

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Витебский государственный  
университет имени П.М. Машерова»  
Кафедра экологии и географии

**В.В. Яновская**

# **БИОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

*Методические рекомендации*

*Витебск  
ВГУ имени П.М. Машерова  
2025*

УДК 502.175:574.2(075.8)

ББК 20.175в676я73

Я64

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 1 от 08.09.2025.

Автор: доцент кафедры экологии и географии ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук, доцент **В.В. Яновская**

Р е ц е н з е н т :

заведующий кафедрой фундаментальной и прикладной биологии  
ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук,  
доцент *И.И. Ефременко*

**Яновская, В.В.**

**Я64**

Биоиндикация качества природной среды : методические рекомендации / В.В. Яновская. — Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2025. — 72 с.

ISBN 978-985-30-0294-2.

Данное издание разработано для студентов, обучающихся по специальности 6-05-0521-01 Экология. В нем рассматриваются некоторые методы и практические приемы, используемые в биоиндикации, позволяющие оценить качество окружающей среды. Отдельный раздел представлен в виде тестовых заданий по учебной дисциплине.

УДК 502.175:574.2(075.8)

ББК 20.175в676я73

ISBN 978-985-30-0294-2

© Яновская В.В., 2025

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Лабораторная работа № 1. Биоиндикация загрязнения воздуха по состоянию сосны обыкновенной .....	5
Лабораторная работа № 2. Определение состояния окружающей среды по комплексу признаков у хвойных на примере ели обыкновенной .....	10
Лабораторная работа № 3. Определение состояния воздуха по лишайникам .....	13
Лабораторная работа № 4. Индикация состояния среды по морфологическим реакциям организмов .....	17
Лабораторная работа № 5. Индикация состояния окружающей среды по величине флуктуирующей асимметрии листа березы бородавчатой .....	22
Лабораторная работа № 6. Фитоиндикация воздушной среды .....	25
Лабораторная работа № 7. Половая структура популяций жесткокрылых как показатель условий среды обитания .....	30
Лабораторная работа № 8. Насекомые и растения как биоиндикаторы антропогенной трансформации .....	30
Лабораторная работа № 9. Типы повреждений, наносимых насекомыми .....	33
Лабораторная работа № 10. Индикация физико-химических параметров почв .....	45
Лабораторная работа № 11. Биотестирование качества вод .....	48
Лабораторная работа № 12. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям .....	50
Лабораторная работа № 13. Методы биотестирования в лесном и сельском хозяйстве .....	54
Вопросы для самостоятельной работы .....	58
Тестовые задания по дисциплине .....	59
Библиографический список .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Биоиндикация — это использование хорошо заметных и доступных для наблюдения биологических объектов с целью определения менее легко наблюдаемых компонентов (например, различных воздействий или загрязнителей). Биоиндикация является составной частью биомониторинга, выполняет функцию экспресс-метода оценки качества окружающей среды, хотя и мало специфичного, но эффективного в регистрации возникающего экологического напряжения. Существует несколько подходов к индикации экологических условий. Основаны они на использовании абсолютных стандартов сравнения (например, системы, не подверженные воздействию антропогенных факторов, находящиеся в фоновом режиме) или относительных стандартов (корреляции с пространственно-временными изменениями антропогенных факторов среды). Для реализации этих задач задействуются разнообразные средства, объекты и материалы, применение которых зависит от типа анализируемой среды, экосистемы, а также возможности исследователя.

Учебная дисциплина «Биоиндикация качества природной среды» способствует формированию у студентов-экологов целостного представления о методах определения биологически значимых антропогенных нагрузок методами биоиндикации и биотестирования.

В данных методических рекомендациях рассматриваются некоторые методы и практические приемы, используемые в биоиндикации, нетрудоемкие, позволяющие составить суждение о специфике почвенной, водной и воздушной сред обитания. Студентам предлагается сравнить характеристики различных биологических объектов с точки зрения их индикаторной ценности, выделить наиболее эффективные для конкретных случаев уровни индикации, тест-функции организмов. В издание включены работы, отражающие возможности биоиндикации на разных уровнях: организменном, видовом, биоценотическом. Также представлены задания для усвоения основных теоретических положений. Отдельный раздел посвящен практическим вопросам регистрации и идентификации биоповреждений. Представлены вопросы и тестовые задания для самостоятельной подготовки к промежуточному и итоговому контролю.

Структура методических рекомендаций логически связана с теоретическим курсом «Биоиндикация качества природной среды», построена на основании учебной программы дисциплины и максимально адаптирована к условиям и возможностям кафедры экологии и географии.

## **Лабораторная работа № 1**

### **Биоиндикация загрязнения воздуха по состоянию сосны обыкновенной**

**Цель работы:** определить с помощью биоиндикаторов степень загрязнения атмосферного воздуха в городе Витебске.

Сформировать навыки работы с биоматериалом, научить определять типы некрозов на примере сосны обыкновенной, определение продолжительности жизни сосны, использовать полученные данные для мониторинга окружающей среды.

**Материал и оборудование:** практикум, гербарий, линейка, лупа.

#### **Общие сведения**

Биоиндикация — это оценка состояния окружающей среды по реакции живых организмов (растения, животные). Сущность биоиндикации в том, что определенные факторы среды создают возможность существования того или иного вида. Виды, которые позволяют выявить специфические особенности среды, называют индикаторами. Биоиндикация дает возможность судить об изменениях состояния среды и прогнозировать направление этих изменений.

При изучении степени загрязнения окружающей среды важна реакция организмов на загрязнители. Систему наблюдений за этой реакцией называют биологическим мониторингом.

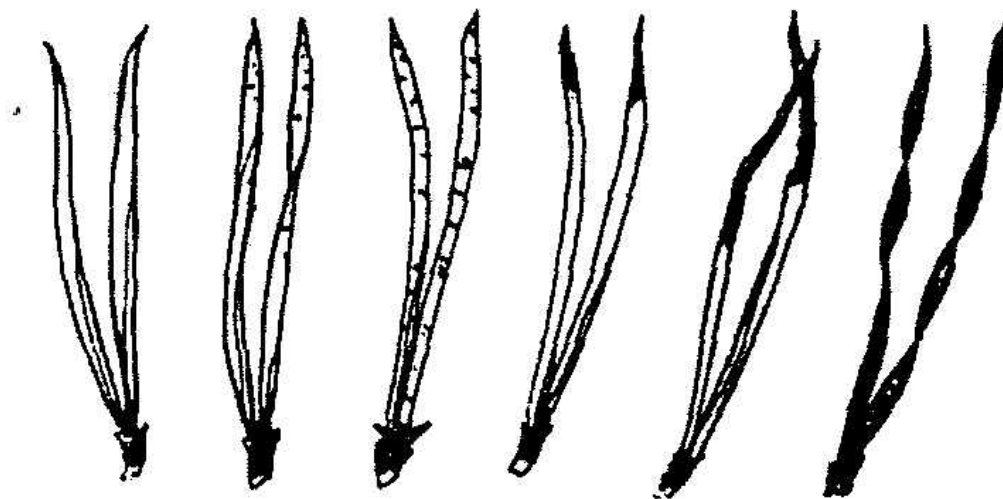
Загрязнение воздушного бассейна вызвано выбросами автомобильного транспорта. Автомобилями выбрасывается в атмосферу более 280 веществ и соединений, отработавшие газы которых поступают в приземный слой атмосферы и содержат оксид углерода (наиболее характерный для бензиновых двигателей), оксиды азота, различные углеводороды (включая бензапирен), альдегиды, диоксид серы и сажу. Автомобиль загрязняет атмосферный воздух не только токсичными компонентами отработанных газов, парами топлива, но и продуктами износа шин, тормозных накладок. Загрязняющие вещества оседают как в непосредственной близости от дороги, так и на значительном расстоянии от нее и загрязняют придорожную почву, поверхностные воды и растительность. В городские водоемы и почву попадают топливо и масло, моющие средства и грязная вода после мойки. В атмосферный воздух постоянно поступают пары топлива из баков, которые более заметны в летний период в местах массовых стоянок автомобилей.

Наибольшее количество вредных (загрязняющих) веществ выбрасывается в воздух при запуске и прогреве двигателя, а также на режимах холостого хода, набора скорости и торможения. Такие непостоянные режимы характерны возле светофоров, поэтому эти участки становятся наиболее загазованными, особенно если на дороге образуются автомобильные пробки.

**Объект** исследования: сосна, потому что она чувствительна к загрязнению среды. Продолжительность жизни хвои у сосны составляет 3–4 года. За это время она накапливает такое количество сернистого газа, которое может существенно превысить пороговые значения.

Информативными по техногенному загрязнению являются морфологические и анатомические изменения, а также продолжительность жизни хвои сосны. В незагрязненных лесных экосистемах основная масса хвои сосны здорова, не имеет повреждений и лишь малая часть хвоинок имеет светло-зеленые пятна и некротические точки микроскопических размеров, равномерно рассеянные по всей поверхности.

При загрязнении атмосферного воздуха появляются повреждения и снижается продолжительность жизни хвои сосны. На рисунке 1.1 показаны различные варианты состояния хвои сосны.



Примечание: 1 — хвоинки без пятен; 2, 3 — с черными и желтыми пятнами; 4–6 — хвоинки с усыханием.

**Рисунок 1.1 — Повреждение и усыхание хвои сосны**

Следует иметь в виду, что шипик на конце хвоинки всегда более светлый, поэтому его окраска не включается в оценку!!!!

Различают следующие виды **некрозов**:

- краевой некроз (по краям хвоинки);
- срединный некроз;
- точечный — отмирание тканей листа в виде пятен, рассыпанных по всей поверхности хвоинки.

