноиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ лишайников);
- бриоиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ мохообразных);
- фитоиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ сосудистых растений);
- дендроиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ древесных растений);
- зооиндикацию (использование в качестве индикаторов признаков или сообществ животных).

### 3. В зависимости от направлений исследований:

- агроиндикацию (оценка природных угодий – пастбищ, сенокосов и т.д. с точки зрения сельскохозяйственного использования, а также природных условий земледелия, садоводства, виноградарства, кормопроизводства и т.п.);
- лесную индикацию (раздел лесоведения и лесной типологии, изучающий оценку лесорастительных условий и их классификацию по климатическим и почвенным факторам);
- гидроиндикацию (оценка глубины залегания и минерализованности грунтовых вод);
- геоиндикацию и биогеохимическую индикацию (оценка геологического состава и литологии залегающих близко к земной поверхности горных пород и геохимических особенностей территории и связанных с ними рудных и нерудных ископаемых);
- дендроиндикацию (оценка динамики природных условий по характеру образования годичных колец дре-

весных пород) – данная группа методов вместе с палиноиндикацией (спорово-пыльцевым анализом) является одним из ведущих при биоиндикации и мониторинге метеорологических и климатических параметров;

- почвенную индикацию (оценка экологических режимов почв трофности, степени, характера и глубины засоления, кислотности, режима увлажнения, содержания органических и минеральных соединений);

- инженерную биоиндикацию (оценка характера и степени техногенных нарушений, в том числе уровня загрязнения окружающей среды).

Базовыми понятиями биоиндикации являются:

1) индикатор – биологическая характеристика или признак, которая дает представление о явлениях и процессах и используется при оценке интересующего параметра окружающей среды (что показывает);

2) индикат – параметр окружающей среды, который оценивается (что определяется).

Основными требованиями к индикатору и индикату являются: во-первых, уровень точности и отклика, то есть индикатор и индикат должны между собой значимо и однозначно коррелировать; во-вторых, индикатор должен характеризоваться критическим уровнем информации или пределами, в которых он работает и дает однозначную оценку индиката, а за пределами которых оценка некорректна. В этой связи теоретическим базисом биоиндикации является оценка кривых толерантности (экологических валентностей) индикаторов, а одной из важнейших задач –

определение этих кривых для индикаторов и однозначная их привязка к оцениваемым параметрам (индикатам).

Любой процесс биоиндикации условно можно разбить на несколько этапов, которые, по сути, являются поиском ответов на следующие вопросы:

1. Что определять? Ответ обуславливает выбор объекта индикации (индиката).

2. Где определять? Ответ обуславливает выбор способа и масштаба индикации.

3. Чем определять? Ответ определяет выбор конкретного индикатора и включает поиск и доказательства однозначной связи индикатора и индиката.

4. Как определять? Ответ связан с разработкой индикационной шкалы, в которой показатели индикатора однозначно привязываются к исследуемым параметрам (показателям индиката).

5. Насколько точно определять? Ответ обуславливает определение вероятности ошибки и точности биоиндикации.

При этом исследователь в процессе ответов на вышеизложенные вопросы должен придерживаться следующих требований к методам биоиндикации:

1) во-первых, методы биоиндикации должны быть проще и доступнее соответствующих инструментальных методов исследования экосистем, выбор индикаторов и оценка могут сопровождаться сложными расчетами, но сами индикаторы должны быть максимально простыми и интуитивно понятными;

2) во-вторых, методы биоиндикации должны быть не менее информативными и наглядными, чем соответствующие инструментальные методы;

3) в-третьих, методы биоиндикации должны быть не менее оперативными, чем соответствующие инструментальные методы;

4) в-четвертых, методы биоиндикации должны использоваться на всех уровнях организации экосистем;

5) в-пятых, методика биоиндикации не должна иметь несколько толкований, должна быть достаточно стандартизированной, а также проверяемой, и при этом сопоставимой с требованиями экологического мониторинга;

6) в-шестых, результаты биоиндикации должны быть достаточно точными и достоверными (безусловно, инструментальные методы будут точнее, но простота и оперативность получения результатов методами биоиндикации должна нивелировать меньшую точность), при этом результаты биоиндикации должны быть научно обоснованными и обеспечивать возможность их экстраполяции и прогнозирования.

Существует несколько подходов к определению принципов биоиндикации. Так, на основе вышеизложенных требований Вайнерт с коллегами (1988) и Йоргенсен с коллегами (2005) предлагают использовать следующие принципы:

1. Высокая скорость оценки и легкость ее выполнения.

2. Чувствительность к колебаниям определяемых параметров и получение воспроизводимых точных результатов.

3. Достаточно высокая численность индикатора, его однородность и достаточно широкая распространенность в разных географических и экологических условиях. Т.е. индикатор не должен быть малочисленным, редко встречающимся и иметь высокую изменчивость.

4. Индикатор должен давать возможность количественной оценки исследуемого признака.

5. Диапазон ошибки биоиндикации по сравнению с другими методами не должен быть выше 20%.

При использовании зооиндикации предлагаются следующие принципы:

1. Индикатор должен иметь однозначное и хорошо изученное положение в современной биологической систематике и быть легко определяемым в полевых условиях.

2. Биология индикатора должна быть достаточно хорошо изучена (по крайней мере, по оцениваемым параметрам).

3. Индикатор должен быть численным для получения достаточной выборки и достаточно легко обнаружимым в полевых условиях.

4. В качестве индикаторов рекомендуются оседлые виды.

5. Для оценки рекомендуется несколько индикаторов, которые могут быть достаточно легко взаимозаменяемыми.



6. Индикатор должен однозначно оценивать исследуемые параметры и иметь четкую реакцию на их изменения.

7. В качестве индикаторов рекомендуются виды, имеющие достаточно высокое функциональное значение в экосистемах.

При использовании ботанических объектов как биоиндикаторов (фитоиндикация, а также альго-, лишено- и бриоиндикация) предлагаются следующие принципы выбора методики и индикаторов:

1. Фитоиндикатор должен быть простым и интуитивно понятным.

2. Методика должна быть научно валидной, не занимать много времени в полевых условиях, легко повторяться и отталкиваться от принятых ботанических описаний растительности.

3. Методика должна характеризовать не только текущее состояние окружающей среды, но и быть прогностической.

4. Индикаторы должны быть достаточно гибкими, т.е. используемыми в различных экологических и географических условиях.

5. Индикаторы должны иметь однозначный уровень применения (пространственную обусловленность) – глобальный, региональный или локальный: интерпретация индикаторов не должны выходить за рамки определенного уровня.

## КЛАССИФИКАЦИЯ БИОИНДИКАТОРОВ

---

По характеру ответной реакции индикаторы бывают:

- специфические (реагируют только на один конкретный фактор);
- неспецифические (реагируют на комплекс факторов);
- прямые (реагируют непосредственно на изменение фактора);
- косвенные (реагируют на изменение фактора, связанного с исследуемым);
- активные (реагируют на изменение исследуемого признака появлением или исчезновением);
- пассивные (реагируют на изменение исследуемого признака изменением морфологии, анатомии или физиологических процессов);
- аккумулятивные (реагируют на изменение фактора накоплением химических элементов или соединений, пластических веществ или иных продуктов жизнедеятельности);
- прогностические (указывают на направление и характер динамики экосистемы);
- диагностические (указывают на определенное состояние окружающей среды или экосистемы);

- макроскопические (ответная реакция видна невооруженным глазом);

- микроскопические.

Важной характеристикой является чувствительность индикатора, то есть степень проявления ответной реакции на изменение исследуемого признака (индиката). Чем сильнее ответная реакция, тем более чувствительным является индикатор. При этом в зависимости от времени проявления ответной реакции выделяют следующие типы – см. рис. 1:

1. Индикатор реагирует спустя некоторое время после изменения признака, реакция одноразовая резкая и максимальная, с быстрым спадом до первоначального уровня.

2. Индикатор реагирует спустя некоторое время после изменения признака, реакция резкая и максимальная, длящаяся достаточно долгое время с последующим спадом до первоначального уровня.

3. Индикатор после изменения признака реагирует резко и сразу же, реакция длится с одинаковым характером проявления в течение длительного времени.

4. Индикатор после изменения признака реагирует резко и сразу же, после чего интенсивность реакции постепенно спадает до первоначального уровня.

5. Реакция постепенно нарастает со временем, достигая максимального значения, после чего постепенно спадает до первоначального уровня.

6. Ответная реакция характеризуется колебательными изменениями с повторяющимися циклами нарастания и спада.

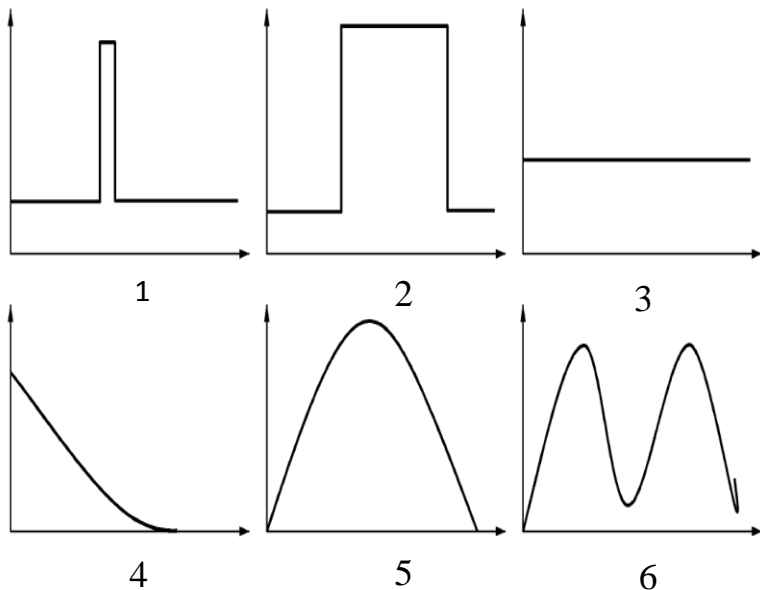


Рис. 1. Типы чувствительности индикаторов  
 (по Вайнерту с коллегами (1988)):  
 по оси абсцисс – время ответной реакции,  
 по оси ординат – интенсивность ответной реакции.

В зависимости от индикаторных признаков и целей биоиндикации Спелленберг (1991) предложил следующую классификацию:

1. Индикаторы экосистемные.

- Сигнализаторы – виды, сигнализирующие о нетипичных для них условиях местообитания, как правило,

это виды на границе своего ареала или в экстремальных условиях.

- Детекторы – виды, характерные для определенных условий местообитания (оптимальных для них), четко и однозначно реагирующие на их изменения.

- Ключевые индикаторы – виды, появляющиеся на определенных стадиях сукцессии и исчезающие, когда стадия сменяется другой, к этой группе также относят адвентивные и рудеральные виды, указывающие на стадии нарушения экосистемы.

- Индикаторы деградации – виды, появляющиеся при катастрофических нарушениях экосистем.

## 2. Индикаторы факторные.

- Пользователи – индикаторы появления какого-либо фактора, например, химического вещества или соединения.

- Аккумуляторы – накопители каких-либо химических веществ и соединений в своем организме.

- Биотесты – виды, использующиеся в качестве тестовых систем для оценки состояния окружающей среды.

## 3. Индикаторы здоровья.

- Индикаторы оценки асимметрии – виды, использующиеся для оценки отклонений признаков (например, морфологических) в результате действия факторов среды.

- Индикаторы оценки роста – виды, размер, габитус или масса которых реагируют на действия факторов среды.

Обычно при биоиндикации используют следующие показатели:

1. Наличие или отсутствие видов – анализируется по видовым спискам.

2. Соотношения между таксонами (родами, семействами, классами и т.д.) организмов.

3. Соотношения между численностями организмов (числом особей, обилием, проективным покрытием) в экосистеме или на разных трофических уровнях.

4. Концентрация химических веществ или соединений в организмах.

5. Показатели процессов жизнедеятельности и виталитета (прирост, продуктивность, рождаемость и смертность, выживаемость).

6. Комплексные показатели (отношение дыхания к продуктивности, продуктивности к биомассе, продуцентов к консументам).

7. Холистические показатели, например, характеристики биоразнообразия.

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

В биоиндикации часто используются так называемые биотесты – организмы, которые искусственно помещают в экосистемы для оценки исследуемых параметров окружающей среды или используют в лабораториях для оценки отдельных составляющих среды (вода, атмосферный воз-

дух, почва и т.д.). Чаще всего биотесты используют в качестве экспресс-методов оценки санитарного состояния. Как биотесты могут использоваться микроорганизмы – инфузория-туфелька (*Paramecium caudatum*), водоросли из родов *Trebouxia* и *Chlorella*, растения – плевел многолетний (*Lolium perenne*), кресс-салат (*Lepidium sativum*), овес полевой (*Avena sativa*). Необходимо помнить, что биоиндикация и биотестирование имеют разные методологические основы и способы оценки, то есть не являются тождественными, хотя и имеют одинаковые цели – оценку параметров окружающей среды.

Методика биоиндикации – это система или алгоритм процедур и приемов оценки состояния окружающей среды с использованием биологических объектов и их свойств. Как и в любом разделе экологии, методы биоиндикации можно разделить на полевые и камеральные. К полевым относятся методы сбора образцов и выполнение описаний. Поскольку биоиндикация может выполняться на нескольких уровнях организации, то полевые методы можно разбить на три группы:

- доорганизменные – полевые исследования вегетативных и генеративных частей, например, отбор листьев, пыльцы, кернов древесины и т.п.;
- популяционные – полевые методы исследования групп организмов;
- ценотические – полевые описания экосистем.

Соответственно, в биоиндикации широко используются методы полевых исследований организмов, популя-

ций и экосистем, подробно изучающиеся в соответствующих науках (например, почвоведении, ботаники и зоологии) и разделах экологии (например, популяционной экологии). Камеральные методы биоиндикации разработаны в соответствующих ее направлениях – выделяются методы альго-, лишено-, фито-, зооиндикации и т.д. Отдельную группу методов, как уже указывалось выше, образуют методики биотестирования.