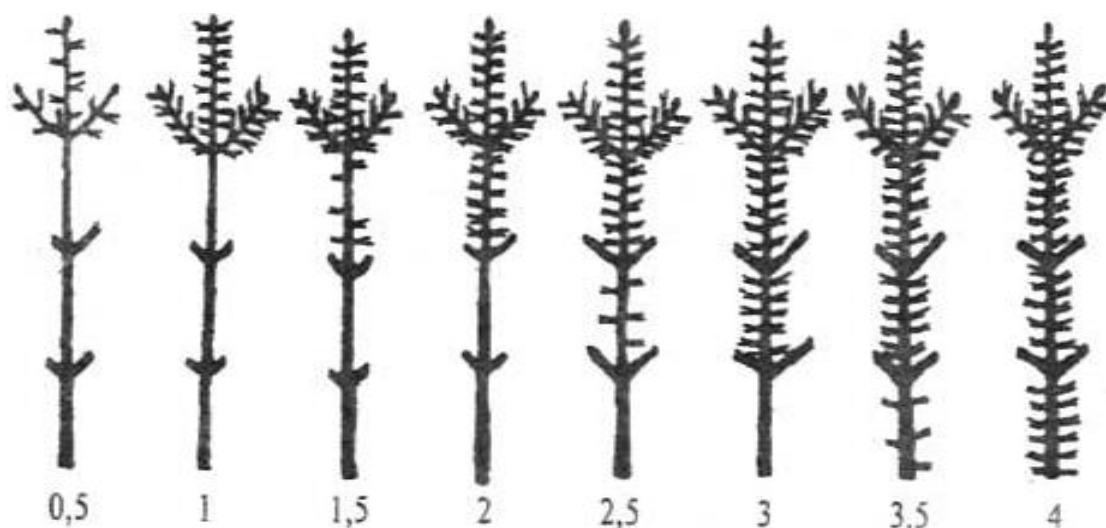
*Если сосновые иголки без пятен, воздух считают идеально чистым; если хвоинки с редкими мелкими пятнами, воздух чистый. Если имеются хвоинки с частыми мелкими пятнами, можно говорить о загрязненном воздухе, а при наличии желтых и черных пятен — об опасно грязном воздухе. Когда максимальный возраст хвои не превышает одного*

*года и хвоинки все в многочисленных пятнах, можно говорить уже об очень грязном, вредном для здоровья воздухе.*

Скорость поступления фитотоксиканта сильно зависит от влажности воздуха и насыщенности листьев водой. Увлажненные хвоинки поглощают сернистый газ в несколько раз больше, чем сухие. Растение интенсивно накапливает в тканях серу. Молодые хвоинки (молодые деревья) активнее поглощают сернистый газ, чем старые. Поэтому возраст сосновой хвои указывает на степень загрязнения. При концентрации сернистого газа 1:1000000 хвоя сосны опадает. Фотосинтез полностью прекращается.

Изреживание кроны происходит в результате обесхвоенности (дефолиации), когда воздействие загрязняющих веществ (в том числе и сернистый газ) приводит к разрушению верхней части дерева.

Существует удобный способ определения возраста хвои с помощью **мутовок** (рисунок 1.2).



**Рисунок 1.2 — Схема повреждения продолжительности жизни хвои сосны**

**Методика** индикации чистоты атмосферы по хвое сосны состоит в следующем: с нескольких боковых побегов в средней части кроны деревьев сосны отбирают 200 пар хвоинок второго и третьего года жизни.

Анализ хвои проводят в лаборатории. Вся хвоя делится на три части (неповрежденная хвоя, хвоя с пятнами и хвоя с признаками усыхания), и подсчитывается количество хвоинок в каждой группе. Данные заносятся в таблицу 1.1.

Хвою осматривают при помощи лупы, выявляют хлорозы, некрозы кончиков хвоинок и всей поверхности, их процент и характер (точки, крапчатость, пятнистость, мозаичность). Чаще всего повреждаются самые чувствительные молодые иглы. Цвет повреждений может быть самым разным: красноватобурый, желто-коричневым, буровато-сизым и эти оттенки

являются информативными качественными признаками. Измеряют длину хвои на побеге прошлого года. Повторность 10–20-кратная, так как биометрические признаки довольно изменчивы.

Определяют *классы повреждения* хвои 2-го года жизни: 1 — хвоя без пятен; 2 — небольшое число мелких пятен; 3 — большое число желтых и черных пятен и тд.

**Шкала визуальной оценки** состояния древостоя и степени их нарушения:

**0** — здоровые деревья — допускается наличие повреждений не более 5% общей площади;

**1** — ослабленные деревья — слабо ажурная крона, повреждения насекомыми и болезнями не более 30–40% хвои, усыхание отдельных ветвей в нижней трети кроны, хлорозы и некрозы не более 10% площади хвои дерева;

**2** — сильно ослабленные деревья — ажурная крона, повреждение и усыхание до 60–70% хвои, суховершинность, сухие ветви в верхней части кроны, значительные повреждения и поражение ствола, корневых лап, укороченный прирост или его полное отсутствие, хлорозы и некрозы более 10% площади хвои всех возрастов, снижение продолжительности хвои в 2–3 раза;

**3** — усыхающие деревья — сильно поврежденная крона или отдельные живые ветви с повреждениями более 70–80% листвы или хвои, отсутствие текущего прироста по высоте, по стволу и корням насечки и единичные свежие поселения стволовых вредителей. Оставшаяся на деревьях хвоя хлоротична, отличается бледно-зеленым, желтоватым или оранжево-красным цветом.

**4** — свежий сухостой — деревья с желтой и бурой хвоей или без нее, усохшие в текущем году, по стволу свежие поселения короедов;

**5** — старый сухостой — деревья, усохшие в прошлые годы, хвоя и листва отсутствуют, кора и мелкие веточки легко отваливаются, стволовые вредители вылетели.

Вычислить массу 100 штук хвоинок. Все данные занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 — Определение состояния хвои сосны обыкновенной для оценки загрязненности атмосферы (измеряемые показатели — количество хвоинок)

Место взятия пробы	Длина, мм	Продолжительность жизни, лет	Вес 100 шт, г	Некроз, %	Класс повреждения

По продолжительности жизни хвои и степени повреждения оценить качество воздуха по таблицу 1.2 для каждой площадки.



Таблица 1.2 — Оценка качества воздуха по возрасту и степени повреждения хвои

Возраст хвои	Класс повреждения хвои 2-го года жизни		
	1	2	3
4	I	I–II	III
3	I	II	III–IV
2	II	III	IV
2	–	IV	IV–V
1	–	IV	V–VI
1	–	–	VI

*Примечание:* I — очень чистый воздух; II — чистый; III — относительно чистый («норма»); IV — заметно загрязненный («тревога»); V — грязный («опасно»); VI — очень грязный («вредно»); «-» — невозможное сочетание.

На основании данных таблицы 1.3 сделать заключение о влиянии определенного уровня загрязнения атмосферы на состояние организма человека.

Таблица 1.3 — Шкалирование уровня загрязнения атмосферы в зависимости от морфологии хвои сосны обыкновенной и состояния организма человека

Уровни загрязнения атмосферы	Морфологические признаки хвои сосны (по Е.Н. Андреевой)	Состояние организма человека (по данным ВОЗ)
I. Допустимый или не загрязненный	I. Хвоинки без видимых визуально пятен и некоторых точек, видны только под микроскопом площадь повреждения их не превышает 5–15%	I. Относительно безопасное состояние
II. Слабое или низкое загрязнение	II. На хвоинках немногочисленные пятна хлороза или некроза, площадь повреждения их от 15–25%	II. Функциональные изменения, не превосходящие норму
III. Повышенное загрязнение	III. На хвоинках большое количество желтых или черных пятен хлороза или некроза, в том числе на всю ширину хвоинки, площадь повреждения их от 25–40%	III. Функциональные изменения, превосходящие норму
IV. Сильное загрязнение	IV. Крупные хлорозные или некротические пятна. Некрозы кончиков хвои (8–10 мм) имеют ярко окрашенные тона от серо-зеленого до коричневого и красно-бурого, площадь повреждения хвоинки от 40–60%	IV. Повышение заболеваемости и смертности

Полученные результаты по пробным площадям сравниваются между собой и с данными контрольной площади по относительным показателям, делается вывод о степени загрязнения воздуха на различных участках исследуемой территории. Чем выше процент здоровых хвоинок, тем чище воздух.

## Лабораторная работа № 2

### Определение состояния окружающей среды по комплексу признаков у хвойных на примере ели обыкновенной

**Цель работы:** ознакомиться с методами биоиндикации по состоянию хвои ели обыкновенной (*Picea abies*).

Сформировать навыки работы с биоматериалом, определение продолжительности жизни ели обыкновенной, определение класса повреждения и усыхания хвои ели, использовать полученные данные для мониторинга окружающей среды.

**Материал и оборудование:** практикум, гербарий, линейка, лупа.

#### Общие сведения

Известно, что на загрязнение среды наиболее сильно реагируют хвойные древесные растения. Характерными признаками неблагополучия окружающей среды и особенно газового состава атмосферы служат появление разного рода хлорозов и некрозов, уменьшение размеров ряда органов (длины хвои, побегов текущего года и прошлых лет, их толщины, размеров шишек, сокращение величины и числа заложённых почек). Последнее является предпосылкой уменьшения ветвления. Ввиду меньшего роста побегов и хвои в длину в загрязнённой 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 загрязнённой зоне и 6–7 лет — в чистой). Влияние загрязнений вызывает стерильность семян (уменьшение их всхожести). Все эти признаки не специфичны, однако, в совокупности дают довольно объективную картину.

Хвойные удобны тем, что могут служить индикаторами круглогодично. В лесоведении давно разработана оценка состояния окружающей среды по комплексу признаков у хвойных, при которой используется не только морфологические показатели, которые весьма изменчивы, но и ряд биохимических изменений.

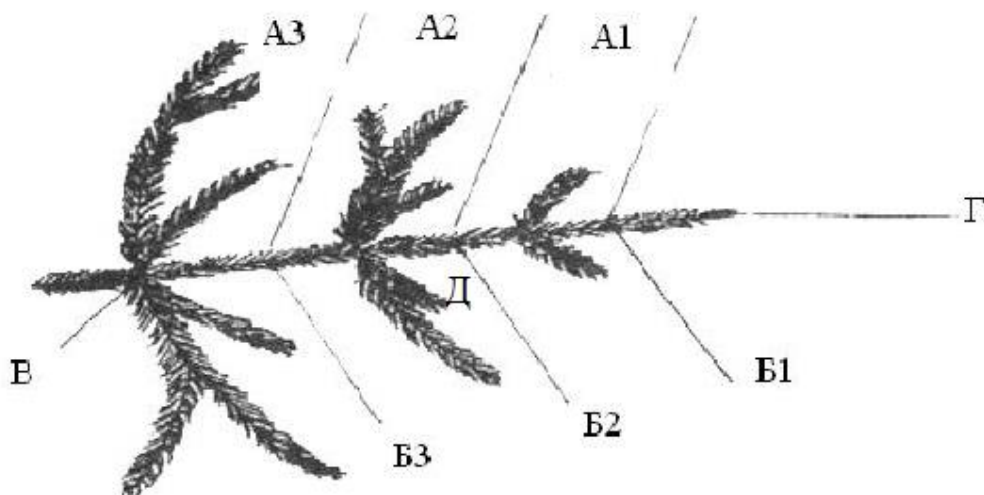
Использование хвойных дает возможность проводить биоиндикацию на огромных территориях. Хвойные — основные индикаторы, которые применялись для оценки состояния лесов Европы. Их использование также весьма информативно на малых территориях (например, влияние автодороги на прилегающую зону, если она примыкает к хвойному лесу, состояние окружающей среды в городских экосистемах разного ранга и характера).

**Методика:** с нескольких боковых побегов в средней части кроны одновозрастных деревьев ели отбирают побеги. Ветви выбираются в той части кроны, которая обращена к зонам с загрязнённым воздухом (вблизи автодороги, предприятий). Контролем служат ветви, собранные в чистой зоне

(озелененный участок, дворовая зона, лесной массив). Анализ хвои проводят в лаборатории.

**Изучение хвои (во всех измерениях выводится средний показатель!!!)**

**А:** устанавливают продолжительность жизни хвои путем просмотра побегов с хвоей по мутовкам (рисунок 2.1).



Примечание: А1, А2, А3 — побеги первого, второго, третьего года жизни; Б1, Б2, Б3 — хвоя первого, второго, третьего года жизни, В — мутовка, Г — почка, Д — боковые побеги

**Рисунок 2.1 — Определение продолжительности жизни хвои ели обыкновенной**

**Б:** сближение хвоинок — отмеряют 10 см побега прошлого года и подсчитывают число хвоинок. В результате ухудшения роста побегов в загрязненной зоне пучки хвоинок более сближены и на 10 см побега их больше, чем в чистой зоне.

**В:** измеряют длину хвои на побеге прошлого года, а также ее ширину (в середине хвоинок) при помощи лупы.

**Г:** хвою осматривают при помощи лупы, выявляют некрозы, их процент и характер (точки, крапчатость, пятнистость, мозаичность), класс повреждения и усыхания хвои.

**Д:** вычисляют массу 100 штук хвоинок. Для этого отсчитывают два раза по 50 штук хвоинок и взвешивают.

**Таблица 2.1 — Класс повреждения хвоинок**

Класс повреждения хвоинок	1	2	3
Степень повреждения	Хвоинки без пятен	Хвоинки с небольшими числом пятен	Хвоинки с большим числом черных и желтых, некоторые из них крупные во всю ширину хвоинки

Таблица 2.2 — Класс усыхания хвои

Класс усыхания хвои	1	2	3	4
Степень усыхания	Нет сухих участков	Усох кончик 2–5 мм	Усохла треть хвоинки	Вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая

Таблица 2.3 — Определив класс повреждения и продолжительность жизни хвои, можно оценить класс загрязнения воздуха по следующей таблице

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

Примечание: класс загрязнения воздуха: I — идеально чистый; II — чистый; III — относительно чистый («норма»); IV — загрязненный (тревога); V — грязный (опасно); VI — очень грязный (вредно).

### Изучение побегов

**А:** измеряют длину прироста каждого года (по осевому побегу), начиная от последнего двигаясь последовательно по междоузлиям от года к году.

**Б:** устанавливают толщину осевого побега (на примере двухлетнего).

**В:** в местах мутовок подсчитывают ветвление.

**Г:** на побегах устанавливают наличие некрозов (точечное или другой формы отмирание кроны).

Таблица 2.4 — Схема записи результатов измерений

Место взятия пробы	Пробная площадка 1			Пробная площадка 2		
Продолжительность жизни хвои	1	2	3	1	2	3
Длина хвои (мм)						
Ширина хвои (мм)						
Число хвоинок на 10 см						
Класс повреждения						
Класс усыхания						
Вес 100 хвоинок, гр						
% некрозов на хвои						
Характер некрозов хвои						
% некрозов на побеге						
Характер некрозов побегов						
Длина прироста						
Толщина осевого побега						
Характер ветвления						

На основании данных таблицы 1.3 сделать заключение о влиянии определенного уровня загрязнения атмосферы на состояние организма человека. Полученные результаты по пробным площадям сравниваются между собой и с данными контрольной площади по относительным показателям, делается вывод о степени загрязнения воздуха на различных участках исследуемой территории. Чем выше процент здоровых хвоинок, тем чище воздух.

### **Лабораторная работа № 3**

#### **Определение состояния воздуха по лишайникам**

**Цель работы:** определить степень загрязнения воздуха на выбранной территории методом лишеноиндикации.

**Материал и оборудование:** практикум, гербарий, линейка, лупа.

#### **Общие сведения**

Очень информативными биоиндикаторами состояния воздушной среды и ее изменения являются низшие растения: мхи и лишайники, которые накапливают в своем слоевище (таллеме) многие загрязнители (серу, фтор, радиоактивные вещества, тяжелые металлы). Лишайники очень нетребовательны к факторам внешней среды, они поселяются на голых скалах, бедной почве, стволах деревьев, мертвой древесине, однако, для своего нормального функционирования они нуждаются в чистом воздухе. Особенно они чувствительны к оксидам серы и азота, которые выделяются при сжигании ископаемого топлива, а также к сернистому газу, тяжелым металлам, фторо- и хлороводороду. Малейшее загрязнение атмосферы, не влияющие на большинство растений, вызывает массовую гибель чувствительных видов лишайников. Они исчезают как только концентрация сернистого газа достигнет 35 млрд, а среднее его содержание в атмосфере крупных городов свыше 100 млрд. Не удивительно поэтому, что большинство лишайников уже исчезло из центральных зон городов.

Научное направление биомониторинга (т.е. слежения) за состоянием воздушной среды при помощи лишайников называется лишеноиндикацией.

Лишайники — это симбиоз водоросли и гриба. Они чувствительны к загрязнению среды в силу следующих причин: 1) у лишайников отсутствует непроницаемая кутикула, благодаря чему обмен газов происходит свободно через всю поверхность; 2) большинство токсических газов концентрируется в дождевой воде, а лишайники впитывают воду всем слоевищем, в отличие от цветковых растений, которые поглощают воду преимущественно корнями; 3) большинство цветковых растений в наших широтах активны только летом, когда уровень загрязнения сернистым газом намного ниже (вследствие уменьшения сжигания угля в топках — основного источника

сернистого газа), в то время как лишайники обладают способностью к росту и при температуре ниже 0°C.

В мире насчитывается около 26 тыс. видов лишайников. Они различаются по зонам производства (тундра, лесная зона и т.д.), видам субстрата (камни, скалы, стволы и ветви деревьев, почва). У лишайников, растущих на деревьях, видовой состав различается в зависимости от pH коры. Лишайники исчезают в первую очередь с деревьев, имеющих кислую кору (береза, хвойные), затем с нейтральных (дуб, клен) и позже всего — с деревьев, имеющих слабощелочную кору (вяз мелколистный, акация желтая). В лишайниковых типах леса доминируют кустистые лишайники (кладония, цетрария), длинными бородами с ветвей деревьев свисает уснея, которая является наиболее чувствительным видом и растет в лесах только с чистой атмосферой.

Точное определение лишайников требует профессиональных знаний и опыта. Однако отличить разные виды лишайников друг от друга не так трудно, даже не зная их видовых названий. Как правило, виды лишайников, обитающих на одном древесном стволе (эпифитные) или одном камне можно различить по следующим признакам:

1) по структуре таллома или слоевища — так называют специалисты «тело» лишайника, образованное грибом (накипные — слоевище имеет вид корочек, листоватые — вид пластинок, кустистые — вид кустиков или свисающих «бород», иногда 1–2 м длиной) (рисунок 3.1);



**Рисунок 3.1 — Типы лишайников по внешнему облику слоевища**

2) по цвету, который зависит от гриба, так и от водоросли, образующих лишайник (черный, темносерый, сизосерый, коричневый, иногда с желтым, оранжевым, зеленым оттенком);

3) по консистенции слоевища (сухая ломкая, сухая упругая, влажная упругая, влажная мягкая...);

4) по размеру, форме и окраске образующихся на поверхности органов — апотеций, в которых вызревают споры, служащие для размножения гриба. Это небольшие в несколько миллиметров круглые или овальные плотные образования, часто отличающиеся от слоевища по цвету.

Как и большинство биологических методов оценки состояния окружающей среды, лишеноиндикация не может различить конкретные вредные

вещества, загрязняющие атмосферный воздух, но зато позволяет выделить территории, подверженные воздействию загрязненного воздуха. Для выделения таких неблагоприятных территорий иногда бывает достаточно даже неполного, без видовой идентификации, описания лишайников по их разнообразию и обилию на единице площади в данном массиве.

Лучше всего сделать такое описание лишайников, обитающих на стволах деревьев (эпифитов) в парке, в лесополосе около автомобильных и железных дорог, в дворовом озеленении.

Методы оценки загрязненности атмосферы по встречаемости лишайников основаны на следующих закономерностях:

- чем сильнее загрязнен воздух города, тем меньше встречается в нем видов лишайников (один-два);
- чем сильнее загрязнен воздух, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревьев;
- при повышении загрязненности воздуха исчезают первыми кустистые лишайники (наиболее чувствительные к загрязнениям среды), за ними листоватые, последними – накипные.

Основным методом пассивной лишайноиндикации является измерение проективного покрытия лишайников на пробных площадках *«Способом палетки»*.

**Методика:** при заложении пробной площадки выбирается участок с деревьями одной породы и примерно одного возраста (не менее 10). На каждом дереве регистрируют наличие лишайников. Отмечают следующие параметры: а) общее число видов лишайников; б) степень покрытия слоевищами лишайников каждого дерева.

Для определения проективного покрытия необходимо подготовить специальную рамку палетку из прозрачного материала (стекло, пластмасса, полиэтилен) с внутренним диаметром 10×10 см и разделить ее на квадраты со сторонами 1×1 см (один квадрат составит 1% площади рамки).