Биоиндикационные методы часто используются для оценки загрязнения окружающей среды. При этом необходимо помнить, что с точки зрения биоиндикации практически невозможно отделить антропогенные или природные факторы загрязнения, поскольку живые организмы реагируют на комплекс факторов среды. Например, биоиндикаторы будут одинаково реагировать на повышение содержания пыли в атмосфере в результате промышленных выбросов и природной дефляции почв. Также методами биоиндикации невозможно дать точную оценку состояния загрязнения. Можно только определить, есть ли загрязнение в принципе, какие именно загрязнители присутствуют и превышен ли пороговый уровень загрязнения.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

---

### ФИТОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И СОСТОЯНИЮ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

**Цель:** давать оценку антропогенной нагрузки на окружающую среду по состоянию и биоразнообразию древесно-кустарниковой растительности.

**Оборудование:** определители высших растений, мерная линейка, карандаши.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Одним из важных показателей состояния природной среды является видовой состав растительного сообщества, который может изменяться по мере увеличения антропогенного влияния на окружающую среду. Установлено закономерное увеличение показателей биоразнообразия по мере удаления от источника химического антропогенного загрязнения окружающей среды.

Для оценки этого эффекта часто используют индекс Симпсона, который определяется по формуле (1):

$$D = \sum \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}, \quad (1)$$

где  $n$  – число особей каждого вида,  $N$  – общее число особей.

Часто используют обратный индекс Симпсона ( $1/d$ ), соответствующий возрастанию видового разнообразия.

Оценку состояния древостоя выполняют по коэффициентам состояния по следующей схеме:

1. Определяют состояние отдельных деревьев по внешним признакам по 5-балльной шкале (таблица 1).

2. Рассчитывают коэффициенты состояния древесных пород. Коэффициенты состояния определяют для каждого вида деревьев по формуле (2):

$$K = \frac{\sum b}{N}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент состояния вида,  $b$  – балл состояния дерева,  $N$  – число деревьев вида.

3. Рассчитывают коэффициент состояния древостоя в целом как среднее арифметическое коэффициентов состояния отдельных видов деревьев по формуле (3):

$$K_o = \frac{\sum K}{R}, \quad (3)$$

где  $K_o$  – коэффициент состояния древостоя,  $K$  – коэффициент состояния вида,  $R$  – число видов.

4. Для оценки состояния древостоев используют следующую градацию:

$K_o < 1,5$  – здоровый древостой;

$K_o = 1,6 - 2,5$  – ослабленный древостой;

$K_o = 2,6 - 3,5$  – сильно ослабленный лес;

$K_o = 3,6 - 4,5$  – усыхающий лес;

$K_o > 4,6$  – погибающий лес.

Таблица 1

**Шкала оценки состояния деревьев по внешним признакам**

Балл	Характеристика состояния дерева
1	Здоровые деревья без внешних признаков повреждения, величина прироста соответствует норме
2	Ослабленные деревья. Крона слабоажурная, отдельные ветви усохли. Листья и хвоя часто с желтым оттенком. У хвойных деревьев на стволе сильное самотечение и отмирание коры на отдельных участках
3	Сильно ослабленные деревья. Крона изрежена, со значительным усыханием ветвей, вершина сухая. Листья светло-зеленые, хвоя с бурым оттенком и держится 1–2 года. Листья мелкие, но бывают и увеличены. Прирост уменьшен или отсутствует. Значительные участки коры отмерли
4	Усыхающие деревья. Усыхание ветвей по всей кроне. Листья мелкие, недоразвитые, бледно-зеленые с желтым оттенком; отмечается ранний листопад. Хвоя повреждена на 60% от общего количества. Прирост отсутствует. На стволах признаки заселения короедами и другими вредителями
5	Сухие деревья. Крона сухая, листьев нет, хвоя желтая или бурая (осыпается или осыпалась). Кора на стволах отслаивается или полностью опала. Стволы заселены ксилофагами (потребителями древесины)

**Ход работы**

1. Выберите два участка парка, леса или сквера в 1 га (100×100 м), подверженные разной степени антропогенного загрязнения (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Провести флористические обследования на древесно-кустарниковую растительность, используемую для озеленения.

3. Составить список растений. Подсчитать количество деревьев и кустарников каждого вида. Результаты подсчета записать в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты флористические обследования**

Название вида	Количество особей (экземпляров), n

4. Определить состояние отдельных деревьев, растущих на исследуемой площадке.

5. Определить коэффициенты состояния древесных пород ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  ...)

6. Результаты определений и расчетов оформить в виде таблицы (таблица 3).

Таблица 3

**Оценка состояния древостоя**

Виды деревьев	Количество деревьев	Состояние деревьев, баллы	Коэффициент состояния вида

7. Определить коэффициент состояния древостоя в целом.

8. Оценить состояние древостоя.

9. Рассчитать индекс Симпсона для обоих участков.

10. Сделать выводы о степени загрязнения изучаемых участков по индексу Симпсона и оценке состояния древостоя.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

---

### БИОИНДИКАЦИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМУ

**Цель:** определить стадию рекреационной дигрессии участка.

**Материалы и оборудование:** измерительная лента, определитель высших растений, гербарный материал.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Рекреация – место отдыха человека, обычно это парки, леса, водоемы. Рекреационная нагрузка тем выше, чем: а) выше плотность населения и б) больше естественных привлекательных для отдыха ландшафтов. Особенно велика рекреационная нагрузка неорганизованного отдыха при использовании резко возросшего числа личного автотранспорта.

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

Стадии дигрессии лучше и быстрее всего оцениваются на открытой местности, а также в лесных насаждениях путем определения процента деградированных участков

или площади, занимаемой дорогами и тропами (дорожно-тропиночная сеть – ДТС). В этом случае выделяют 5 основных стадий дигрессии (по Е.Н. Шелоуховой, 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 их проективное покрытие, 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, луговых и сорных видов;

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

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

### ***Ход работы***

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

2. Выполнить геоботанические описания участков.
3. Вычислить площадь ДТС в %:
  - при небольшом участке можно определить глазомерно;
  - при большом участке выделить наиболее репрезентативную площадку и с помощью шагов или мерной ленты определить общую площадь участка и участков ДТС (тропинки, асфальтированные дорожки, вытопанные площадки и т.п.).
4. Определить индекс ДТС, разделив площадь ДТС на общую площадь участка, т.е. узнать соотношение площадей нарушенных участков и территории отдыха. Индекс ДТС обычно выражается в процентах.
  4. По значению индекса ДТС и дополнительным признакам определить стадию рекреационной дигрессии каждого участка.
  5. Сделать вывод и возможный прогноз с рекомендациями.
  6. Результаты исследования занести в тетрадь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

---

### **БИОИНДИКАЦИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОСАДКОВ. БИОТЕСТИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

**Цель:** оценить степень токсичности снежного покрова в чистом и загрязненном микрорайонах.

**Оборудование и материалы:** пробы снега (с разных участков), семена тестовых растений, чашки Петри, фильтровальная бумага, пробоотборники (банки, бюксы), линейки, весы, универсальная индикаторная бумага.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ**

Снег – один из наиболее информативных и удобных индикаторов атмосферного загрязнения территории. Благодаря высокой сорбционной способности, снег накапливает в своем составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. Исследуя пробы снега, собранного в разных местах, можно получить достаточно полное представление о степени и характере загрязнения окружающей среды на этих участках. В связи с этим снег можно рассматривать как своеобразный индикатор загрязнения окружающей среды.

Необходимо помнить при этом, что на формирование химического состава снега оказывают влияние многие природные факторы, среди которых определяющими яв-



ляются метеорологические показатели, особенно ветровой режим территории (роза ветров).

В зависимости от источника загрязнения состав снеговой воды может быть различным. Так, вблизи металлургических заводов он бывает гидрокарбонатно- и сульфатно-кальциевым, гидрокарбонатно- и сульфатно-магниевым. При этом увеличение концентрации гидрокарбонатов кальция и магния дает слабощелочную, а в зоне интенсивного загрязнения – сильнощелочную реакцию. При преобладании в аэрозольных выпадениях кислых продуктов сгорания, например, сернистого ангидрида, кислотность осадков возрастает. Учитывая это, можно считать, что одним из информативных показателей загрязненности атмосферы является величина pH снеговых вод.

Пробы снега обычно отбирают в период наибольшей мощности снегового покрова и на всю глубину снежной толщи. Отбирается снег специальными приборами – снегомерами. Но в качестве пробника может служить перевернутая стеклянная банка, которую следует опускать вертикально сверху на поверхность снега до поверхности субстрата. Пробы снега отбираются с площади  $1 \times 1 \text{ м}^2$ , каждая проба должна сопровождаться этикеткой, на которой указывается место взятия пробы и дата.

После отбора пробы снег растапливают. Талую воду фильтруют и определяют величину ее pH (pH талой воды незагрязненного снега находится в пределах 5,5–5,8). Осевшие на фильтре нерастворимые пылевые частицы просушивают вместе с фильтром и взвешивают (предварительно до фильтрации необходимо взвесить сам фильтр). Разность в весе первоначального фильтра (до фильтрации снеговой воды) и его веса после фильтрации

дает оценку пылевого загрязнения снега. Полученное пылевое загрязнение следует отнести на единицу площади снегового покрова (учесть площадь пробоотборника) и выражается в г/м<sup>2</sup>.

Одним из видов анализа снежного покрова является биотестирование. Биотестирование – метод определения качества среды по реакции живых организмов (тест-объектов). Энергия прорастания и всхожесть семян – важные показатели качества среды, потому что в этот период растения наиболее чувствительны к условиям среды. Энергия прорастания и всхожесть определяются в талой воде (отфильтрованной и неотфильтрованной).

*Методика биотестирования следующая:*

1. На дно чашки Петри укладываются фильтры, смоченные талой водой.

2. На фильтры помещаются по 25 шт. средних размеров семян биотеста (овса или кресс-салата).

3. Энергия прорастания определяется для кресс-салата на 3 сутки, для овса – на 4 сутки.

4. Всхожесть определяется для кресс-салата и овса, соответственно на 5-е и 7-е сутки.

5. Одновременно с подсчетом проросших семян измеряются размеры корешка и проростка.

6. Энергия прорастания и всхожесть рассчитываются в процентах от общего числа семян в пробе, которое принимается за 100%.

Оценка токсичности дается по следующей шкале:

100% – нетоксичная;

80–90% – очень слабая токсичность;

60–80% – слабая токсичность;

40–60% – средняя токсичность;

20–40% – высокая токсичность;

0–20% – очень высокая токсичность, близкая к летальной.

### **Ход работы**

1. Взять 3 образца снежного покрова и контроль: № 1 – центральной части сквера; № 2 – газон у проезжей части; № 3 – площадка возле вуза; № 4 – контроль (дистиллированная вода).

2. Растопить пробы снега, профильтровать талую воду и определить величину рН фильтрата.

3. Определить пылевое загрязнение снега.

4. Сравнить данные по величине рН и пылевому загрязнению, полученные для различных участков.

5. Определить энергию прорастания и всхожесть семян кресс-салата и овса в пробах талой воды.

6. Измерить длину корешков и проростков тест-растений.

7. Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4

#### **Биотестирование снежного покрова**

№	рН	Пылевое загрязнение, г/м <sup>2</sup>	Энергия прорастания / Всхожесть, %	Длина корешка, см	Длина проростка, см

8. Дать оценку загрязнения снежного покрова и сравнить данные, полученные для разных участков.

9. Результаты исследования занести в тетрадь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

---

### БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Цель:** оценка состояния окружающей среды по характеру повреждений деревьев и кустарников.

**Оборудование и материалы:** лупы, линейка, карандаш, определитель насекомых вредителей древесных растений, определитель высших растений.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Болезни растений изучает специальная наука – фитопатология. Болезнь определяется как патологический процесс, развивающийся в растении вследствие внедрения возбудителя болезни или воздействия вредных биотических и абиотических факторов. Патологический процесс выражается в нарушении физиологических функций, в морфологических отклонениях от нормального состояния тканей органов, в отмирании или усыхании всего растения.

Различают инфекционные и неинфекционные болезни древесных и кустарниковых пород. Неинфекционные болезни возникают под влиянием неблагоприятных условий внешней среды: нарушение питания, влажности, температуры, почвы, вредных примесей воздуха, механических повреждений и других факторов.

Инфекционные болезни растений возникают под воздействием патогенных организмов: грибов, бактерий, вирусов. Грибы являются основными возбудителями болезней деревьев и кустарников. Грибные болезни составляют 97% от всех болезней лесных пород, 2% – бактериальные и 1% – вирусные. Основные способы распространения болезней лесных пород – перенос инфекций воздушным потоком, водой, насекомыми, птицами и человеком.

Для оценки значения болезней растений в лесном хозяйстве и определения причиняемого ими ущерба употребляются термины «вредоносность» или «вред». Вредоносность зависит от биологии возбудителя, а также от климатических условий местообитания растения-хозяина.

Обычно болезни поражают отдельные растения в популяциях. В этих случаях заболевание называют рассеянным. Массовые поражения древостоев опасными болезнями с одновременным образованием очагов усыхания на больших территориях носят название эпифитотий. Обычно эпифитотии возникают из отдельных очагов болезни при наличии комплекса благоприятных условий со стороны растения-хозяина, возбудителя болезни и условий окружающей среды.

Болезнь диагностируется по вызвавшим ее причинам, возбудителю и симптомам поражения, ослабления растения. По совокупности сходных внешних и внутренних признаков проявления инфекционные и неинфекционные болезни группируются по типам. Типом болезни называют группу заболеваний, характеризующихся определенным

комплексом сходных симптомов и объединяемых общим названием. Наиболее часто встречаются следующие типы болезней растений (таблица 5).

*Гниль.* Для этого типа болезни характерны резкие нарушения структуры и распад тканей пораженных органов растений. Гнилью могут поражаться различные части растений: плоды, семена, луковицы, стволы, корни и др.

Таблица 5

**Поражение листвы деревьев заболеваниями**

<b>Тип повреждения</b>	<b>Признаки</b>	<b>Возбудители</b>
Пятнистость	На листьях появляются круглые жёлто-зелёные или серо-бурые пятна с тёмными краями	Паразитирующие грибки
Некроз	Омертвление листовой ткани	Кислотные дожди, паразитирующие грибки
Ожог	Пожелтение и побурение побегов	Нарушение режима полива
Гниль	Поражённые ткани становятся мягкими и водянистыми. При высокой влажности воздуха образуется серый налёт спорангиев	Паразитирующие грибки
Увядание	При продольном разрезе видно побурение и отмирание сосудистых переплетений, листья желтеют и вянут	Паразитирующие грибки
Мозаика	Листья покрываются жёлтыми мозаичными пятнами, кольцами или штрихами	Паразитирующие грибки
Ржавчина	На листьях, вначале снизу, а затем и сверху появляются ржаво-коричневые и бурые подушечки	Паразитирующие грибки

*Рак.* Болезнь сопровождается развитием тканевых новообразований – наростов, образующихся вследствие усиленного разрастания клеток. Раковые наросты могут возникать на стволах, корнях и других органах растений.

*Некроз.* Тип грибных болезней, который характеризуется поражением коры и заболони, отмиранием пораженных тканей вдоль ветвей и стволов.

*Ведьмины метлы.* Густые скопления укороченных побегов, возникающих из спящих почек вследствие заражения их грибами, вирусами, бактериями, насекомыми и неинфекционными факторами.

*Ржавчина.* Характеризуется скоплением оранжево-желтых, темно-бурых спор, выступающих наружу через разрывы покровных тканей: эпидермиса, кутикулы листьев, коры стволов и ветвей.

*Шютте.* Заболевание проявляется в изменении цвета, отмирании и опадении хвои с образованием на пораженной хвое спороношений возбудителя.

*Деформация.* Нарушение формы различных органов растений. Так, деформация листьев проявляется в виде курчавости, пузырчатых вздутий, морщинистости. Встречается деформация плодов, семян, ветвей, побегов в виде искривлений, утолщений.

*Пятнистость.* Обычно пятнистостью поражаются листья, но иногда она встречается на плодах и молодых побегах. Образующиеся пятна очень разнообразны по цвету, величине и форме. Они могут быть белыми, черными, бурыми, округлыми, продолговатыми или в виде штрихов, окаймленными, выпуклыми и т.д.

*Плесень.* Характеризуется образованием на поверхности пораженных органов растений паутинистых или порошащих налетов, состоящих из мицелия и спор грибов различного цвета.

Помимо этого в фитопатологических исследованиях проводится анализ повреждений, вызванных вредителями древесных и кустарниковых пород (таблица 6).

Один и тот же вид возбудителя может при взаимодействии патогена и хозяина проявляться несколькими типами болезни.

Для распознавания болезней леса пользуются основными анализами: морфологическим, гистологическим, микологическим, физическим, химическим и физиологическим.

Под термином *«фитопатологическое обследование»* понимается выявление и учет болезней и повреждений различных объектов: древостоев, молодняков, питомников, лесопroduкции и др. Обследования проводятся в научных и производственных целях. При фитопатологических обследованиях выявление и учет болезней обязательно сопровождается их качественной и количественной характеристиками. Качественная характеристика может выражаться в выявлении типа болезни, вида возбудителя, стадии гнили, факта прогрессирующего развития или ослабления болезни и т.д. Под количественной характеристикой подразумевается установление показателей распространения патологического явления в пространственном, объемном или числовом выражении с указанием



площади очага, числа больных деревьев, процента поражения древесины и т.д.

Таблица 6

**Анализ характера повреждений и выявление видов насекомых, вызывающих повреждения их листовой кроны**

<b>Тип повреждения</b>	<b>Признаки</b>	<b>Возбудители</b>
Скелетирование (тонкое скелетирование)	На листовых пластинах наблюдаются участки, на которых отсутствуют мягкие ткани и имеются только жилки	Личинки насекомых
Минирование	На зеленом фоне листа хорошо заметные белые линии (мины) – ходы, проделываемые мелкими насекомыми	Личинки двукрылых, гусеницы бабочек
Одиночные галлы	На листьях сверху появляются выпуклые пятна, а снизу узловатые вздутия	Орехотворки
Деформация листовой пластинки (скручивание, курчавость)	Изменение листовой пластинки, в результате высасывания соков, переноса вирусного заболевания	Бабочки листовёртки, паразитические вирусы
Краевое объедание, погрызы	Края листовой пластинки имеют неправильную форму. На листьях наблюдаются погрызы различной формы и размера	Личинки насекомых
Перфорация	Наблюдаются отверстия в листьях	Личинки насекомых
Клеевой натек	Листья особенно на верхушках побегов, курчавятся и желтеют, при сильном поражении на них видны клейкие выделения тёмно-зелёных или чёрных палей	Тли зелёные и черные

Проявления различных болезней леса обнаруживаются в разное время сезона и, соответственно этому, назначаются сроки проведения обследований. Во взрослых древостоях рекогносцировочные обследования проводятся по ходовым линиям, расстояние между которыми составляет 250–1000 метров. Древостой, зараженный более чем на 10%, относят к очагам, если их площадь составляет не менее 0,1 га. Величина пробных площадей может составлять от 0,25 до 0,5 га, в зависимости от возраста и полноты древостоя. Их общая площадь должна составлять не менее 2–5% площади очага. Учет больных деревьев ведется при сплошном перечеке деревьев и сопровождается полным таксационным описанием древостоя.

Оценку поврежденности насаждений дают в процентах от общего числа деревьев. При наличии до 10% больных деревьев зараженность считается слабой, от 10 до 30% – средней, более 30% – сильной. Отмечают характер распределения поврежденных деревьев и сухостоя в насаждении, а именно: единичный – деревья соответствующей категории встречаются на обследуемом участке единично; групповой – небольшими группами до 10 деревьев; куртинный – повреждение происходит куртинами разной величины площадью до 0,25 га.

Для определения состояния подроста выбирают в пределах обследуемого выдела наиболее типичный для этого насаждения участок. При учете мелких растений закладываются пробные площади размером: 1×1 м, 1×2 м,

3×3 м, 2×5 м. Чем старше и выше подрост и чем неравномернее его размещение, тем больше должен быть размер площадки.

Для оценки поражения болезнями типа шютте и ржавчины применяется трехбалльная шкала: 1 балл – поражено до 25% кроны; 2 балла – поражено до 50% кроны; 3 балла – поражено более 50% кроны. Учеты повреждения молодняка проводят на пробных площадях, на которых произрастают не менее 100 растений.

Для полной характеристики болезней применяется два показателя – распространенность и развитие болезни. Развитие болезни устанавливается визуально по общему состоянию растений, доле пораженной поверхности органов растений, интенсивности спорующих патогенов и другим признакам. Для оценки развития болезней используется пятибалльная шкала: 0 – растение здорово; 1 – поражение слабое, охватывает меньше 10% поверхности тканей растения или органов; 2 балла – поражение умеренное – 11–25% поверхности растения; 3 балла – поражение сильное, болезнью охвачено 26–50% поверхности; 4 балла – поражено более 50% поверхности растения; 5 баллов – растение отмирает или погибло в результате болезни.

### ***Ход работы***

1. Выберите два участка парка, леса или сквера, подверженные разной степени антропогенному загрязнению

(удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Провести фитопатологические обследования деревьев и кустарников (выборочно) на площадках. Осмотр кроны дерева (кустарника) выполняется в пределах уровня доступности с 4-х сторон света.

3. Выборочно обследовать листья побегов деревьев и кустарников длиной 1 метр, начиная с верхушки побега, на наличие повреждений, заболеваний и следов деятельности беспозвоночных. Указать степень повреждения.

4. Дать фитопатологическую характеристику состояния деревьев и кустарников на учетных площадках в зависимости от рекреационной нагрузки. Выполнить сравнительную оценку выбранных участков.

5. Результаты исследования оформить в тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

---

### **БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАСТЕНИЙ**

**Цель:** оценка состояния окружающей среды по изменению морфометрических показателей (площадь листовой пластинки).

**Оборудование и материалы:** лупа, линейка, карандаш, бумага миллиметровая, ножницы, весы, образцы листьев.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ**

В период роста листья проявляют высокую чувствительность к действию загрязняющих веществ, попадающих в окружающую среду. Их размеры подвержены очень большой изменчивости, и диапазон нормы реакции очень широк. Так, размер листьев может сильно уменьшаться в результате длительного действия неблагоприятных факторов. Изучение морфологических особенностей листьев контрольных и загрязненных территорий дает довольно отчетливую количественную характеристику изменений, возникающих под влиянием промышленного загрязнения.

В санитарных зонах предприятий, в уличных посадках в большинстве случаев размеры листьев уменьшены по сравнению с более чистой загородной территорией.

Существует несколько способов измерения площади листьев. Наиболее простым является весовой метод М.С. Миллера, в котором используется светочувствительная бумага, подсчет квадратиков на миллиметровой бумаге, планиметрический. Модификацией весового метода является разработка Л.В. Дорогань, где предварительно для древесной породы определяют переводной коэффициент, а затем путем измерения длины и ширины листа производят массовые вычисления площади листьев.

*Суть метода состоит в следующем:*

1. На бумаге вычерчивают прямоугольник с длиной и шириной, равной длине и ширине листка растения.

2. На прямоугольнике бумаги вычерчивают контур листка.

3. Вырезают прямоугольник бумаги, определяют его площадь и взвешивают.

4. Из прямоугольника вырезают контур листа, определяют его площадь и взвешивают.

5. Рассчитывают переводной коэффициент по формулам (4, 5):

$$K = \frac{S_{л}}{S_{б}}, \quad (4)$$

$$S_{л} = \frac{P_{л} \times S_{б}}{P_{б}}, \quad (5)$$

где  $K$  – переводной коэффициент,  $S_{л}$  – площадь контура листа,  $S_{б}$  – площадь прямоугольника бумаги,  $P_{л}$  – масса контура листа,  $P_{б}$  – масса прямоугольника бумаги.

6. Рассчитывают площадь листьев по формуле (6):

$$S = A \times B \times K, \quad (6)$$

где  $A$  – длина листа,  $B$  – ширина листа,  $K$  – переводной коэффициент.

### ***Ход работы***

1. Выберите два участка парка, леса или сквера, подверженные разной степени антропогенному загрязнению (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Взять на участках пробы 20–25 листьев выбранной древесной породы, кустарника, травянистого растения.

3. Определить переводные коэффициенты для выбранных растений.

4. Вычислить площади листьев выбранных растений.

5. Дать сравнительную оценку площади листьев выбранных растений для участков с разным уровнем загрязнения.

6. Результаты исследования занести в тетрадь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

---

### БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО СОСТОЯНИЮ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

**Цель:** оценка загрязнения атмосферы по характеру повреждений хвои сосны обыкновенной.

**Оборудование:** миллиметровая бумага, линейка, бюксы для сбора хвоинок, пинцет, бинокляр.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Сосновые леса являются одними из наиболее чувствительных к загрязнению атмосферного воздуха. Это обуславливает выбор сосны как важнейшего индикатора антропогенного воздействия на атмосферу. Информативными показателями техногенного воздействия являются изменения морфологии, анатомического строения и продолжительности жизни хвои.

В незагрязненных сосняках основная масса хвои не имеет повреждений, и лишь незначительная часть хвоинок несет светло-зеленые пятна и некротические точки микроскопических размеров, равномерно рассеянные по всей поверхности.

Характерными признаками неблагополучия окружающей среды служат появления разного рода хлорозов и некрозов, уменьшение длины хвои, побегов текущего года и прошлых лет, их толщины, размера шишек, сокращение



величины и числа заложенных почек. Последнее является предпосылкой уменьшения ветвления. Ввиду меньшего роста побегов и хвои в длину в загрязненной зоне наблюдается сближенность расстояния между хвоинками (их больше на 10 см побега, чем в чистой зоне). Наблюдается утолщение самой хвои, уменьшается продолжительность ее жизни (1–3 года в загрязненной зоне и 6–7 лет – в чистой). Все эти признаки не специфичны, однако в совокупности дают довольно объективную картину.

*Методика биоиндикации загрязнения атмосферы по хвое сосны следующая:*

1. Выбирается учетная площадка 10×10 м, на которой учитываются 5–6 модельных сосновых деревьев (рекомендуются молодые особи высотой 1–1,5 м), которые произрастают на более или менее открытых местах. Это важно для исследования повреждений хвои, потому что у таких деревьев повреждения выражены сильнее и более заметны, чем у деревьев в густых насаждениях.

2. Отмечается близость транспортных магистралей и степень вытаптывания участка по 4-балльной шкале:

1. вытаптывания нет;
2. присутствуют тропы без травяного покрова тропы;
3. интенсивное вытаптывание, на большей части площадки нет ни травы, ни кустарников;
4. интенсивное вытаптывание, травяной покров только у деревьев.

В случае вытаптывания территории 3 и 4 балла, биоиндикация загрязнения атмосферы невозможна.

3. С модельных деревьев берут выборку хвои по следующей схеме:

1. осмотреть у дерева хвоинки предыдущего года (вторые сверху мутовки), если дерево большое, то обследование проводить на боковом побеге в четвертой сверху мутовке (рис. 1);

2. с нескольких боковых побегов в средней и верхней части кроны отобрать 200–300 хвоинок второго и третьего года жизни.

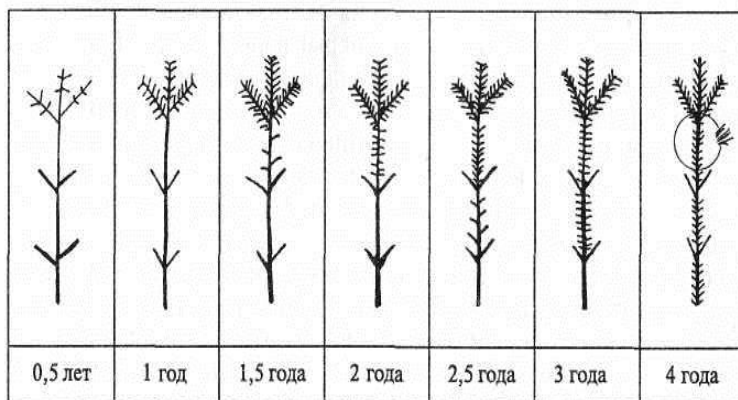


Рис. 1. Участок побега, на котором проводят обследование хвои для биоиндикации качества воздуха

3. В лаборатории измеряют длину хвои на побеге прошлого года. Устанавливают продолжительность жизни хвои путем просмотра побегов с хвоей по мутовкам (рис. 2)

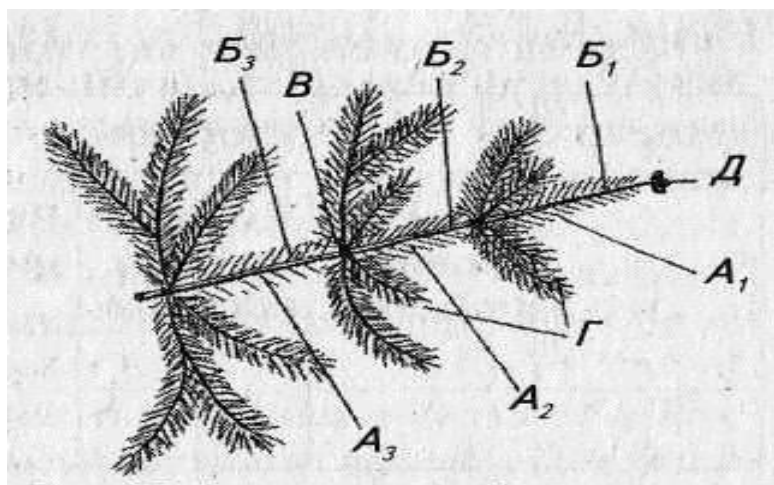


Рис. 2. Части ветви хвойного дерева,  
служащие биоиндикаторами:

- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> – осевые побеги первого, второго и третьего года;  
 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> – хвоя первого, второго и третьего года;  
 В – мутовка; Г – боковые побеги; Д – почки

4. Отмеряют 10 см побега прошлого года и подсчитывают число хвоинок (в загрязненной зоне пучки хвоинок более сближены и на 10 см побега их больше). Если побег меньше 10 см, подсчет ведется по существующей длине и переводится на 10 см.