Процедура измерения проста — палетку накладывают на ствол дерева и фиксируют кнопками или булавками. Описания нужно проводить на двух уровнях: приземном (нижняя сторона рамки стоит на земле) и на уровне груди исследователя (1,3 м от земли). Описания проводят с четырех сторон ствола и рамку ориентируют по компасу на соответствующую сторону света (С, Ю, З, В). Рамка должна быть на расстоянии 30–40 см от глаз наблюдателя.

Определяют общее проективное покрытие. Сначала считают число квадратов, в которых лишайники занимают более половины площади квадрата, условно приписывая им покрытие, равное 100%. Затем подсчитывают число квадратов, в которых лишайники занимают менее половины площади квадрата, условно приписывая им покрытие, равное 50%.

Общее проективное покрытие в процентах (R) вычисляют по формуле:  $R = (100a + 50b) / C$ , где а — число квадратов, в которых лишайники занимают более половины площади; b — число квадратов, в которых лишайники

занимают менее половины площади; С — общее число квадратов палетки (при использовании палетки 10×10 с ячейками 1×1 см, С=100).

Результаты лишеноиндикации заносят в таблицы 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 — Результаты лишеноиндикации

№ дерева	Высота над землей	Общее покрытие лишайников, %				Среднее по группе, %
		север	юг	восток	запад	
1	1,3 м					
	основание					
2	1,3 м					
	основание					
Деревьев 10 штук						
Среднее по сторонам света, %						

Таблица 3.2 — Результаты измерения проективного покрытия лишайниками ствола дерева

№ дерева	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень покрытия ствола лишайниками, %										
Количество видов лишайников										
Количество лишайников доминирующего вида										

По шкале (таблица 3.3) оценить качество воздуха по степени проективного покрытия лишайниками ствола дерева.

Таблица 3.3 — Шкала качества воздуха по проективному покрытию лишайниками ствола деревьев

Степень покрытия	Число видов	Число лишайников доминантного вида	Степень загрязнения воздуха
Более 50 %	Более 5	Более 5	6-я зона Очень чистый воздух
	3–5	Более 5	5-я зона Чистый воздух
	2–5	Менее 5	4-я зона
20–50%	Более 5	Более 5	Относительно чистый воздух
	Более 2	Менее 5	3-я зона Умеренное загрязнение
≤20%	3–5	Менее 5	2-я зона Сильное загрязнение
	0–2	Менее 5	1-я зона Очень сильное загрязнение



Оценку состояния эпифитного лишайникового покрова проводят и по упрощенному варианту:

1. Зона неповрежденной лишайниковой растительности, указывающая на чистоту атмосферного воздуха. Лишайники обильны, встречаются на высоте более 1 м от поверхности земли. Проективное покрытие на стволах деревьев с северной стороны на высоте 1,3 м более 10%.

2. Зона частичного разрушения лишайникового покрова. Указывает на умеренную загрязненность воздуха. Лишайники на высоте 1,3 м практически отсутствуют. У основания дерева встречаемость лишайников менее 50%, средняя величина общего проективного покрытия от 3 до 10%.

3. Зона полного разрушения лишайникового покрова. «Лишайниковая пустыня» указывает на высокий уровень загрязненности воздуха. Встречаемость деревьев без лишайников у основания ствола более 70%, средняя величина общего проективного покрытия лишайников менее 0,1%.

**Сделайте выводы по работе.**

## **Лабораторная работа № 4**

### **Индикация состояния среды**

### **по морфологическим реакциям организмов**

**Цель работы:** оценить качество среды по морфологическим реакциям организмов.

**Материал и оборудование:** фитоматериал для анализа (листья древесных пород разных пород, произрастающих на участках с разной степенью антропогенной нагрузки), весы торсионные, линейки, калька, миллиметровая бумага, лупы, бинокляр, ножницы.

### **Общие сведения**

Морфологические реакции организмов на действие факторов среды — очень удобные для биоиндикации параметры состояния. На изменение окраски, формы тела, расположения органов, размера организма под антропогенным воздействием человек обратил внимание уже давно. Все морфологические изменения делят на микро- и макроскопические.

#### **Макроскопические изменения организмов.**

1. Изменение окраски (неспецифическая реакция на различные стрессоры). Например, хлороз листьев под действием газов, пожелтение участков листьев под влиянием хлоридов, покраснение листьев под действием SO<sub>2</sub>, побурение или побронзовение, появление серебристой окраски и т.п. *Некрозы* — отмирание ограниченных участков ткани (рисунок 4.1).

При развитии некрозов сначала наблюдаются изменения в окраске (при действии SO<sub>2</sub> чаще всего образуются грязно-зеленые, O<sub>3</sub> — металлически

блестящие пятна, хлоридов — хлорозы). После гибели клеток пораженные участки высыхают и приобретают бурую или беловатую окраску.

Различают:

- точечные и пятнистые (например, серебристые пятна после воздействия озона);
- межжилковые — отмирание тканей листовой пластинки между боковыми жилками первого порядка (при воздействии  $\text{SO}_2$ );
- краевые (действие хлоридов);
- верхушечные (действие  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_2$ );
- некрозы околоплодника.

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

3. Дефолиация (следствие некроза, влияние  $\text{SO}_2$ , хлоридов).

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

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

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

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

### **Микроскопические изменения**

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

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

3. Плазмолиз — отслаивание плазмы от клеточной стенки как следствие действия кислоты и  $\text{SO}_2$ .

4. Изменение степени ксероморфизма листьев — увеличение числа устьиц, толщины кутикулы, густоты опушения, толщины листа и степени суккулентности (отношения сырой вес/сухой вес).

5. Изменение структуры древесины.

Эти и многие другие факторы используются в индикации антропогенной нагрузки на систему, и наиболее удобные в этом отношении объекты — растения. Однако существует проблема оценки морфологических изменений у растений. При определении морфологических изменений нужно уметь

отличать симптомы повреждений, вызванных естественными факторами и антропогенными. Важно уметь правильно оценивать воздействие климата, почвы, стадии развития и времени года, присутствие вредителей, а также явление констелляции экологических факторов (при высокой влажности воздуха и почвы растения становятся особо чувствительными к газовым загрязнениям, зимой повышение температур снижает устойчивость и т.п.). Кроме того, внутренние факторы также затрудняют оценку изменений у растений.

Наблюдается различная чувствительность:

- на различных возрастных стадиях;
- у органов различного возраста (хвоя сосны особенно сильно повреждается на первом году жизни, потом устьица закрываются);
- в различное время дня и года (к выбросам  $\text{SO}_2$  листья более устойчивы ночью, чем днем; хвоя весной и летом более чувствительна, чем осенью и зимой);
- у различных особей генетически неоднородных популяций;
- при различной предрасположенности (ранее подвергшиеся действию стрессора особи более чувствительны).

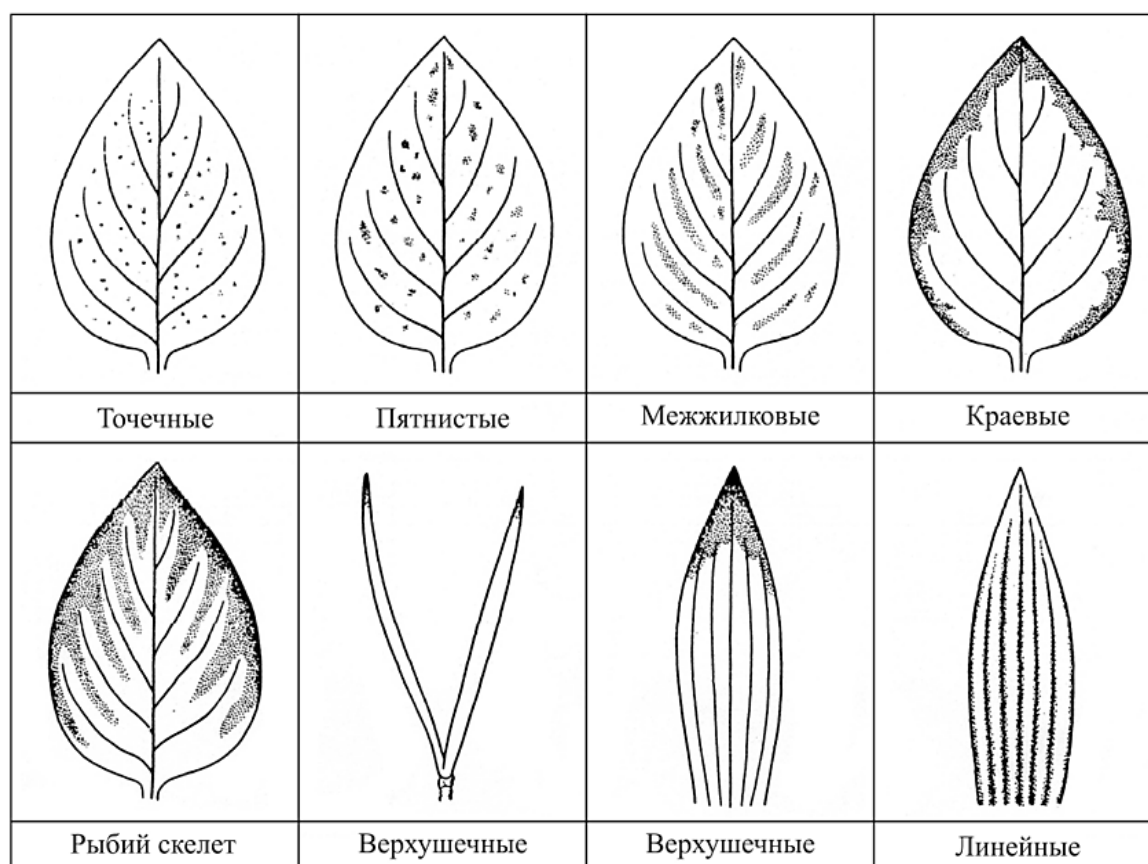
У животных при действии стрессоров реакция на морфологическом уровне проявляется в разнообразных формах. Наиболее известной является так называемый «индустриальный меланизм». Это явление потемнения окраски покровов у первоначально светлых форм.