5. Осматривают отобранные хвоинки при помощи лупы и распределяют их по степени повреждения и усыхания (рис. 3):

- 1 – неповрежденная хвоя;
- 2 – хвоя с небольшим количеством мелких пятен, нет сухих участков;

3 – хвоинки с большим числом черных и желтых пятен:

3.1 – на хвоинках нет сухих участков;

3.2 – хвоя с большим количеством мелких пятен, есть сухие участки на кончике хвоинки (2–5 мм);

3.3 – хвоя с признаками усыхания на более чем треть поверхности;

3.4 – полностью усохшая хвоя.







Классы повреждения (некрозы)	1	2	3			
Классы усыхания	1	1	1	2	3	4
						

Рис. 3. Классы повреждения и высыхания хвои

6. Строят гистограмму распределения хвоинок по классам повреждения и усыхания.

7. По классам повреждения дают оценку чистоты воздуха (таблица 7):

I – воздух идеально чистый;

II – чистый;

III – относительно чистый («норма»);

IV – загрязненный («тревога»);

V – грязный («опасно»);

VI – очень грязный («вредно»)

Таблица 7

**Экспресс-оценка загрязнения воздуха с использованием сосны обыкновенной**

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

*Примечание:* «–» – невозможные сочетания.

**Ход работы**

1. Выберите два участка парка, леса или сквера, подверженные разной степени антропогенному загрязнению (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Заложить пробные площадки. Оценить их близость к транспортным магистралям и степень вытаптывания площадки.

3. Выбрать модельные деревья и отобрать побеги прошлого года. Сделать оценку числа хвоинок на побегах.

4. Результаты обследования занести в таблицу 8.

Таблица 8

**Результаты обследования пробных площадок**

Место взятия образца	Длина, мм	Продолжительность жизни, лет	Число хвоинок на 10 см побега, шт.	Примечание

5. Отобрать с побегов хвоинки и распределить их по степени повреждения и усыхания. Результаты занести в таблицу 9.

Таблица 9

**Определение состояния хвои сосны обыкновенной для оценки степени загрязненности атмосферного воздуха**

Пробная площадка	Состояние хвои											
	1				2				3			
	1		2		1		2		3		4	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%

6. Дать сравнительную оценку загрязнения атмосферы на обследованных участках.

7. Результаты исследования оформить в тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

---

### БИОИНДИКАЦИЯ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО СТРОЕНИЮ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОДУВАНЧИКА

**Цель:** оценка степени увлажнения почвы по морфологическому строению корневой системы одуванчика лекарственного.

**Оборудование:** лопата, лупа, линейка.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Одуванчик обыкновенный, или лекарственный, – широко распространенное растение, многолетний розеточный корнеотпрысковый сорняк, имеющий высокую семенную продуктивность. У одуванчика хорошо выраженная стержневая корневая система. Однако в зависимости от уровня залегания грунтовых вод внешний вид корневой системы может значительно различаться вследствие изменения направления и формы роста главного и боковых корней и их ветвления (рис. 4).

Так, на сухих местах (глубокое залегание грунтовых вод, водное питание в основном за счет атмосферных осадков) корневая система экстенсивного типа с хорошо выраженным, длинным и относительно тонким главным корнем и более тонкими, почти равномерно расположенными короткими боковыми корнями. На свежем лугу – главный корень утолщенный, боковые корни почти равны по длине и толщине главному. На сырых и заболоченных

лугах (близкое залегание грунтовых вод) корневая система довольно компактна, главный корень укорочен и нередко искривлен, корневая система напоминает мочковатую.

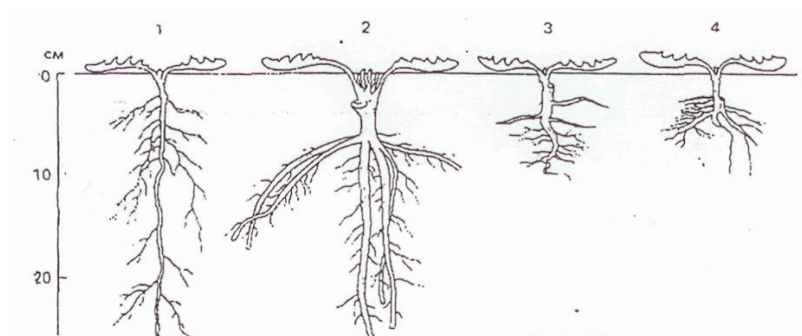


Рис. 4. Изменение направления роста корней у одуванчика (*Taraxacum*) в зависимости от уровня грунтовых вод (по Шуберт, 1988):

1 – сухой луг; 2 – свежий; 3 – сырой луг;  
4 – заболоченная территория

### **Ход работы**

1. Выберите несколько визуально различающихся по рельефу участков (например, в низине, на склоне и на возвышенном месте) с примерно одинаково уплотненным и сходным почвенным покровом.

2. На выбранных участках выкопать несколько растений одуванчика (3–5 экземпляров) с примерно одинаковыми по величине и развитию прикорневыми розетками листьев.

3. Отряхнуть от почвы корневые системы, промыть водой, сфотографировать на мобильное устройство и заложить в гербарий.



4. В лаборатории по гербарным образцам определить следующие морфометрические показатели корневой системы:

- 1) длина главного корня;
- 2) толщина главного корня;
- 3) число боковых корней первого порядка;
- 4) длина и толщина боковых корней;
- 5) наличие боковых корней второго порядка и их выраженность.

5. Результаты измерений занести в таблицу 10.

Таблица 10

**Морфометрические показатели корневой системы  
у растений одуванчика**

Участок	Растение	Морфометрические показатели, см					Примечание
		1	2	3	4	5	
	Среднее						

6. Дать сравнительную оценку увлажнения обследованных участков.

7. Результаты исследования оформить в тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

---

### БИОИНДИКАЦИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ

**Цель:** определение фитотоксичности почв.

**Оборудование и материалы:** образцы почвы, семена тестовых растений, чашки Петри, лабораторная посуда, фильтровальная бумага, линейки, пробоотборники (банки, бюксы), весы, совки металлические.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Почва, будучи важнейшим компонентом природных экосистем, выступает в качестве мощного и долговременного депо токсических веществ.

Фитотоксичность – один из интегральных показателей состояния почвы, свидетельствующий о ее химическом загрязнении, истощении плодородия, присутствии фитопатогенной микрофлоры и токсикантов. Уровень фитотоксичности почвы проявляется в подавлении роста и развития высших растений, что удобно наблюдать в процессе прорастания семян и развития проростков.

*Методика биотестирования следующая:*

1. Навеску почвы 10 г в колбе тщательно разбалтывают с 50 мл дистиллированной воды.

2. Полученную суспензию помещают в чашки Петри слоем 3–5 мм и покрывают фильтровальной бумагой (2 слоя).

3. На фильтры помещаются по 25 шт. средних размеров семян биотеста (овса или кресс-салата).

4. Энергия прорастания определяется для кресс-салата на 3 сутки, для овса – на 4 сутки. Всхожесть определяется для кресс-салата и овса, соответственно, на 5-е и 7-е сутки. Одновременно с подсчетом проросших семян измеряются размеры корешка и проростка

5. Оценка токсичности дается по следующей шкале:

100% – нетоксичная;

80–90% – очень слабая токсичность;

60–80% – слабая токсичность;

40–60% – средняя токсичность;

20–40% – высокая токсичность;

0–20% – очень высокая токсичность, близкая к летальной.

Если число проросших семян снизилось более чем в два раза, то это признак сильной деградации почвы

### ***Ход работы***

1. Взять несколько образцов почвы и контроль:

№ 1 – центральной части сквера;

№ 2 – газон у проезжей части;

№ 3 – площадка возле вуза;

№ 4 – контроль (дистиллированная вода).

2. Приготовить суспензию и поместить в чашки Петри.
3. Определить энергию прорастания и всхожесть семян кресс-салата и овса в пробах почвы.
4. Измерить длину корешков и проростков тест-растений.
5. Результаты измерений занести в таблицу 11.

Таблица 11

**Биотестирование снежного покрова**

№ пробы	Энергия прорастания / Всхожесть, %	Длина корешка, см	Длина проростка, см

6. Дать оценку загрязнения почвы и сравнить данные, полученные для разных участков.
7. Результаты исследования оформить в тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

### ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

**Цель:** фитоиндикация эдафических факторов: влажности, гранулометрического состава, кислотности, трофности.

**Оборудование и материалы:** гербарий растений, определители и атласы растений, иллюстративный материал, геоботанические описания.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

*Фитоиндикаторами* называют растения, растительные сообщества или их особенности, указывающие на какие-то конкретные свойства среды. Различают прямые и косвенные индикаторы. Первые непосредственно связаны с объектом индикации, т.е. с каким-то конкретным условием среды, и зависят от него. Косвенные индикаторы не имеют непосредственной связи с объектом индикации, они показывают предметы или явления, которые, в свою очередь, могут быть связаны с индикатором, интересующим человека.

Растения могут быть индикаторами как на всем протяжении своего ареала, так и в какой-то его части. В зависимости от этого выделяют *универсальные* (панареальные) и

*локальные* индикаторы. Если связь между индикатором и объектом индикации наблюдается по всему ареалу, индикатор называется универсальным. Гораздо чаще приходится иметь дело с локальными индикаторами, связанными с объектом индикации только в какой-то части своего ареала.

Современная фитоиндикация предполагает использование двух методических подходов – использование фитоиндикационных шкал и использование индикаторных групп растений. При этом в обоих случаях используются показатели биотического разнообразия (число видов, обилие, проективное покрытие, численность) и индикаторная значимость видов.

В фитоиндикационных исследованиях экологические группы определяются по ведущим факторам среды. В частности при фитоиндикации эдафических режимов используются нижеследующие экологические группы растений.

По отношению к почвенному плодородию (трофности) определяются трофоморфы: олиготрофы (OgTr) – виды, обитающие на бедных почвах, мезотрофы (MsTr) – виды, обитающие на почвах среднего плодородия, и мегатрофы (MgTr) – растения почв большого почвенного плодородия.

Среди трофоморф выделяют нитрофильную группу (Nitr), связанную с почвами, обогащенными азотом, ацидофильную (Ac), связанную с кислой реакцией почвы, и кальциефильную (Ca), обитающую на почвах, обогащенных

известью. В степной и пустынной зонах выделяют группу алкалитрофных видов (AlkTr) или галофитов (Hal), тяготеющих к физиологически бедным засоленным почвам.

Иногда выделяют дробные экологические группы по отдельным факторам.

По отношению к гранулометрическому составу почвы выделяются следующие экологические группы видов: *пелитофиты* – виды почв с тяжелым гранулометрическим составом (глины, тяжелые суглинки), *алевритофиты* – виды, растущие на супесчаных и легких суглинистых почвах, и *псаммофиты* – виды песчаных почв с легким гранулометрическим составом.

По отношению к почвенному увлажнению выделяют следующие экологические группы растений: засухоустойчивые (ксерофиты (Ks)), виды местообитаний «среднего» увлажнения (мезофиты (Ms)) и виды местообитаний избыточного увлажнения (гигрофиты (Hgr)) и их промежуточные формы (KsMs, MsKs и др.).

*Методика фитондикации по экологическим группам следующая:*

1. В каждом ярусе сообщества определяется видовой состав и показатели численности или проективного покрытия каждого вида.

2. На основе этих показатели составляется экологический паспорт сообщества (таблица 12).

Таблица 12

## Экологический паспорт соснового бора

Виды	Экологические группы		Покрытие, %
	Трофо-	Гигро-	
<b>Древесный ярус (А)</b>			50
<i>Pinus silvestris</i>	OgTr	Ks	45
<i>Betula pendula</i>	OgTr	Mshgr	5
<b>Кустарниковый ярус (Fr)</b>			8
<i>Genista tinctoria</i>	Mstr	KsMs	8
<b>Травянистый ярус (Н)</b>			64
<i>Stipa pennata</i>	OgTr	Ks	2
<i>Phleum phleoides</i>	Mstr	KsMs	2
<i>Peucedanum oreoselinum</i>	Mstr	KsMs	2
<i>Calamagrostis epigeios</i>	OgTr	KsMs	36
<i>Solidago virgaurea</i>	Mstr	KsMs	5
<i>Potentilla argentea</i>	Mstr	Ms	3
<i>Melampyrum pratense</i>	Mstr	Ms	2
<i>Hierochloe odorata</i>	Mstr	Ms	4
<i>Adenophora lilifolia</i>	OgTr	Ms	1
<i>Heiracium pilosella</i>	Mstr	Ms	7

На основе экологического паспорта строится экологический спектр сообщества по эдафическим факторам. При определении числового индекса для экологической группы показания численности (проективного покрытия) суммируются.

Трофоформула:

$$A(OgTr50)+Fr(Mstr80)+H(OgTr39+Mstr24)$$

Гигроформула:

$$A(Ks45+Mshgr5)+Fr(KsMs8)+H(Ks2+KsMs46+Ms17)$$

При использовании фитоиндикационных шкал виды ранжируются по какому-либо экологическому фактору, после чего каждому виду присваивается его ранг, который



привязывается к определенному количественному показателю экологического фактора. Например, по кислотности почвы определяются (в скобках указан ранг, привязанный к шкале рН почвы): крайние ацидофилы (1), умеренные ацидофилы (2), слабые ацидофилы (3), ацидофилнейтральные (4), околонеитральные (5), нейтральные (6).

Положение некоторых видов в фитоиндикационных шкалах приводятся в Приложении.

Таблица 13

**Пример расчета кислотности почвы  
травянистого сообщества**

Вид	Ранг в шкале кислотности	Встречаемость	Интегральный балл (ранг × встречаемость)
<i>Melampyrum pratense</i>	1	1	1
<i>Trintalis europaea</i>	2	1	2
<i>Pulmonaria obscura</i>	3	3	9
<i>Urtica urens</i>	4	5	20
<i>Festuca pratensis</i>	4	9	28
<i>Filipendula vulgaris</i>	5	3	15
<i>Tussilago farfara</i>	6	2	12
<i>Pyrola chlorantha</i>	6	5	30
<i>Medicago falcata</i>	6	3	18
<b>Сумма</b>	–	<b>32</b>	<b>135</b>

*Примечание:* встречаемость выражена в баллах по шкале:

1 – очень редко, 2 – редко, 3 – нередко, 5 – часто,  
7 – очень часто, 9 – массово.

Для фитоиндикации из геоботанического описания сообщества берутся показатели численности видов, либо

их проективное покрытие, либо встречаемость (число или частота встреч). После чего по формулам рассчитывается интегральная фитоиндикационная оценка эдафического режима. Пример такого расчета режима кислотности почв приводится в таблице 13.

Оценка кислотности почвы составляет  $135 / 32 = 4,2$ , соответственно, кислотность почвы  $pH = 6$ .

### ***Ход работы***

1. Выберите два участка парка, леса или сквера в 1 га (100×100 м).

2. Выполнить геоботанические описания участков по схеме (см. приложение 2).

3. По геоботаническим описаниям составить экологический паспорт местообитаний и построить экологические спектры сообщества по эдафическим факторам.

4. Провести фитоиндикационную оценку почв (см. пример выше) по эдафическим факторам с использованием данных Приложения.

5. Дать сравнительную оценку эдафических режимов разных местообитаний по результатам фитоиндикации.

6. Результаты исследования оформить в тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

### ФИТОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ

**Цель:** оценка качества окружающей среды по показателям флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula*).

**Оборудование и материалы:** карандаш, блокнот, компас, курвиметр или линейка, транспортир, пакеты для сбора листьев.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Метод оценки флуктуирующей асимметрии основан на выявлении нарушений симметрии развития листовой пластинки древесных и травянистых растений под действием антропогенных факторов.

Для листовых пластинок методика основана на сравнении линейных размеров (длины) морфометрических показателей листовой пластинки справа и слева от оси листовой пластинки (рис. 5). Для этого лист складывают пополам, потом разгибают, и образовавшаяся складка принимается за осевую линию, справа и слева от которой проводят измерения. При этом необходимо помнить, что интерес представляют не сами показатели, а разница между этими показателями для правой и левой половинок листовой пластинки.

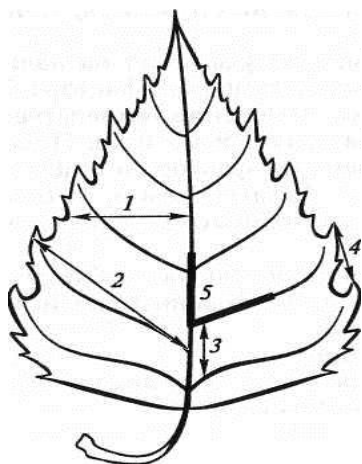


Рис. 5. Морфометрические показатели для оценки флуктуирующей асимметрии:

- 1 – ширина половинки листа;
- 2 – длина второй жилки от основания листа;
- 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок;
- 4 – расстояние между концами этих жилок;
- 5 – угол между главной и второй от основания жилками.

Измерения проводятся курвиметром или линейкой с точностью до 1 мм.

Дополнительно для листовой пластинки можно фиксировать «загнутость» верхушки листовой пластинки (рис. 6).

Величину флуктуирующей асимметрии оценивают с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия по признакам (среднее арифме-

тическое отношение разности к сумме промеров листа справа и слева, отнесенное к числу признаков).



Рис. 6. Примеры «загнутости» верхушки листовой пластинки:  
1 – не загнута; 2 – загнута влево; 3 – загнута вправо;  
4 – «ласточкин хвост».

Коэффициент флуктуирующей асимметрии определяют по формуле, предложенной В.М. Захаровым:

1. Сначала рассчитывают величины различий значений признаков между левой ( $l$ ) и правой ( $r$ ) сторонами листовой пластинки (7):

$$d = \frac{2 \times (d_l - d_r)}{d_l + d_r} \quad (7)$$

2. На втором этапе рассчитывают средние различия признаков между сторонами ( $n$  – число обследованных листовых пластинок) (8):

$$d_m = \frac{\sum d}{n} \quad (8)$$

3. На третьем этапе рассчитывают коэффициент флуктуирующей асимметрии (9):

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum (d - d_m)^2}{n - 1} \quad (9)$$

В случае оценки качественных признаков, например, «загнутости» листовых пластинок вместо величины различий значений признаков между левой и правой сторонами рассчитывают долю суммы асимметрии (10):

$$m_a = \frac{n_a}{n_a + n_b}. \quad (10)$$

где  $n_a$  – число асимметричных листовых пластинок,  $n_b$  – число симметричных листовых пластинок.

По величине коэффициента асимметрии можно делать оценку наличия и воздействия негативных факторов окружающей среды. Величина коэффициента повышается при наличии факторов, либо остается стабильной в случае отсутствия фактора или выработки к нему адаптаций.

В зависимости от величины коэффициента асимметрии дают оценку качества окружающей среды в баллах (таблица 14).

Таблица 14

**Оценка качества среды обитания живых организмов по показателям флуктуирующей асимметрии высших растений**

Виды	Балл				
	1 чисто	2 относительно чисто	3 загряз- нено	4 грязно	5 очень грязно
Береза бородавчатая	<0,055	0,056–0,060	0,061–0,065	0,065–0,070	>0,070
Другие виды растений	<0,0018	0,0019–0,0089	0,0090–0,022	0,022–0,040	>0,04

Для оценки оптимальными являются следующие виды растений: сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*); мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*); клен остролистный (*Acer platanoides*) и ясенелистный

(*A. negundo*), береза повислая (*Betula pendula*) и из водных – рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*), блестящий (*P. lusens*) и плавающий (*P. natans*). Эти виды характеризуются четко выраженной двусторонней симметрией, что является главным требованием метода.

Также можно использовать: подорожник большой (*Plantago major*) как наиболее пластичный вид травянистых растений; манжетку обыкновенную (*Alchemilla vulgaris*); клевер гибридный (*Trifolium hybridum*) и ползучий (*T. repens*) как луговые виды; ячмень (*Hordeum sp.*); овес (*Avena sp.*) и пшеницу (*Triticum sp.*) для оценки состояния агроценозов.

Материал необходимо собирать после завершения интенсивного роста листьев. Выборку листьев древесных растений необходимо делать с нескольких близко растущих деревьев на площади 10×10 м или на аллее длиной 30–40 м, в исключительных случаях с 2–3 растений. Выборка листьев травянистых растений делается с нескольких экземпляров на площади 1 м<sup>2</sup>. Используются только средневозрастные растения, а не молодые и старые.

Для корректной оценки выборка должна составлять не менее 25 листьев среднего размера с одного вида растения. Листья собирают из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток, направленных условно на север, запад, восток и юг. У березы используются листья только с укороченных побегов. На каждой площадке рекомендуется исследовать максимальное количество видов (но не менее одного древесного и одного травянистого).

### **Ход работы**

1. Выбрать несколько участков парка, леса или сквера, подверженных разной степени антропогенному загрязнению (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. На каждом участке сделать не меньше 3 выборок листьев березы согласно методике.

3. Выполнить измерения морфометрических показателей листовых пластинок согласно методике. Результаты занести в таблицу 15.

4. Рассчитать коэффициенты флуктуирующей асимметрии. Провести статистическую обработку данных.

5. Дать сравнительную оценку качества среды обитания.

6. Результаты исследования оформить в тетради.

Таблица 15

### **Морфометрические показатели листовых пластинок березы повислой**

<b>Место сбора</b>											
№	Ширина половины листа		Длина 2-й жил- ки		Расстояние между осно- ваниями 1-й и 2-й жилок		Расстояние между кон- цами 1-й и 2-й жилок		Угол меж- ду глав- ной и 2-й жилками		Форма верхушки
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	
1											



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

### ФИТОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ВСТРЕЧАЕМОСТИ ФЕНОВ КЛЕВЕРА

**Цель:** оценить состояние окружающей среды и уровень антропогенного воздействия с помощью фенотипической индикации (фены белого клевера (*Trifolium repens* L.)).

**Оборудование и материалы:** гербарная папка, гербарный пресс, бумага, нож-копалка, миллиметровая бумага, линейка, определитель растений, мобильное устройство (фотоаппарат).

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Фен – обусловленная генотипически вариация признака, неподразделяемая на составные компоненты без потери качества.

Под воздействием антропогенных факторов в популяциях увеличивается частота встречаемости специфических фенотипов у различных видов растений и животных. Таким образом, частота встречаемости некоторых фенов является биологическим индикатором воздействия антропогенных факторов, в том числе загрязнения окружающей среды.

В качестве фенотипического индикатора можно использовать широко распространенный клевер ползучий. Форма и расположение белого пятна (полоски) на листо-

вых пластинках клевера ползучего и частота их встречаемости служит индикатором загрязнения окружающей среды (рис. 7).

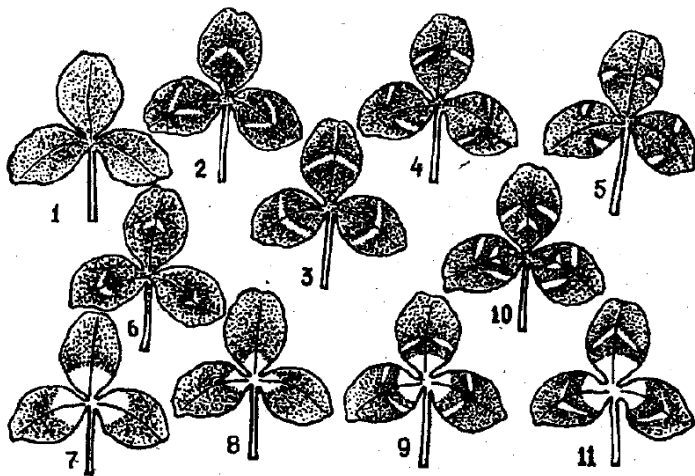


Рис. 7. Наиболее частые фенотипы клевера ползучего:

1. Нет рисунка на листовых пластинках.
2. Белые полосы, образующие острый угол, не достигающий до края.
3. Белые полосы, образующие тупой угол, не достигающий до края.
4. Белые полосы от края, почти до центральной жилки.
5. Белые полосы от края, не достигающие до центральной жилки.
6. Белое пятно на середине длины центральной жилки.
7. Крупное дугообразное белое пятно в основании листовой пластинки.

8. Небольшое угловое белое пятно в основании листовой пластинки.
9. Одновременное проявление фена 4 и 7.
10. Одновременное проявление фена 4 и 6.
11. Одновременное проявление фена 3 и 7.

Наблюдения обычно выполняют на пробных площадках методом маршрутных ходов. Для этого после закладки площадки выбирается маршрут движения, на котором для каждой встреченной биогруппы клевера определяется фенотип. При массовом произрастании клевера ползучего учет фенотипов проводят каждые два-три шага. Если одновременно встречаются несколько фенотипов, то эта точка не учитывается, поскольку имеет место перекрытие биогрупп. Учет на площадке проводится в разных направлениях до тех пор, пока не будет сформирована совокупность не менее 200 учетов.

По результатам учета рассчитывают частоты проявления фенотипов как отношение числа встреч фенов к общему числу учтенных растений (11):

$$P = \frac{n_i}{N}, \quad (11)$$

где  $n_i$  – число растений с  $i$ -тым(1, 2, 3 и т.д.) фенотипом,  $N$  – общее число учтенных растений. Частоты также можно выражать в процентах.

Также по результатам учета рассчитывают индекс соотношения фенов (12):

$$I = \frac{n_2 + n_2 + \dots + n_i}{N}, \quad (12)$$

где  $n_2, n_3, n_i$  – числа растений со 2, 3 ...  $i$ -тым фенотипом,  $N$  – общее число учтенных растений. При расчете индекса фенотип без рисунка на листовых пластинках ( $n_1$ ) не учитывается, поскольку считается «нормой». Индекс также можно выражать в процентах.

Антропогенная нагрузка считается минимальной в случае величины индекса соотношения фенов 0,3 (30%) и растет по мере интенсивности антропогенного пресса, достигая величин 0,7–0,8 (70–80 %).

### ***Ход работы***

1. Выбрать несколько участков с травянистой растительностью (желательно, луговой), подверженные в разной степени антропогенному загрязнению (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Заложить пробные площадки одинакового размера на выбранных участках.

3. Провести учет проявления фенотипов клевера ползучего на площадках, результаты учета занести в таблицу 16.

4. Сравнить частоты проявления фенотипов на разных участках (с использованием критерия хи-квадрат).

5. Рассчитать индексы проявления фенотипов на разных участках.

6. Дать сравнительную оценку антропогенной нагрузки на участки.

7. Результаты исследования оформить в тетради.

Таблица 16

**Учет проявления фенотипов на пробной площадке № \_\_\_\_\_**

<b>Фенотип</b>	<b>Количество растений</b>	<b>Частота фенотипа</b>
Фен 1		
Фен 2		
Фен 3		
Фен 4		
Фен 5		
Фен 6		
Фен 7		
Фен 8		
Фен 9		
Фен 10		
Фен 11		
Другие формы		

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12

---

### **ЗООИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ПОПУЛЯЦИИ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ**

**Цель:** индикация индустриального загрязнения почв по количественной оценке популяции дождевых червей.

**Оборудование и материалы:** лопаты, пакеты для отбора проб, блокнот, карандаш, кусок клеенки, перчатки хозяйственные, пинцет, весы с точностью до грамма.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ**

Индустриальное загрязнение почв связано с выбросами промышленных предприятий и автотранспорта (тяжелые металлы, углеводороды, оксиды углерода, серы, азота и др.) и химических средств защиты растений и удобрений в сельском хозяйстве (пестициды, нитраты). Дождевые черви являются очень чувствительными индикаторами первичной стадии загрязнения почвы, т.к. обитают в верхних слоях почвы, имеют тонкие и влажные покровы тела. Даже при незначительном загрязнении они чутко реагируют снижением численности и биомассы популяций.