Чрезвычайно удобны для биоиндикации биологические ритмы живых организмов. *Биоритмы* — это эндогенно обусловленные, упорядоченные реакции организмов на периодически изменяющиеся экологические факторы. В результате смены интенсивности и продолжительности действия факторов возникает определенная последовательность смены внешних условий. Эти изменения адаптируются организмами благодаря генетически закрепленным автономным ритмам. Они обеспечивают организму стабильность внутренней организации и гармоничность во взаимоотношениях со средой. Стрессоры различного происхождения вызывают в организме отклонения от естественных ритмов (циркадного, цирканнуального и прочих). Это проявляется в изменении активности поведения, физиологических и биохимических процессов, и может быть использовано для неспецифической биоиндикации. Например, искусственное освещение городских улиц нарушает фотопериодические реакции растений, поэтому в крупных городах листопадные явления наступают позже. Изменения биоритмов растений еще не используются для биоиндикации, хотя имеется уже достаточное количество фактов, свидетельствующих о вмешательстве антропогенных стрессоров в суточные и сезонные ритмы у этих организмов. Среди наиболее частых проявлений отмечают нарушение ритма работы устьиц, ритма побегообразования, повторное цветение.

Наиболее удобны для биоиндикации изменения внешней морфологии, возникающие как спонтанная изменчивость развития. Ее можно оценить по флуктуирующей асимметрии, которой охвачены практически все

билатеральные структуры у самых разных видов живых организмов. *Флуктуирующая асимметрия (ФА)* представляет собой небольшие ненаправленные отклонения биообъектов от билатеральной симметрии. При этом различия между сторонами не являются строго генетически детерминированными и, следовательно, зависят, в основном, от внешних условий. Уровень морфогенетических отклонений от нормы оказывается минимальным лишь при оптимальных условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях. Поэтому стабильность развития, оцениваемая по уровню ФА, является чувствительным индикатором состояния природных популяций и представляет интерес для биоиндикационных исследований.

**Методика:** выборки листьев древесных растений одного вида из средней части кроны (по 10–20 штук) из разных мест отбора проб внимательно рассмотреть, используя лупы и бинокляры. В ходе работы фиксировать макроскопические изменения листовой пластинки биогенного и небиогенного происхождения (рисунок 4.1).



**Рисунок 4.1 — Типы некрозов листьев у высших растений**

На каждой листовой пластинке определить типологию повреждений, суммарную площадь повреждения листового аппарата, а также площадь биоповреждений биогенного и небиогенного происхождения. Для этого собранные листья расправить на квадратном листе кальки, размеры которого

соответствуют размерам листа ( $S_{\text{кв}}$ ). Кальку взвесить ( $P_{\text{кв}}$ ), лист очертить, по контурам вырезать его силуэт на кальке. Эту часть кальки взвесить ( $P_{\text{л}}$ ). Определить площадь листа по формуле:  $s = \frac{P_{\text{л}} \times S_{\text{кв}}}{P_{\text{кв}}}$ .

Совместив контуры листа на кальке с образцом, очертить все поврежденные участки, вырезать их и взвесить. Вычислить процент поврежденной ткани:  $S_{\text{повр}} = \frac{S_{\text{л}} \times P_{\text{повр}}}{P_{\text{листа}}} \times 100\%$ . Результаты анализа представить в виде доли (в среднем) поврежденной поверхности от массы или от общей площади листа (для этого можно использовать миллиметровую бумагу) и занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 — Сравнительная характеристика доли повреждений листовой пластинки у исследуемых видов на пробных площадках (% площади (массы) листа)

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

**Сделайте выводы** о морфологических изменениях исследуемой породы деревьев и оцените качество окружающей среды. **Ответьте на вопросы:**

1. Каковы макроскопические изменения в растительных организмах и их применение в биоиндикации?
2. Дайте определение некрозов.
3. Какие факторы окружающей среды могут вызывать некрозы листьев?
4. Приведите примеры микроскопических изменений растений.
5. Чем определяется различная чувствительность организмов к антрополическим факторам?
6. Каково происхождение индустриального меланизма?
7. Сделайте вывод о роли биоритмов в биоиндикации и биотестировании.

## Лабораторная работа № 5

### Индикация состояния окружающей среды по величине флуктуирующей асимметрии листа березы бородавчатой

**Цель работы:** ознакомиться с методами биоиндикации, на примере теста «флуктуирующая асимметрия листа».

**Материал и оборудование:** лупы, линейки, транспортир, измерительный циркуль, калькулятор.

#### Общие сведения

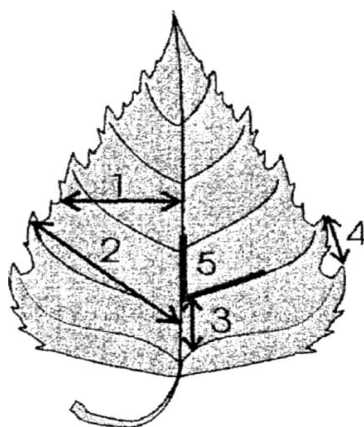
*Флуктуирующая асимметрия* — морфологический метод оценки состояния и динамики экосистем. Показатель флуктуирующей асимметрии — это индекс стабильности развития организма. При формировании листовой пластины происходит накопление токсических веществ и нарушение гомеостаза, что приводит к деформации листа (асимметрии). Площадь листьев также уменьшается в условиях повышенной техногенной нагрузки. Предельный возраст деревьев также уменьшается в зависимости от условий обитания (например, для липы в лесу возраст может достигать 300 лет, в парке — 150 лет, в городе при техногенном загрязнении — 50–70 лет).

*Объект исследования* береза бородавчатая, населяющая широкий ареал и проявляющая высокий уровень изменчивости морфологических признаков.

**Методика:** данную работу удобнее выполнять группами (по 5 человек). Каждая группа производит сбор материала в соответствующей точке исследования: 1) центр города, вдоль шоссе/дороги; 2) периферия города (озелененный участок, дворовая зона); 3) территория вблизи промышленного предприятия; 4) контрольная точка — пригородная зона (лесной массив).

*Метод сбора листьев.* Сбор листьев березы бородавчатой в каждой точке исследования производят с 10 растений (по 5 листьев с каждого). При выборе растений учитывают условия произрастания и их возрастное состояние. Листья собирают с растений, находящихся в одинаковых условиях освещенности, увлажнения и достигшие генеративного возрастного состояния. Размер листьев должен быть сходным, средним для растения. Листья собирают из одной и той же части кроны с разных сторон растения на уровне 1,5 м от поверхности почвы относительно равномерно вокруг дерева.

*Обработка собранного материала:* измерение морфологических признаков. Данный этап проходит в лаборатории. Одновозрастные листья березы бородавчатой, собранные в разных биотопах, размещаются перед собой сторонами, обращенными к верхушке побега. С каждого листа снимаются показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рисунок 5.1). Замер соответствующих показателей удобнее производить измерительным циркулем.



Примечание: 1 — ширина левой и правой половинок листа в месте перегиба при совмещении верхушки с основанием листовой пластинки;  
 2 — длина жилки второго порядка, второй от основания листа;  
 3 — расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;  
 4 — расстояние между концами этих же жилок;  
 5 — угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

**Рисунок 5.1 — Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития березы бородавчатой**

Результаты измерений заносят в таблицу 5.1.

**Таблица 5.1 — Данные по замерам морфологических признаков листа березы бородавчатой**

№ ли-ста	Номер признака									
	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

*Показатель флуктуирующей асимметрии высчитывается по алгоритму:*

1. Вычисляются относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого разность между промерами слева (L) и справа (R) делят на сумму этих же промеров:  $(L-R)/(L+R)$ . Полученные величины заносят во вспомогательную таблицу 5.2 в графы 2–6.

Таблица 5.2 — Относительные величины асимметрии для каждого признака

№ листа	Номер признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Коэффициент флуктуирующей асимметрии, ФА						X=

2. Вычисляются показатели асимметрии для каждого листа как среднее арифметическое относительных величин асимметрии по каждому признаку. Результаты вычислений заносят в графу 7 вспомогательной таблицы (величина асимметрии листа).

3. Вычисляется коэффициент асимметрии. Для этого вычисляют среднюю арифметическую всех величин асимметрии для каждого листа (графа 7) (ФА).

Для характеристики состояния окружающей среды на основе величины флуктуирующей асимметрии используется 5-балльная оценка качества среды (таблица 5.3). Каждому из приведенных баллов соответствует свой определенный интервал значений коэффициента флуктуирующей асимметрии. Баллом 1 характеризуются участки, практически не затронутые человеческой деятельностью. Баллом 5 обозначаются гибнущие экосистемы в районах с чрезвычайной антропогенной нагрузкой. Таким образом, абсолютная шкала предоставляет возможность сравнивать между собой любые территории и участки.

Таблица 5.3 — Шкала оценки отклонений по величине показателя флуктуирующей асимметрии

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



На основании расчетов проводится сравнительный анализ полученных результатов величины флуктуирующей асимметрии и делается вывод о состоянии среды в исследуемых точках. В приведенном примере показатель флуктуирующей асимметрии был равен 0,047, что соответствует третьему баллу шкалы. Это означает, что растения испытывают существенное влияние неблагоприятных факторов среды. Согласно нашим исследованиям данный показатель наблюдался у растений, произрастающих вблизи автомобильной дороги в центре города.

## Лабораторная работа № 6

### Фитоиндикация воздушной среды

**Цель работы:** оценить качество окружающей среды с помощью фенотипических биоиндикаторов.

**Материал и оборудование:** лупы, пинцеты, препаровальные иглы.

#### Общие сведения

От загрязнения воздуха страдают биологические системы разного происхождения. Но следует иметь в виду, что животные и человек адаптированы к постоянному содержанию в воздухе кислорода, в то время как растения с их ассимиляционным аппаратом приспособлены к значительно более низким концентрациям в атмосфере  $\text{CO}_2$ , и поэтому более чувствительны к концентрациям вредных веществ в воздухе. По этой причине растениям придается особое значение как биоиндикаторам атмосферного загрязнения.

Высшие растения очень различаются по чувствительности к разнообразным загрязнителям воздуха (таблица 6.1).