Важным ограничивающим фактором численности дождевых червей даже в условиях антропогенного воздействия является влажность почвы – наиболее благоприятна такая влажность, при которой зажата в кулак почва образует ком, не липнущий к руке и сохраняющий свою форму, но рассыпающийся от легкого удара.

Методика зооиндикации состояния почв по дождевым червям следующая:

1. Закладываются профили (как правило, по сторонам горизонта и с учетом господствующих ветров) в зависимости от удаленности от источника загрязнения.

2. На профилях выбираются участки отбора проб. Как правило, участки располагают на расстоянии 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и т.д. километров от источника загрязнения. Участки отбора проб должны быть сходными по составу почвы, растительному покрову и уровню залегания грунтовых вод. Фоновые участки (контроль) должны находиться вне зоны действия загрязнения.

3. На участках закладываются пробные площадки. На пробных площадках измеряется толщина подстилки и степень разложения органических остатков подстилки как косвенного показателя антропогенного загрязнения почв.

4. С пробной площадки берутся почвенные монолиты размером 20×20 см с глубины 0–5 см и 5–10 см (не менее 3 на участок с каждой глубины, оптимально – по 10).

5. Разбор монолитов осуществляется либо на месте (на клеенке), либо в лаборатории (монолит помещается в пакет и транспортируется в лабораторию).

6. Монолит разбирается на небольшие порции, которые тонким слоем распределяются по поверхности лабораторного стола (клеенки). Из слоя почвы пинцетом **осторожно** выбираются обнаруженные дождевые черви.

7. Выбранные с монолита дождевые черви в течение часа пересчитываются и взвешиваются.

8. Рассчитываются усредненные показатели численности (экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (г/м<sup>2</sup>) дождевых червей на участках, по которым дается сравнительная оценка уровня загрязнения почв.

***По окончании оценки рекомендуется вернуть извлеченных дождевых червей на места взятия монолитов.***

### ***Ход работы***

1. Выбрать несколько участков, подверженных в разной степени антропогенному загрязнению (удаленность от источника токсических выбросов, от крупной транспортной магистрали и т.д.).

2. Заложить пробные площадки и выполнить отбор почвенных монолитов.

3. Провести учет дождевых червей из почвенных монолитов. Результаты учета занести в таблицу 17.

4. Сравнить полученные данные между собой и с контролем. Сделать выводы об уровне загрязнения почв.



вы антропогенными выбросами. Установить критическую и нормальную численность и биомассу дождевых червей для разных уровней загрязнения и для чистых почв.

Таблица 17

**Данные учета дождевых червей**

<b>№ участка</b>	<b>№ пробы</b>	<b>Число червей (экз./м<sup>2</sup>)</b>	<b>Масса червей (г/м<sup>2</sup>)</b>	<b>Примечания</b>
Среднее для участка				

5. Построить графики количественного изменения численности и биомассы дождевых червей в зависимости от глубины и уровня загрязнения почв (удаленности от источника загрязнения).

6. Результаты исследования занести в тетрадь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13

---

### БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ЛИШАЙНИКОВ

**Цель:** оценить экологическое состояние атмосферной среды по проективному покрытию стволов деревьев лишайниками в определенном участке города.

**Оборудование и материалы:** атлас-определитель лишайников, рулетка, лупа, нож, прозрачная палетка, емкости для сбора лишайников.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Лишайники относятся к наиболее чувствительным видам, остро реагирующим на загрязнение атмосферы токсичными выбросами, особенно содержащими сернистый газ. Эта специфика часто используется для биологической индикации загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами.

Лишайники – своеобразные симбиотические организмы, слоевище которых образовано грибом (микобионтом) и водорослью (фитобионтом) с преобладанием в большинстве случаев первого. Поскольку слоевище и плодовые тела лишайников грибные по своей природе, современная систематика рассматривает эту группу в общей

системе царства грибов в качестве лихенизированных грибов. Подавляющее большинство лишайниковых грибов относятся к классу *Ascomycetes* – сумчатых грибов, образующих в результате полового процесса споры (аскоспоры), развивающиеся в гимениальном слое плодовых тел. Фотосинтезирующие компоненты лишайников относятся преимущественно к отделам зеленых (*Chlorophyta*) или сине-зеленых (*Cyanophyta*) водорослей. Водоросль снабжает гриб созданными ею в процессе фотосинтеза органическими веществами, а получает от него воду с растворенными минеральными солями. Кроме того, гриб защищает водоросль от высыхания.

Комплексная природа лишайников позволяет им получать питание не только из почвы, но также из воздуха, атмосферных осадков, влаги росы и туманов, частиц пыли, оседающей на слоевище. Лишайники относительно неприхотливы к субстрату, однако большинство видов обладает избирательной способностью и поселяется на определенном субстрате (на известняках, кварцах, коре деревьев или гниющей древесине, на неподвижно лежащих предметах из стекла, кожи, железа и пр.). Лишайники требовательны к свету, могут переносить засуху, но нуждаются хотя бы в периодическом увлажнении, так как процесс фотосинтеза и дыхания идет лишь во влажных слоевищах.

По типу слоевища лишайники делят на накипные (корковые), листоватые, кустистые.

**Накипные** – имеют слоевище в виде тонкой (гладкой или зернистой, бугорчатой) корочки и очень плотно срastaются с субстратом (корой, камнем, почвой), отделить их без повреждений субстрата нельзя.

**Листоватые** – имеют вид мелких чешуек или пластинок, прикрепляются пучками грибных гиф (ризоидами) и легко отделяются от субстрата.

**Кустистые** – имеют вид тонких нитей или более толстых ветвящихся кустиков, прикрепляющихся к субстрату своими основаниями.

Наиболее устойчивыми к загрязнителям являются накипные лишайники, среднеустойчивы листоватые, а слабоустойчивы кустистые лишайники.

Эпифитные лишайники предпочитают старые деревья, причем для них имеет значение поверхность коры. На крупнобугристой коре старых деревьев обычно селятся кустистые виды, реже встречаются листоватые и накипные. На слабоморщинистой коре молодых деревьев растут листоватые и накипные виды, а на гладкой коре поселяются в основном накипные лишайники.

В ряде работ показано, что с помощью лишайников можно получать вполне достоверные данные об уровне загрязнения воздуха. При этом можно выделить группу химических соединений и элементов, к действию которых лишайники обладают сверхповышенной чувствительностью: оксиды серы и азота, фторо-и хлороводород, а также тяжелые металлы. Многие лишайники погибают при малейшем загрязнении атмосферы этими веществами.

Процедура определения качества воздуха с помощью лишайников носит название **лихеноиндикации**.

### ***Ход работы***

1. Выбрать два участка леса (парка) с примерно одинаковым количеством деревьев в непосредственной близости от автомагистрали (№1) и на расстоянии 200–300 м от нее (№2).

2. Отмерить участки площадью 10×10 м, подсчитать на них количество деревьев.

3. Изготовить прозрачную сетку из плотного полиэтилена в виде квадрата 20×20 см, разделенную на 10 частей с каждой стороны (100 квадратиков).

4. Приложить прозрачную сетку плотно к стволу дерева на высоте 0,3–1,3 м. Подсчитать количество квадратов с лишайниками.

5. Подсчитать количество всех видов лишайников под прозрачной сеткой.

6. Подсчитать количество лишайников доминирующего вида. Степень покрытия лишайниками стволов деревьев выражается в процентах.

7. Заполнить таблицу 18.

8. С помощью таблицы 19 оценить качество воздуха, используя средние значения (10 деревьев) числа видов лишайников, степени покрытия и общего количества лишайников на каждом исследуемом дереве.

Таблица 18

**Оценка качества воздуха по проективному покрытию  
ствола дерева**

Порядковый номер дерева	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень покрытия лишайниками, %										
Количество видов лишайников										
Количество лишайников доминирующего вида										

Таблица 19

**Шкала качества воздуха по проективному  
покрытию лишайниками стволов деревьев**

Степень покрытия	Число видов лишайников	Число лишайников доминирующего вида	Степень загрязнения
> 50%	>5	> 5	6-я зона Очень чистый воздух
	3–5	> 5	5-я зона Чистый воздух
	2–5	< 5	4-я зона
20–50%	> 5	>5	Относительно чистый воздух
	> 2	< 5	3-я зона Умеренное загрязнение
<20%	3–5	< 5	2-я зона Сильное загрязнение
	0–2	< 5	1-я зона Очень сильное загрязнение

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14

---

### БИОИНДИКАЦИЯ ТОКСИЧНОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ДАФНИЙ

**Цель:** экологическая оценка качества воды водоемов методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта дафнии.

**Оборудование и материалы:** тест-объекты (дафнии), чашки Петри, микродозатор, мерные цилиндры (10 мл и более), контейнеры с притертой пробкой для хранения раствора, пинцеты, ножницы, весы аналитические.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Дафния — это стандартный тест-объект, который применяется в основном в установлении токсических веществ в воде. Методы биотестирования с использованием дафний, в основном, основаны на регистрации их смертности от действия на них определенных токсических веществ. Вид дафний *Daphnia magna* Straus признан самым универсальным тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные загрязняющие вещества.

Впервые дафнию в качестве тест-объекта использовал в 1933 году ученый Э. Науманн.

Планктонные ракообразные, относящиеся к роду дафний, активные фильтраторы. Пропуская через свой организм большие объёмы воды, они способны накапливать

значительные количества токсических веществ, способствуя тем самым естественному самоочищению воды. Скорость аккумуляции загрязняющих веществ у этой группы организмов очень велика. Дафнии чувствительны даже к небольшим концентрациям некоторых солей, например, добавление солей меди в концентрации 0,01 мг/л вызывает замедление движений рачков, они либо опускаются на дно, либо замирают у поверхностной пленки воды.

Дафнии – мелкие рачки (размеры тела взрослых особей от 0,6 до 6 мм). Они населяют все типы стоячих континентальных водоемов, встречаются также во многих реках с медленным течением. В лужах, прудах и озерах часто имеют высокую численность и биомассу. Дафнии – типичные планктонные рачки, большую часть времени проводящие в толще воды. Различные виды населяют мелкие временные водоемы, литораль и пелагиаль озер. Их значение в жизни наших водоемов очень велико. Бесчисленное множество микроскопических ракообразных служит пищей для многих видов рыб, их личинок и мальков. При этом сами они в свою очередь также поедают множество различных микроорганизмов. Многие мелкие ракообразные питаются фильтрационным способом, процеживают пищевую взвесь. Благодаря их пищевой деятельности осветляется природная вода и улучшается ее качество. Размеры дафний magna составляют: самка – до 6 мм, самец – до 2 мм, новорожденные – 0,7 мм. Созревают в течение 10–14 суток. Пометы через 12–14 суток. В кладке до 80 яиц (обычно 20–30). Продолжительность жизни – до 3-х месяцев.



### ***Ход работы***

1. Пробу исследуемой воды отбирают объемом до 1 л. Для целей биотестирования возможно хранение ее не более 6 часов при температуре 4°C. Пробу воды фильтруют через фильтровальную бумагу и заливают в емкости для тестирования.

2. Берут 3 сосуда для исследуемой воды и 3 сосуда для контрольной пробы, не содержащей токсичных веществ. Наливают в них по 100 мл исследуемой воды и по 100 мл чистой воды для контроля. Исследуемую воду можно разбавить водой, не содержащей токсических веществ. В качестве контрольной воды используют водопроводную воду с отстаиванием в течение 7 суток.

3. В каждый сосуд поместили по 10 особей дафний (односуточных). Их переносят стеклянной трубкой диаметром 7 мм сначала в сачок, затем в воду. Повторность трехкратная. Дафний вовремя эксперимента не кормят. Учет выживших дафний проводят через 1, 6, 24, 48, 72 и 96 часов.

4. На основе полученных данных в трех повторностях рассчитывают среднее арифметическое количество выживших дафний в контроле и опыте. Оценивают достоверность полученных различий. Для расчета процента гибели дафний в опыте по отношению к контролю использовали формулу:

$$\frac{X_k - X_0}{X_k}, \quad (13)$$

где  $X_k$  – среднее арифметическое число выживших дафний в контроле;  $X_o$  – среднее арифметическое число выживших дафний в опыте.

5. Проба воды оценивается как обладающая острой токсичностью, если за 24 часа биотестирования в ней гибнет 50% и более дафний по сравнению с контрольным вариантом. Может получиться так, что в контрольном опыте гибель дафний составила 10% и более. В этом случае опыт необходимо повторить, обратив особое внимание на чистоту воды, используемой для контроля. Поведение дафний при определении зоны загрязнения водоема учитывать по таблице 20.

Таблица 20

**Индикационные изменения дафний**

<b>Зона загрязнения</b>	<b>Индикационные изменения у дафний</b>
<b>1-я</b> – сильное загрязнение (приближенная к источнику загрязнения)	Частичная гибель особей, особи держатся в природном слое, часть теряет активность, наблюдаются случаи «вертячки». Отмечается осадок на антеннах, забиты фильтрационные аппараты. Гибнущие особи имеют розовую диффузную окраску
<b>2-я</b> – среднее загрязнение	Повышение активности сменяется угнетением, дафнии периодически залегают на дно, особи имеют пустой кишечник, мутно-желтую окраску, сердцебиение ослаблено, отсутствуют жировые капли
<b>3-я</b> – слабое загрязнение (удаленная от источника)	Наличие повышенной активности у отдельных особей, у остальных – периоды активности сменяются нормальным состоянием; кишечник слабо наполнен

Таблица 21

**Анализ подсчета погибших дафний  
в опытных и контрольных пробах:**

Точка отбора	Время от начала биотестирования	Количество выживших		Смертность дафний в опыте, % к контролю
		контроль	опыт	
Водопровод	1 час	10	0	0%
	24 часа	10	9	10%
	48 часов	10	8	20%

6. Сделать вывод, результаты исследования записать в тетрадь.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

---

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Есаулко [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2013. – 352 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47281.html>. – ЭБС «IPRbooks»

2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Саральцева, Т.И. Евсеева; под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Саральцевой. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008. – 288 с.