Таблица 6.1 — Чувствительность некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха

Виды	$\text{SO}_2$	HF	$\text{NH}_3$	HCl, $\text{Cl}_2$
Ель обыкновенная	+++	+++	++	+++
Сосна обыкновенная	+++	++	++	+++
Пихта белая	+++	+++	++	+++
Сосна Веймутова	++	++	·	++
Лиственница европейская	++	++	++	++
Граб обыкновенный	++	++	+++	+++
Липа мелколистная	++	++	+++	·
Рябина обыкновенная	++	·	·	·
Береза повислая	++	+	++	·
Береза пушистая	++	++	·	·
Вяз шершавый	+	·	·	·
Осина дрожащая	+	·	·	+
Сирень обыкновенная	+	+	·	·

Роза собачья (шиповник)	+	+	·	·
Дуб черешчатый	-	-	-	++
Клен ясенелистный	-	+	+	·
Бузина черная	-	-	-	·
Бузина красная	-	-	-	·
Бересклет европейский	-	·	-	·
Слива садовая	·	+++	·	·
Лещина обыкновенная	·	++	·	·
Яблоня домашняя	·	++	·	·
Каштан конский	·	+	·	·
Примечание — «-» — нечувствительные, «+» — малочувствительные, «++» — чувствительные, «+++» — очень чувствительные, «·» — реакция недостаточно изучена.				

У растений под действием различного рода стрессоров возникают биохимические, физиологические и морфологические отклонения от нормы. Последние являются часто используемыми показателями в качестве тест-функций, так как могут изучаться без специальных лабораторий и обученного персонала, а также имеются испытанные стандартизированные морфологические индикаторы и условия их применения. Морфологические изменения ассимиляционного аппарата — очень удобный диагностический параметр, который иногда проявляется в виде специфической реакции на стрессор (таблица 6.2).

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

Оценить состояние окружающей среды можно с помощью фенотипических индикаторов. Фены — это четко различающиеся варианты какого-либо признака или свойства биологического вида. Под воздействием экологических факторов в популяциях увеличивается частота встречаемости специфичных фенотипов у различных видов. В таких случаях частота встречаемости является биологическим индикатором воздействия антропогенных факторов.

В качестве объекта можно использовать широко распространенный белый клевер *Trifolium repens* (клевер ползучий). Форма рисунка на пластинках листа и частота встречаемости может использоваться как индикатор загрязнения среды.

Таблица 6.2 — Признаки изменения ассимиляционного аппарата под действием некоторых элементов

Элемент, находящийся в избытке	Концентрация	Признаки отравления	Биоиндикаторы
1	2	3	4
Двуокись серы	Влияние длительного воздействия $\text{SO}_2$ в концентрации менее $0,5 \text{ мг/м}^3$ . Длительное влияние слабых концентраций двуокиси серы (менее $0,1 \text{ мг/м}^3$ )	У растений появляются слабые повреждения, обнаруживающиеся по общему обесцвечиванию листа. Межжилковые некрозы и хлорозы. Наблюдается деформация листовых пластинок в виде морщинистости, скручивания без заметного изменения их окраски. На листьях образуются наросты, края становятся коричневыми, а затем бледно-желтыми	Люцерна, гречиха, подорожник большой, горох
Хлор		Появление различного рода пятен и красноватого оттенка листьев. Побледнение листьев, деформации хлоропластов	Шпинат, фасоль, кресс-салат
Озон		Появление на листьях темно-коричневых пятен и точечных некрозов на верхней стороне листьев	Табак, шпинат, соя
Фтор, фторид-ионы, ионы металлов	Невысокие концентрации	На листьях появляются узкие некротические светло-желтые полосы, распространяющиеся по периферии листа от верхушки к его основанию. Ионы накапливаются в сухом веществе	Райграс многоцветковый, полевица ползучая, полевица тонкая, горчица белая, листовая капуста, конский каштан, мхи

Окислы азота, аэрозоли, азотистая кислота	Концентрация, превышающая 2 мг/м <sup>3</sup>	Сильные повреждения ассимиляционных органов, которые схожи с повреждениями, вызванными SO <sub>2</sub> . Отличительной особенностью являются участки, чаще всего возникающие в верхней части, реже — в середине листовой пластинки. Межжилковые некрозы	Шпинат, сельдерей
Этилен	Слабая концентрация	Отмирание цветочных почек, мелкие размеры цветков, закручивание краев листьев, повышение пероксидазной активности	Петуния, салат, томаты
Пероксиацетилнитрат	Длительное влияние слабых концентраций (менее 0,1 мг/м <sup>3</sup> )	Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев	Крапива жгучая, мятлик однолетний
Радионуклиды	Невысокие концентрации	Накопление в сухом веществе	Олений мох, исландский мох
Сочетание вредных веществ в воздухе, смог	Высокие концентрации смога (основные компоненты: озон и пероксиацетилнитрат)	Поражаются субэпидермальные клетки нижней стороны листа, появляются вздутия и серебристый налет листьев, образуются некротические пятна, сосредоточенные посреди и по краям листа. Уменьшение прироста клеток	Пихта, ель, сосна, выводковые почки

При индикации осуществляют подсчет форм с различным рисунком и без него и последующего расчета частоты встречаемости этих фенов в %.

**Методика:** в разных районах города заложить пробные площадки. На которых произвести внимательный осмотр отдельных растений, определить их фенотип и суммировать общее число особей каждого фена. Отдельно отметить наличие растений с какими-либо уникальными фенами (например, с рисунком красного цвета, с большим или меньшим количеством листовых пластинок и т.д.). Подсчет сделать не менее, чем для 200 особей. Результаты наблюдений внести в таблицу и обработать математически (таблица 6.3).

Таблица 6.3 — Результаты фенотипической диагностики пробной площадки №

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

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

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

$P_i$  — частота  $i$ -го фена,

$n_i$  — количество растений с  $i$ -тым рисунком на листовой пластинке,

$N$  — общее число учтенных растений.

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

**Сделайте выводы** о степени нагрузки на фитоценозы.

1. Используя данные таблицы 6.1, сделайте вывод о чувствительности некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха.

2. Используя данные таблицы 6.2, сделайте вывод о признаках изменения ассимиляционного аппарата под действием некоторых элементов.

3. Какова роль фитоиндикации окружающей среды?

4. Приведите примеры биоиндикаторов, реагирующих изменением ассимиляционного аппарата на действие элементов.

## Лабораторная работа № 7

### Половая структура популяций жесткокрылых как показатель условий среды обитания

**Цель работы:** определить соотношение самцов и самок жесткокрылых, собранных на участках с разной антропогенной нагрузкой, и оценить влияние среды на половую структуру популяции.

**Материал и оборудование:** фиксированный материал жесткокрылых, пинцет, лупа, бинокляр.

#### Общие сведения

Функциональная роль разных полов животных в составе популяций неравнозначна, и, как следствие, неравнозначна и их реакция на изменение условий существования. Относительное увеличение доли особей того или иного пола — информативный признак, свидетельствующий о динамике экологически значимых для вида параметров среды. Этот признак часто используется в практике мониторинговых исследований для установления типа и степени нагрузки на биогеоценозы, составления прогнозов развития популяций и сообществ.

В качестве биоиндикаторов эффективнее всего использовать виды животных с непродолжительным жизненным циклом и четко выраженным половым диморфизмом, например, жесткокрылых (виды родов *Staphylinus*, *Philonthus*, *Carabus*, *Pterostichus* и др.)

**Методика:** собранных жуков проанализировать по полу, рассчитать процентное соотношение полов в выборке  $\% \text{самок(самцов)} = \frac{n_{\text{самцов(самок)}}}{N} \cdot 100$ , половой индекс  $\frac{n_{\text{самцов}}}{n_{\text{самок}}}$ , где  $n$  — количество особей самцов или самок,  $N$  — общее число всех учтенных особей. Постройте диаграмму соотношения полов в популяции для разных типов сообществ.

**Сделайте выводы** на основе проанализированного материала, собранного в естественных условиях и в условиях с антропогенной нагрузкой о влиянии среды на половую структуру популяций исследуемых видов, а также о чувствительности полов к условиям стресса.

## Лабораторная работа № 8

### Насекомые и растения как биоиндикаторы антропогенной трансформации

**Цель работы:** определить роль насекомых и растений как биоиндикаторов антропогенной трансформации на примере верховых болот.

### Общие сведения

Существует большое количество биоиндикаторов (растения, лишайники, земноводные, гидробионты, позвоночные, насекомые). Насекомые как биоиндикаторы используются редко, так как процесс трудоемкий, длительный, а также громоздкий, например, при выявлении степени корреляции между поведением или морфологией насекомого и возможной степени антропогенной нагрузки. Но несмотря на сложности использования насекомых как биоиндикаторов окружающей среды существует более простой способ проведения такого исследования — метод учета биоразнообразия насекомых в зоне предполагаемого воздействия. В нашей работе рассмотрено влияние антропогенной трансформации верховых болот на изменение видового разнообразия жесткокрылых и растений. В данном случае одни виды могут появляться, увеличивать свое видовое обилие, другие — исчезать или встречаться редко.

Существуют виды стенобионты окружающей среды, т.е. это животные или растения, способные существовать лишь при относительно постоянных условиях среды (выдерживают небольшие колебания факторов среды). Для некоторых стенобионтов ограничивающим может быть какой-либо один фактор внешней среды (например, характер пищи), для других возможность их существования и распространения ограничена одновременно двумя факторами (например, свет и давление).

Стенобионтам противопоставлены эврибионты, которые могут существовать в самых разнообразных условиях и при значительных изменениях условий окружающей среды.

Согласно классификации Ф. Пеуса обитателей болот можно разделить на 4 группы: тирфобионты, тирфофилы, тирфонейтральные виды и тирфоксены. К тирфобионтам (виды свойственные верховому болоту) относятся животные цикл развития которых проходит только или преимущественно на верховых болотах. К тирфофилам отнесены обитатели верховых болот, которые нередко встречаются и в других биогеоценозах. Тирфонейтральные виды обладают более широкой экологической пластичностью и могут обитать в самых разных биотопах, в том числе и на верховых болотах. К тирфоксенам (случайные виды) относят виды, которые перешли на болото с прилежащих территорий и обитают там временно.

**Задание 1.** Распределить виды жесткокрылых по биотопической приуроченности (обитатели болот, сухих мест и эврибионты) и определить стенобионтов верховых болот (тирфофилы и тирфобионты) (таблица 8.1).

Таблица 8.1 — Биотопическая приуроченность и стенобионты верховых болот

Название вида	Стенобионты	Биотопический преферendum
<i>Cyphon padi</i>		
<i>Actenicerus sjaelandicus</i>		
<i>Sericus brunneus</i>		
<i>Cantharis fulvicollis</i>		
<i>C. quadripunctata</i>		
<i>Absidia schoenherri</i>		
<i>Dasytes niger</i>		
<i>Chilocorus bipustulatus</i>		
<i>Coccidula scutellata</i>		
<i>Hippodamia tredecimpunctata</i>		
<i>Coccinella septempunctata</i>		
<i>Coccinella hieroglyphica</i>		
<i>Lagria hirta</i>		
<i>Plateumaris discolor</i>		
<i>Cryptocephalus bipunctatus</i>		
<i>C. labiatus</i>		
<i>Lochmaea suturalis</i>		
<i>Altica palustris</i>		
<i>Aphthona erichsoni</i>		
<i>Chaetocnema breviscula</i>		
<i>Ch. mannerheimi</i>		
<i>Crepidodera aurata</i>		
<i>Apion apricans</i>		
<i>Sitona lineatus</i>		
<i>Orchestes. rusci</i>		
<i>Limnobaris t-album atripilicus</i>		

**Задание 2.** Распределите растения из приведенного списка в соответствующие графы таблицы 8.2.

Таблица 8.2 — Виды растений как индикаторы естественных и антропогенно трансформированных верховых болот

Виды растений	Индикаторы естественных верховых болот	Индикаторы антропогенно трансформированных верховых болот
Береза бородавчатая <i>Betula pendula</i>		
Сосна обыкновенная <i>Pinus silvestris</i>		
Ива ушастая <i>Salix aurta</i>		
Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucuparia</i>		
Багульник болотный <i>Ledum palustre</i>		
Вереск обыкновенный <i>Calluna vulgaris</i>		
Мирт болотный <i>Chamedaphne calyculata</i>		



Черника <i>Vaccinum myrtillus</i>		
Брусника <i>Vac. vitis-idea</i>		
Клюква <i>Vac. oxycoccos</i>		
Подбел многолистный <i>Andromeda polifolia</i>		
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i>		
Осока мохнатая <i>Carex hitra</i>		
Одуванчик лекарственный <i>Taraxacum officinale</i>		
Лапчатка прямолистная <i>Potentilla erecta</i>		
Молиния голубая <i>Molinia caerulea</i>		
Очеретник белый <i>Rhynchospora alba</i>		
<i>Sphagnum fallax</i>		
<i>Sphagnum cuspidatum</i>		
<i>Sphagnum magellanicum</i>		
<i>Sphagnum fuscum</i>		
<i>Sphagnum rubellum</i>		
<i>Sphagnum angustifolium</i>		
<i>Sphagnum papillosum</i>		
<i>Polytrichum strictum</i>		

На основе проанализированного материала **сделайте выводы** о влиянии антропогенной трансформации на видовое разнообразие насекомых и растений верховых болот.

## Лабораторная работа № 9

### Типы биоповреждений, наносимых насекомыми

**Цель работы:** описать типы биоповреждений, наносимых насекомыми.

Сформировать навыки работы с биоматериалом, научиться определять типы ротовых аппаратов, соотносить тип ротового аппарата и тип биоповреждения, использовать полученные данные для мониторинга окружающей среды.

**Материал и оборудование:** практикум, биологический материал, лупа.

### Общие сведения

Основой вредоносности ряда видов вредителей является их питание на культурных растениях, что вызывает изменения в организме последних, а иногда и их гибель. Иногда вредное воздействие может быть отмечено не как результат питания, а вследствие откладки вредителем яиц в растительные ткани, или же при передвижении вредителей в почве, устройством ими гнезд или прокладыванием ходов. При этом нередко страдают подземные части растений, что отрицательно сказывается на жизнеспособности всего растительного организма.

Среди растительноядных видов отмечается определенная приуроченность к различным частям и органам растений, которыми они питаются. Некоторые из них повреждают подземные и прикорневые части растений, другие питаются только теми органами, которые находятся над поверхностью почвы. Среди таких вредителей есть вицы, повреждающие листья, другие виды вредят стеблям, некоторые повреждают генеративные органы: бутоны, цветки, плоды, семена; есть также вредители почек, вредители стволов, сучьев и ветвей и других частей растений. Нет ни одного органа у растения, который бы не подвергался нападению того или иного вредителя.

Такая специализация некоторых видов не только в отношении растений, но и отдельных их органов в ряде случаев облегчает выяснение вида вредителя, поэтому эти признаки широко использованы при составлении определительных таблиц.

Тип повреждений растений вредителями тесно связан с особенностями строения их ротовых органов, которые очень разнообразны, но могут быть разделены на две основные группы: грызущие и колюще-сосущие ротовые органы. **Грызущие вредители** наносят механические повреждения растениям, они выгрызают отдельные участки ткани растений или съедают их целиком. К грызущим вредителям относятся различные растительноядные жуки и их личинки, гусеницы бабочек, личинки некоторых пилильщиков и других вредителей. Грызущими ротовыми органами обладают некоторые клещи, а также вредные грызуны и зайцы (рисунок 9.1).

**Вредители с колюще-сосущим ротовым аппаратом** питаются растительными соками и вызывают изменение окраски растительных тканей, скручивание и увядание листьев и других органов, а иногда и полное усыхание растений. В результате действия ферментов слюнных желез, вводимых в ткани сосущими насекомыми, нередко происходит изменение биохимического состава в повреждаемых частях растений; иногда в месте укола происходит разрастание растительных тканей и образование различного вида наростов, утолщений (опухолей) и так называемых галлов. К вредителям, обладающим колюще-сосущими ротовыми органами, можно отнести клопов, равнокрылых насекомых (тлей, кокцид, цикад) и некоторых клещей. Аналогичные повреждения наносят и растительноядные нематоды (рисунок 9.2).

Насекомые-галлообразователи являются наиболее специализированными филлофагами, т.к. галл служит насекомому источником питания и своеобразной средой обитания на определенном этапе онтогенеза. В то же время для растения образование галлов — своеобразная защитная реакция — изоляция и локализация вредителя.

Повреждения, наносимые голыми слизнями и другими представителями класса брюхоногих моллюсков, по внешнему виду похожи на повреждения, нанесенные грызущими вредителями, хотя ротовые органы у слизней имеют иное строение.



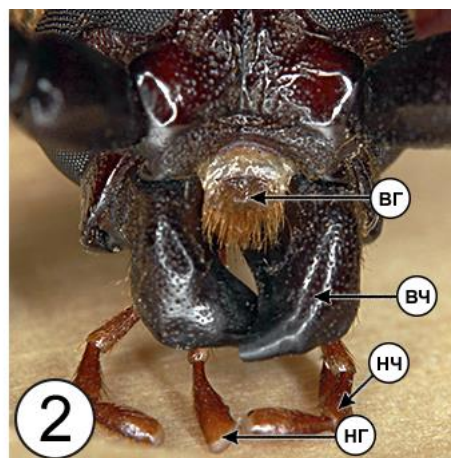
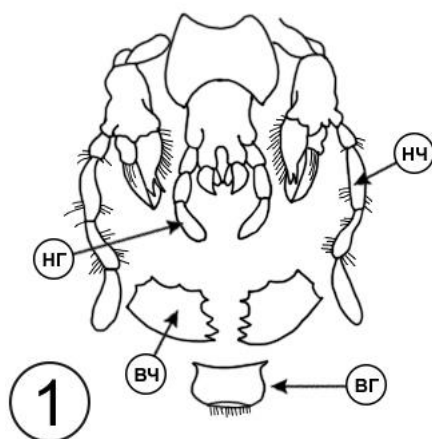
**Рисунок 9.1 — Повреждения листьев насекомым с грызущим типом ротового аппарата**



**Рисунок 9.2 — Листья тополя черного (*Populus nigra*) с галлами**

**Грызущий тип ротового аппарата насекомых** — основная модификация строения ротовых органов, встречающаяся у многих примитивных и высокоразвитых насекомых и подходящая для питания твердыми субстратами (рисунок 9.3).

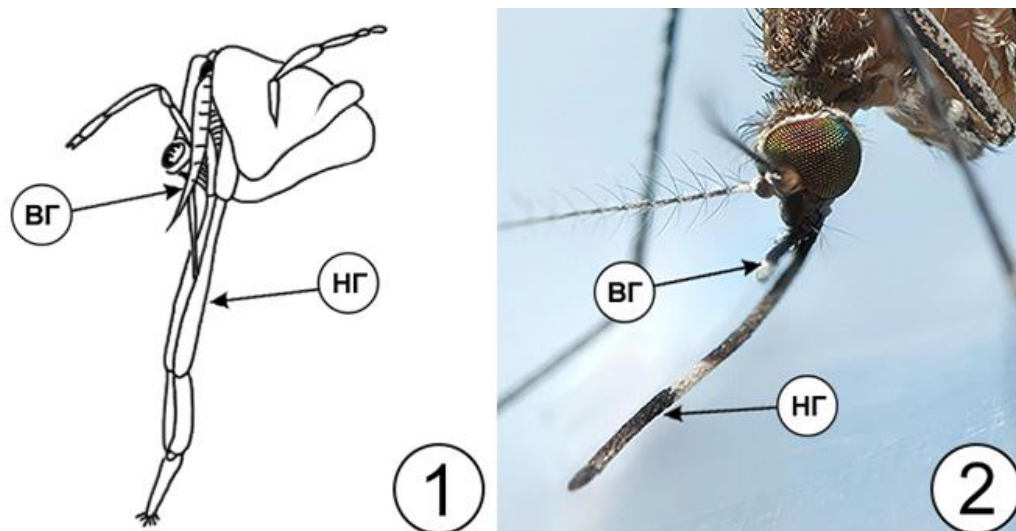
Ведущую роль в приеме пищи играют верхние челюсти, которые отгрызают и измельчают субстрат, а остальные ротовые части помогают его проглатывать, продвигая кусочки в пищевод.



**Рисунок 9.3 — Схема-строение ротового аппарата жука**

1 — схема строения, 2 — ротовой аппарат у жука *Prionus californicus* из семейства усачей. Обозначения на обеих картинках: ВГ — верхняя губа, НГ — нижняя губа, ВЧ — верхние челюсти, НЧ — нижние челюсти

**Колюще-сосущий ротовой аппарат насекомых** — вариант модификации ротового аппарата, предназначенный для питания жидкой пищей, скрытой под плотными покровными тканями, и встречающийся у многих насекомых, ведущих растительноядный, хищный или паразитический образ жизни (рисунок 4).