3. Барабаш, Н.В. Экология среды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Барабаш, И.Н. Тихонова. – Электрон. текстовые данные. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. – 139 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62886.html>. – ЭБС «IPRbooks»

4. Большаков, В.Н. Практикум по экологии / В.Н. Большаков. – Екатеринбург: ИД «Сократ», 2003. – 232 с.

5. Бояринова, С.П. Мониторинг среды обитания [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.П. Бояринова – Электрон. текстовые данные. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. –

130 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66912.html>. – ЭБС «IPRbooks»

6. Дафнии. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дафнии>.

7. Латышенко, К.П. Информационно-измерительные системы для экологического мониторинга [Электронный ресурс]: учебное пособие/ К.П. Латышенко, А.А. Попов. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 309 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79627.html>. – ЭБС «IPRbooks»

8. Саркисов, О.Р. Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Юриспруденция» / О.Р. Саркисов, Е.Л. Любарский, С.Я. Казанцев. – Электрон. текстовые данные. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 231 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/74950.html>. – ЭБС «IPRbooks»

### **Дополнительная литература**

9. Калашникова, Л.М. Лабораторный практикум по экологии растений [Электронный ресурс] / Л.М. Калашникова. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет, 2013. – 47 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47679.html>

10. Латышенко, К.П. Экологический мониторинг. Часть 1 [Электронный ресурс]: практикум / К.П. Латышенко. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское

образование, 2019. – 129 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79695.html>. – ЭБС «IPRbooks»

11. Латышенко, К.П. Экологический мониторинг. Часть 2 [Электронный ресурс]: практикум / К.П. Латышенко. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 100 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79696.html>. – ЭБС «IPRbooks»

12. Охрана окружающей среды [Электронный ресурс]: учебное пособие для проведения практических занятий / И.О. Лысенко [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. – 112 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47336.html>. – ЭБС «IPRbooks»

13. Пьядичев, Э.В. Охрана окружающей среды и основы природопользования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.В. Пьядичев и др. – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Проспект Науки, 2015. – 224 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/80095.html>. – ЭБС «IPRbooks»

14. Таловская, А.В. Оценка воздействия на компоненты природной среды. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Таловская, Л.В. Жорняк, Е.Г. Языков. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский политехнический университет, 2014. – 87 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34695.html>. – ЭБС «IPRbook»

15. Хардикова, С.В. Ботаника с основами экологии растений. Часть I [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Хардикова, Ю.П. Верхошенцева. – Электрон. текстовые

данные. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 133 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78768.html>. – ЭБС «IPRbooks»

16. Харин, К.В. Общая экология. Часть 2 [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / К.В. Харин, Е.В. Бондарь. – Электрон. текстовые данные. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. – 149 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66071.html>. – ЭБС «IPRbooks»

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

1. Анисимов, А.П. Экологическое право России [Электронный ресурс]: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / А.П. Анисимов, А.Я. Рыженков, С. А. Чаркин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2016. – 348 с. – (Бакалавр. Прикладной курс). – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/3F77A63A-053F-467A-BDE7-C774A339A77A#page/1>.

2. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды [Текст]: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. Методы биоиндикации / С.М. Чеснокова. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 84 с.

3. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование [Текст]: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Саральцева, Т.И. Евсеева; под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Саральцевой. – 2-е изд., испр. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 288 с.

4. Бояринова, С.П. Мониторинг среды обитания [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.П. Бояринова. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – 130 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66912.html>

5. Данилов-Данильян, В.И. Экология [Электронный ресурс]: учебник и практикум для академ. бакалавриата / В.И. Данилов-Данильян, Н.Н. Митина, Б.М. Малашенков;



под ред. В.И. Данилова-Данильяна. – М.: Юрайт, 2017. – 363 с. – (Бакалавр. Академический курс). – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/viewer/9CD424AD-E2A6-4786-BC3D-6A162E45D296#page/1>

6. Ефремов, И.В. Сборник задач, практических заданий по курсу системы защиты среды обитания [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Ефремов, Е.Л. Горшенкина. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 116 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61404.html>.

7. Живые индикаторы. Портал Библиотекарь. Ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<http://bibliotekar.ru/evrika/4-29.htm>

8. Замалетдинов, Р.И. Биоиндикация и экодиагностика территорий [Текст]: учебно-методическое пособие. / Р.И. Замалетдинов. – Казань: Казанский университет, 2015. – 45 с.

9. Иванова, Н.А. Биоиндикационные методы контроля окружающей среды [Электронный ресурс]: методические указания к самостоятельным занятиям для аспирантов / Н.А. Иванова, Т.В. Сторчак, Э.Р. Юмагулова, А.Г. Карташев. – Томск: ТУСУР, 2018. – 4 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7997>

10. Казаринова, Т.Ф. Методы биотестирования природных сред [Текст]: методические указания к выполнению лабораторных работ / Т.Ф. Казаринова, О.А. Бархатова, Н.И. Башарова. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. – 20 с.

11. Карташев, А.Г. Биоиндикация экологического состояния среды [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Г. Карташев. – Томск: ТУСУР, 2012. – 58 с.

12. Лабораторный практикум по экологии [Текст]: учебно-методическое пособие / Н.А. Иванова, Т.В. Сторчак, Э.Р. Юмагулова. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2014. – 143 с.

13. Латышенко, К.П. Методы и приборы контроля качества среды [Электронный ресурс] / К.П. Латышенко. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 437 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20393.html>

14. Оценка воздействия на окружающую среду: учеб. пособие / под ред. В.М. Питулько. – М.: Academia, 2013. – 400 с.

15. Овечкин, С.В. Диагностика растительного и почвенного покрова Московской области [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Овечкин, Г.М. Майнашева. – М.: Московский городской педагогический университет, 2011. – 152 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26468.html>

16. Пономаренко, О.И. Методы контроля природных объектов и мониторинг окружающей среды [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / О.И. Пономаренко, М.А. Ботвинкина. – Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2011. – 189 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57531.html>

17. Соколова, Г.Г. Практикум по биоиндикации экологического состояния окружающей среды [Текст] / Г.Г. Соко-

лова, Е.А. Шарлаева. – Барнаул: Изд-во Алтайск. гос. ун-та, 2006. – 110 с.

18. Старостина, И.В. Промышленная экология [Текст]: учеб.-практ. пособие / И.В. Старостина, Л.М. Смоленская. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 214 с.

19. Шабанова, А.В. Методы контроля окружающей среды в примерах и задачах [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Шабанова. – Электрон. текстовые данные. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2009. – 209 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20478.html>.

20. Экологический мониторинг [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Т.Я. Ашихмина [и др.]. – М.: Академический Проект Альма Матер, 2016. – 416 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60099.html>

21. Экологический мониторинг и восстановление природных объектов. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Киселев. – СПб.: Проспект Науки, 2017. – 100 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/80093.html>

## ПРИЛОЖЕНИЯ

---

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристика полевых и камеральных биоиндикационных методов.

2. Научные основы мониторинга окружающей среды на региональном и глобальном уровнях.

3. Группы организмов-индикаторов состояния окружающей среды.

Основные требования к организмам-индикаторам.

4. Биоиндикация как альтернативный подход к оценке состояния окружающей среды.

5. Современные технологии в биоиндикации антропогенных изменений среды.

6. Биотестирование и рекомендуемые биотесты.

7. Специфика водной среды как объекта индикации

8. Биоиндикация водных экосистем с использованием беспозвоночных.

9. Специфика организации животных с позиции возможности использования их в качестве биологических индикаторов состояния окружающей среды.

10. Почвенные беспозвоночные (мезофауна) – биоиндикаторы промышленных загрязнений.

11. Принципы современной лишеноиндикации.

12. Достоинства и недостатки применения лишайников в качестве состояния окружающей среды.

13. Специфика применения грибов в качестве индикаторов состояния окружающей среды.

14. Специфика сосудистых растений, как объекта биологической индикации состояния окружающей среды.
15. Основные характеристики эколого-ценотических групп сосудистых растений.
16. Научные направления фитоиндикации экологических режимов местообитаний.
17. Биоиндикационные базы данных и прикладные программы для фитоиндикации биотопов.
18. Характеристика метода «засечек», «ограничений» и «среднего балла».
19. Классификации эколого-ценотических групп и их сравнительный анализ.
20. Понятие об экоморфах. Классификация экоморф.
21. Эколого-ценотической группы и экоморфы как биоиндикаторы.
22. Индексы биоиндикации, их характеристика, преимущества и недостатки
23. Экологический стресс и биоиндикация.
24. Принципы экологической толерантности.
25. Биоиндикация и уровни организации биоты.
26. Методика синбиоиндикационной оценки экологических факторов.
27. Методики оценки режимов экологических факторов.
28. Биоиндикация структуры экосистемы.
29. Биоиндикация и ординация сообществ.
30. Биоиндикация экологических градиентов.
31. Основные требования к индикационным показателям
32. Формы биоиндикации.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

### **ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ**

К работе в лаборатории обучающиеся допускаются только после ознакомления с организацией её работы и правилами техники безопасности.

При проведении занятий студент должен соблюдать правила внутреннего распорядка.

Хранение портфелей, сумок и других вещей допускается в специально отведенных местах в лабораторных столах.

В лаборатории запрещается пить воду, принимать и хранить пищу, курить.

Категорически запрещается пробовать на вкус любые вещества, имеющиеся в кабинете.

В качестве рабочей одежды необходимо иметь хлопчатобумажный халат.

Приступать к работе можно только в присутствии преподавателя или лаборанта.

Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать тишину, чистоту и порядок на своем рабочем месте и в лаборатории.

Перед началом работы по проведению опытов необходимо проверить наличие необходимой посуды, приборов, реактивов, принадлежностей.

Все вопросы по выполнению исследования, возникающие в процессе работы, следует немедленно решить с преподавателем.

Запрещается пользоваться стеклянной посудой или приборами, имеющими хотя бы небольшие трещины.

При работе со стеклянными приборами, посудой и другими изделиями из стекла необходимо соблюдать технику безопасности.

Если разбита лабораторная посуда, то не собирать ее осколки незащищенными руками, а использовать для этих целей перчатки, щетку и совок.

Соблюдать правила эксплуатации электроприбора, не подвергать его механическим ударам, не допускать падений.

Не включать электроприбор в электрическую сеть мокрыми и влажными руками.

Не касаться проводов и других токоведущих частей, находящихся под напряжением.

При переливании жидкостей необходимо пользоваться воронкой, поставленной в кольцо штатива над сосудом-приемником.

По завершении работы необходимо привести в порядок рабочее место.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

**СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ЗАНЯТИЯМ**

Таблица 1

**Некоторые наиболее часто встречаемые в средней полосе  
России растения-индикаторы наличия  
питательных веществ в почве**

<b>Вид</b>	<b>Индикаторная значимость</b>
<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Мегатрофы – индикаторы большого количества питательных веществ</b>	
Герань лесная ( <i>Geranium sylvaticum</i> )	1
Горец перечный (водяной перец) ( <i>Polygonum hydropter</i> )	1
Грушанка круглолистная ( <i>Pyrola rotundifolia</i> )	1
Дурман обыкновенный ( <i>Datura stramonium</i> )	1
Звездчатка дубравная ( <i>Stellaria nemorum</i> )	1
Иван-чай узколистый ( <i>Chamenerion angustifolium</i> )	1
Крапива ( <i>Urtica sp.</i> )	1
Купена многоцветковая ( <i>Polygonatum multiflorum</i> )	1
Ландыш майский ( <i>Convallaria majalis</i> )	1
Мятлик обыкновенный ( <i>Poa trivialis</i> )	1
Осока лисья ( <i>Carex vulpina</i> )	1
Папоротник страусник ( <i>Struthiopteris filicastrum</i> )	1
Подбел обыкновенный ( <i>Andromeda polifolia</i> )	1
Пролесник многолетний ( <i>Mercurialis perennis</i> )	1
Таволга обыкновенная ( <i>Filipendula vulgaris</i> )	1
Фиалка удивительная ( <i>Viola mirabilis</i> )	1
<b>Мезотрофы – индикаторы среднего достатка питательных веществ</b>	
Бересклет бородавчатый ( <i>Euonymus verrucosa</i> )	2
Ветреница лютичная ( <i>Anemone ranunculoides</i> )	2
Грушанка круглолистная ( <i>Pyrola rotundifolia</i> )	2



Окончание табл. 1

1	2
Земляника ( <i>Fragaria sp.</i> )	2
Калужница болотная ( <i>Caltha palustris</i> )	2
Клевер луговой ( <i>Trifolium medium</i> )	2
Купальница европейская ( <i>Trollius europaeus</i> )	2
Лапчатка прямостоячая (калган) ( <i>Potentilla erecta</i> )	2
Папоротник щитовник мужской ( <i>Dryopteris filix-mas</i> )	2
Подмаренник настоящий ( <i>Galium mollugo</i> )	2
Смолевка поникшая ( <i>Silene acaulis</i> )	2
Сфагнум береговой ( <i>Sphagnum sp.</i> )	2
Щавель малый ( <i>Rumex acetosa</i> )	2
<b>Олиготрофы – индикаторы низкого достатка питательных веществ</b>	
Брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> )	3
Клевер пашенный ( <i>Trifolium arvense</i> )	3
Клюква болотная ( <i>Oxycoccus palustris</i> )	3
Лишайник кладония ( <i>Cladonia sp.</i> )	3
Осока топяная ( <i>Carex limosa</i> )	3
Плаун булавовидный ( <i>Lycopodium clavatum</i> )	3
Черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	3
Щавель малый ( <i>Rumex asetosella</i> )	3
Ястребинка волосистая ( <i>Hieracium pilosella</i> )	3
<b>Эвритрофы– растения, развивающиеся на почвах различного до- статка</b>	
Клевер ползучий ( <i>Trifolium repens</i> )	4
Душистый колосок ( <i>Anthoxantum odoratum</i> )	4
Лапчатка серебристая ( <i>Potentilla argentea</i> )	4
Лютик едкий ( <i>Ranunculus acris</i> )	4
Лютик ползучий ( <i>R. repens</i> )	4
Овсяница луговая ( <i>Festuca pratensis</i> )	4
Пастушья сумка ( <i>Capsella bursa-pastoris</i> )	4
Тысячелистник обыкновенный ( <i>Achillea millefolium</i> )	4

Таблица 2

**Некоторые представители растений – индикаторов  
кислотности почв**

Вид	Индикаторная значимость
1	2
<b>Крайние ацидофилы (pH 3,0–4,0)</b>	
Марьянник луговой ( <i>Melampyrum pratense</i> )	1
Осока волосистоплодная ( <i>Carex lasiocarpa</i> )	1
Плаун булавовидный ( <i>Lycopodium clavatum</i> )	1
Росянка круглолистная ( <i>Drosera rotundifolia</i> )	1
Черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	1
<b>Умеренные ацидофилы (pH 4,5–6,0)</b>	
Багульник болотный ( <i>Ledum palustre</i> )	2
Вейник незамеченный ( <i>Calamagrostis neglecta</i> )	2
Грушанка малая ( <i>Pyrola minor</i> )	2
Калужница болотная ( <i>Caltha palustris</i> )	2
Лютик едкий ( <i>Ranunculus acris</i> )	2
Осока двурядная ( <i>Carex disticha</i> )	2
Осока ложносытевидная ( <i>Carex pseudocyperus</i> )	2
Подмаренник трехнадрезанный ( <i>Galium trifidum</i> )	2
Седмичник европейский ( <i>Trintalis europaea</i> )	2
<b>Слабые ацидофилы (pH 5,0–6,7)</b>	
Белокрыльник болотный ( <i>Canna palustris</i> )	3
Ветреница лютичная ( <i>Anemone ranunculoides</i> )	3
Горец змеиный (раковые шейки) ( <i>Polygonum bistorta</i> )	3
Звездчатка дубравная ( <i>Stellaria nemorum</i> )	3
Кипрей мелкоцветковый ( <i>Epilobium parviflorum</i> )	3
Медуница неясная ( <i>Pulmonaria obscura</i> )	3
Осока желтая ( <i>Carex flavella</i> )	3
Сабельник болотный ( <i>Comarum palustre</i> )	3
Ситник скученный ( <i>Juncus conglomeratus</i> )	3
Скерда болотная ( <i>Crepis paludosa</i> )	3
<b>Ацидофилнейтральные (pH 4,5–7,0)</b>	
Вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> )	4
Иван-чай узколистный ( <i>Chamaenerion angustifolium</i> )	4

Окончание табл. 2

1	2
Крапива жгучая ( <i>Urtica urens</i> )	4
Ландыш майский ( <i>Convallaria majalis</i> )	4
Марь красная ( <i>Chenopodium rubrum</i> )	4
Мятлик расставленный ( <i>Poa remota</i> )	4
Овсяница луговая ( <i>Festuca pratensis</i> )	4
Хмель вьющийся ( <i>Humulus lupulus</i> )	4
Ястребинка луговая ( <i>Hieracium pratense</i> )	4
<b>Околонеутральные (pH 6,0–7,3)</b>	
Василисник малый ( <i>Thalictrum minus</i> )	5
Клевер горный ( <i>Trifolium montanum</i> )	5
Мыльнянка лекарственная ( <i>Saponaria officinalis</i> )	5
Очиток едкий ( <i>Sedum acre</i> )	5
Полынь шелковистая ( <i>Artemisia sericea</i> )	5
Полынь широколистная ( <i>A. latifolia</i> )	5
Смолевка поникшая ( <i>Silene acaulis</i> )	5
Таволга обыкновенная ( <i>Filipendula vulgaris</i> )	5
Чертополох поникший ( <i>Carduus nutans</i> )	5
<b>Нейтрально-базофильные (pH 6,7–7,8)</b>	
Василек русский ( <i>Centaurea ruthenica</i> )	6
Грушанка зеленоцветковая ( <i>Pyrola chlorantha</i> )	6
Кизильник среднерусский ( <i>Cotoneaster alaunicus</i> )	6
Люцерна серповидная ( <i>Medicago falcata</i> )	6
Мать-и-мачеха ( <i>Tussilago farfara</i> )	6
Молочай тонкий ( <i>Euphorbia subtilis</i> )	6
Фиалка скальная ( <i>Viola rupestris</i> )	6
Ястребинка зонтиковидная ( <i>Hieracium cymosum</i> )	6
Крапива двудомная ( <i>Urtica dioica</i> )	6
<b>Базофильные (pH 6,7–8,5)</b>	
Астра солончаковая ( <i>Aster tripolium</i> )	7
Болотница пятицветковая ( <i>Eleocharis quinqueflora</i> )	7
Лапчатка белая ( <i>Potentilla alba</i> )	7
Лен многолетний ( <i>Linum perenne</i> )	7
Меч-трава обыкновенная ( <i>Cladium mariscus</i> )	7
Многоножка обыкновенная ( <i>Polypodium vulgare</i> )	7
Плевел трансильванский ( <i>Lolium ranssilvanica</i> )	7
Пузырник ломкий ( <i>Cystopteris fragilis</i> )	7

Таблица 3

## Некоторые растения – индикаторы влажности почвы

Вид	Индикаторная значимость
1	2
<b>Гигрофиты</b>	
Бодяк болотный ( <i>Cirsium palustre</i> )	1
Болотница болотная ( <i>Eleocharis palustris</i> )	1
Вахта трехлистная ( <i>Menyanthes trifoliata</i> )	1
Вейник незамеченный ( <i>Calamagrostis neglecta</i> )	1
Герань болотная ( <i>Geranium palustre</i> )	1
Горец земноводный ( <i>Polygonum amphibium</i> )	1
Горец змеиный (раковая шейка) ( <i>P. bistorta</i> )	1
Горец перечный (водяной перец) ( <i>P. hydropiper</i> )	1
Дербенник иволистный ( <i>Lythrum salicaria</i> )	1
Звездчатка длиннолистная ( <i>Stellaria longifolia</i> )	1
Звездчатка толстолистная ( <i>St. crassifolia</i> )	1
Калужница болотная ( <i>Caltha palustris</i> )	1
Камыш лесной ( <i>Scirpus sylvaticus</i> )	1
Камыш озерный ( <i>S. lacustris</i> )	1
Кипрей мелкоцветковый ( <i>Epilobium parviflorum</i> )	1
Лисохвост коленчатый ( <i>Alopecurus geniculatus</i> )	1
Лютик жгучий ( <i>Ranunculus flammula</i> )	1
Лютик ядовитый ( <i>R. sceleratus</i> )	1
Мятлик обыкновенный ( <i>Poa trivialis</i> )	1
Незабудка болотная ( <i>Myosotis palustris</i> )	1
Незабудка дернистая ( <i>M. caespitosa</i> )	1
Осока вздутая ( <i>Carex rostrata</i> )	1
Осока лисья ( <i>C. vulpiria</i> )	1
Осока пузырчатая ( <i>C. vesicaria</i> )	1
Осока топяная ( <i>C. limosa</i> )	1
Осока удлиненная ( <i>C. elongata</i> )	1
Подмаренник болотный ( <i>Galium palustre</i> )	1
Пушица влагалищная ( <i>Eriophorum latifolium</i> )	1
Рогоз узколистный ( <i>Typha angustifolia</i> )	1

Окончание табл. 3

1	2
Росянка круглолистная ( <i>Drosera rotundifolia</i> )	1
Сабельник болотный ( <i>Comarum palustre</i> )	1
Ситник жабий ( <i>Juncus bufonius</i> )	1
Ситник скученный ( <i>Juncus conglomerate</i> )	1
Сусак зонтичный ( <i>Butomus umbellatus</i> )	1
Сушеница топяная ( <i>Gnaphalium uliginosum</i> )	1
Таволга вязолистная ( <i>Filipendula ulmaria</i> )	1
Тростник обыкновенный ( <i>Phragmites australis</i> )	1
Частуха подорожниковая ( <i>Alisma plantago-aquatica</i> )	1
Черёда поникшая ( <i>Bidens cernua</i> )	1
<b>Ксерофиты</b>	
Молочай тонкий ( <i>Euphorbia subtilis</i> )	2
Мятлик луковичный ( <i>Poa bulbosa</i> )	2
Мятлик сплюснутый ( <i>P. compressa</i> )	2
Очиток едкий ( <i>Sedum acre</i> )	2

Таблица 4

**Наиболее часто встречаемые растения – индикаторы  
гранулометрического состава почв**

Вид	Индикаторная значимость
1	2
<b>Пелитофиты – на тяжелых суглинках и глинах</b>	
Звездчатка средняя (мокрица) ( <i>Stellaria media</i> )	1
Синяк обыкновенный ( <i>Echium vulgare</i> )	1
Лебеда серая ( <i>Atriplex incana</i> )	1
Осока просяная ( <i>Carex panicea</i> )	1
Пузырник ломкий ( <i>Cystopteris fragilis</i> )	1
Крапива двудомная ( <i>Urtica dioica</i> )	1
<b>Алевритофиты – на легких почвах</b>	
Астрагал датский ( <i>Astragalus danicus</i> )	2
Клевер пашенный ( <i>Trifolium arvense</i> )	2
Коровяк обыкновенный ( <i>Verbascum thapsus</i> )	2
Купена лекарственная ( <i>Polygonatum officinale</i> )	2
Лапчатка прямостоящая ( <i>Potentilla argentea</i> )	2
Льнянка обыкновенная ( <i>Linaria vulgaris</i> )	2
Очиток едкий ( <i>Sedum acre</i> )	2
Смолевка лежачая ( <i>Silene procumbens</i> )	2
Ястребинка зонтиковидная ( <i>Hieracium cymosum</i> )	2
<b>Псаммофиты – обитатели песков</b>	
Белокопытник ложный ( <i>Petasites spurius</i> )	3
Грушанка зеленоцветковая ( <i>Pyrola chlorantha</i> )	3
Житняк ширококолосистый ( <i>Agropyron sibiricum</i> )	3
Лапчатка гусиная ( <i>Potentilla arenaria</i> )	3
Пырей ситниковый ( <i>Agropyron junceum</i> )	3
Фиалка песчаная ( <i>Viola arenaria</i> )	3
Цмин песчаный (бессмертник) ( <i>Helichrysum arenarium</i> )	3

## БЛАНК ГЕОБОТАНИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ

Описание № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Название ассоциации \_\_\_\_\_

Размер пробной площадки \_\_\_\_\_

Географическое положение (область, район, населенный пункт) \_\_\_\_\_

Геоморфологические условия (общая характеристика макро-мезорельефа) Положение в рельефе \_\_\_\_\_

Микрорельеф \_\_\_\_\_

Гидрологический режим \_\_\_\_\_

Почва (вид, степень увлажнения) \_\_\_\_\_

Проективное покрытие, % \_\_\_\_\_

### ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ

#### *Древесный ярус*

№ п/п	Название растений	Ярус	Господствующая высота, м	Диаметр ствола	Число стволов на площади, 100 кв. м	Характер распределения	Прим.

**Ярус кустарников, кустарничков, полукустарничков**

№ п/п	Название растений	Высота, см	Обилие по Друде	Фенофаза	Жизненность	Характер распределения	Прим.

**Ярус мхов и лишайников**

№ п/п	Название растений	Обилие по Друде	Характер распределения	Примечание

Высота мохового покрова \_\_\_\_\_

Жизненные формы и экологические группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Хозяйственное использование болота \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Геоботаник \_\_\_\_\_ (подпись)



## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ТЕРМИНЫ, ПОНЯТИЯ ПО БИОИНДИКАЦИИ И БИОТЕСТИРОВАНИЮ

*Адаптация* – приспособление живого организма к постоянно изменяющимся условиям существования во внешней среде, выработанного в процессе эволюционного развития.

*Биодиагностика* – выявление причин или факторов изменения состояния среды на основе видов биоиндикаторов с узкоспецифичными реакциями и отношениями. Включает биоиндикацию и биотестирование.

*Биоиндикация* – обнаружение и определение экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций на них организмов.

*Биомаркер* – характеристика (*биологический* признак), которая используется в качестве индикатора состояния всего организма.

*Биотестирование* – процедура установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности, независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов.

*Геобионты* – постоянные обитатели почв.

*Геоксены* – животные, лишь временно укрывающиеся в почве.

*Геофилы* – животные, живущие в почве на протяжении части жизненного цикла.

*Глобальный мониторинг* – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере земли, выявление и прогнозирование экстремальных ситуаций глобального характера.

*Дендроиндикация* – метод биоиндикации, позволяющий на основе анализа характеристик древесного яруса и полога подроста (радиальный и линейный прирост, продолжительность жизни хвои, наличие некроза и хлороза, жизненное состояние древостоя и т.д.) судить о состоянии природной среды.

*Диапазон толерантности* – минимальное и максимальное значения экологического фактора, переносимого данным организмом или экосистемой в целом.

*Лишеноиндикация* – определение качества атмосферного воздуха с помощью лишайников.

*Мониторинг* – система постоянного наблюдения за явлениями и процессами, проходящими в окружающей среде и обществе, результаты которого служат для обоснования управленческих решений по обеспечению безопасности людей и объектов экономики.

*Организмы-индикаторы* – живые организмы, которые применяются при биоиндикационных исследованиях природной среды и состояния экосистем.

*Региональный мониторинг* – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру и по антропогенным воздействиям от базового фона.

*Сапробность* – комплекс физиолого-биохимических свойств организма, обуславливающий его способность

обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ, то есть с той или иной степенью.

*Тест-объекты* – растения и животные, которых используют для оценки качества воздуха, воды или почвы в лабораторных опытах.

*Токсичность* – свойство некоторых химических соединений и веществ биологической природы при попадании в определенных количествах в живой организм (человека, животного и растения) вызывать нарушения его физиологических функций, в результате чего возникают симптомы отравления (интоксикации, заболевания), а при тяжелых отравлениях – гибель.

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

*Фитоиндикация* – оценка состояния окружающей среды с использованием различных признаков и свойств отдельных растений или растительных сообществ и их комплексов.

*Учебное издание*

**Назаренко Назар Николаевич  
Мосиенко Марина Юрьевна**

**БИОИНДИКАЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

ISBN 978-5-907210-03-5

Работа рекомендована РИС университета  
Протокол № 18, 2019 г.

Издательство ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Е.М. Сапегина  
Компьютерный набор М.Ю. Мосиенко  
Технический редактор Н.А. Усова

Подписано в печать 07.02.2019

Объем 2,93 уч.-изд. л. (6,8 усл. п. л.)

Тираж 100 экз.

Формат 60x84/16

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69