**Рисунок 9.4 — Схема строения колюще-сосущего ротового аппарата**

1 — схема строения, 2 — ротовой аппарат у комара *Culex tarsalis*.

Обозначения на обеих картинках: ВГ — верхняя губа, НГ — нижняя губа

***Комплекс дендробионтных филлофагов по образу жизни и характеру повреждений, наносимых растению, делят на три трофические группы:***

1) открытоживущие филлофаги обитают и питаются на поверхности растения. К ним относятся насекомые с колюще-сосущим и грызущим ротовыми аппаратами;

2) скрытоживущие (эндобионтные) филлофаги ведут свою жизнедеятельность в органах и тканях растений. К ним относятся **галлообразователи** и **минеры**. **Галлообразователями** называются насекомые, которые в процессе своей жизнедеятельности вызывают образование галлов (рисунок 9.2). **Галлы** — местные тканевые новообразования, являющиеся результатом воздействия на растения насекомых. Патологическое разрастание тканей обуславливается действием ростовых веществ — ауксинов, которые выделяют личинки насекомых. Галлы служат для насекомых одновременно средой обитания и источником корма. Галлы имеют разнообразную форму, часто настолько типичную, что по ним можно определить вид галлообразователя.

Минерами называют экологическую группу насекомых, питание личинок которых происходит внутри хлорофиллоносных растительных тканей (по крайней мере, на протяжении нескольких возрастов). **Минирование** — тип повреждений растений, при котором насекомое питается внутри хлорофиллоносных растительных тканей, прокладывая в ней ходы различной формы (рисунок 9.5а, 9.5б);





**Рисунок 9.5а — Минирование листьев**



**Рисунок 9.5б — Мина тополевого слоника-блошки *Isochnus sequensi* (Coleoptera: Curculionidae), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*)**

3) полускрытоживущие филлофаги большую часть своего жизненного цикла проводящие в разного рода укрытиях. Могут быть: скрученные сигарой, склеенные по два или несколько штук и оплетенных паутиной листья, внутри которых питаются насекомые.

Исследования насаждений показали, что повышенная представленность скрытоживущих филлофагов указывает на присутствие химических загрязнений в окружающей среде. В ходе исследований отмечалась тенденция к возрастанию освоенности листвы галловыми клещиками по мере удаления от наветренной опушки, а также с учетом предыдущих исследований четко повторилась ситуация с возрастанием роли скрытоживущих филлофагов под факелом в целом по сравнению с фоном.

В работе Н.К. Беловой и Д.А. Белова (1999) отмечено, что в зеленых насаждениях города Москвы численность галообразователей составляет 30,8% и минеров — 33,2% от общего числа филлофагов. Среди них открытоживущих насекомых насчитывается всего 17%, оставшееся количество насекомых относятся к полускрытоживущим.

***Все повреждения разделяют на две основные категории:***

1) непосредственные повреждения, образующие при питании тканями или органами растений без какой-либо их предварительной подготовки насекомыми (грубое объедание, минирование, скелетирование, фигурное объедание и т.п.);

2) повреждения, возникающие при питании растениями после их предварительной подготовки насекомыми (механической — свертывание листьев, скручивание листьев в «сигары», надгрызание черешков листьев, плодоножек, вызывающее их подсушивание, скрепление листьев в виде особых «гнезд» или физиологической — образование галлов, вздутий, пятен различной окраски и т.п.). По типам повреждений можно определить вид или группу вредителей.

Потенциальными вредителями в энтомокомплексе города считаются виды: *Phyllocnistis suffusella* Z. (Phyllocnistidae) Осинковая узорчатая моль (рисунок 9.6), гусеницы которой делают длинные извилистые мины на листьях белого и черного тополей, *Byctiscus betulae* L. (Attelabidae) (рисунок 9.7), жуки которого питаются паренхимой листьев различных лиственных пород, а личинки развиваются в трубках, свертываемых жуками большей частью из нескольких листьев, и *Agrilus viridis* L. (Buprestidae) (рисунок 9.8), жуки которого выедают края листа.



**Рисунок 9.6 — Длинные извилистые мины на листьях тополей  
*Phyllocnistis suffusella* Z. (Phyllocnistidae) Осинковая узорчатая моль**



Рисунок 9.7 — Развитие личинки *Byctiscus betulae* L. (Attelabidae) в трубках



Рисунок 9.8 — Объединенные края листьев *Agrilus viridis* L. (Buprestidae)

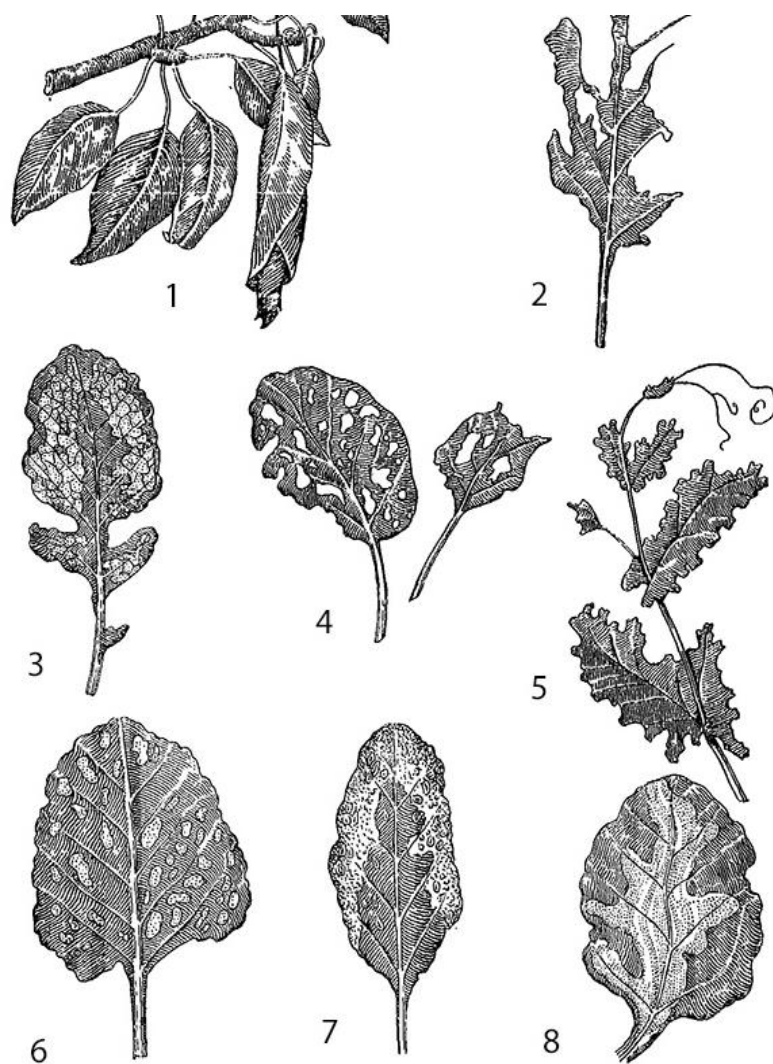
Минирующие насекомые защищены растительными тканями от атмосферных загрязнителей, хотя при сильном загрязнении воздуха отмирание листьев нередко происходит ранее завершения срока развития насекомых.

Общая черта насекомых, объединенных в экологическую группу минеров — питание личинок внутри хлорофиллоносных растительных тканей, по крайней мере, на протяжении нескольких возрастов. Минеры, являясь эндобионтами, менее чувствительны к воздействию абиотических факторов по сравнению со свободноживущими фитофагами. Питание внутри растительных тканей обеспечивает относительно постоянный режим влажности.

Транспирация растения защищает минера от экстремально высоких, а хорошая теплопроводность тканей — от экстремально низких температур. Минирующие насекомые защищены растительными тканями от атмосферных загрязнителей, хотя при сильном загрязнении воздуха отмирание листьев нередко происходит ранее того срока, когда упомянутые насекомые должны завершить цикл своего развития в летний период.

На рисунке 9.9 представлены типы повреждений растений.





**Рисунок 9.9 — Типы повреждений растений**  
(по Богданову-Катькову, Щеголеву и др.): 1 — листья груши, свернутые трубочертом; 2 — грубое объедание листа капусты гусеницей капустницы; 3 — скелетирование личинкой листоеда; 4 — дырчатое выгрызание гусеницей капустной совки; 5 — фигурное объедание клубеньковым долгоносиком; 6 — «окошенное» объедание гусеницей капустной моли; 7 — изъятие листа крестоцветной блошкой; 8 — минирование личинкой свекловичной мухи

### **1.1 Типы повреждений, наносимых грызущими вредителями**

#### **Повреждения надземных частей растений**

##### **Повреждения почек**

*Наружное обгрызание.* Такие повреждения наносят некоторые жуки-долгоносики, гусеницы многих бабочек (листоверток, зимней пяденицы и др.). В последнем случае поврежденные почки нередко бывают загрязнены экскрементами и паутиной.

*Внутреннее повреждение.* Содержимое почки выедается через небольшое отверстие (накол), выгрызаемое вредителем. Так вредят плодовые долгоносики и некоторые другие насекомые.



## Повреждения листьев

*Грубое объедание.* Листья объедают беспорядочно различные насекомые (саранчовые, гусеницы непарного шелкопряда, совки-гаммы и других бабочек). Чаще при этом повреждение начинается с краев листа. В некоторых случаях толстые жилки частично не повреждаются (например, капустной белянкой).

*Дырчатое выгрызание.* В листьях выедаются различной формы (чаще округлые) и величины отверстия. Так вредят многие жуки-листоеды, долгоносики апионы, гусеницы некоторых совок (например, капустной совки), голые слизни и др.

*Фигурное объедание.* Листья объедаются с краев довольно правильными полукруглыми участками. Так вредят жуки клубеньковые долгоносики, пчелы-листорезы др.

*Скелетирование.* Выедается мягкая ткань с одной или с обеих сторон листа с оставлением всех, даже очень тонких, жилок. Образуется как бы скелет листа. Такие повреждения наносят личинки многих листоедов, гусеницы некоторых бабочек (особенно в младших возрастах), личинки некоторых пилильщиков и др. *Язвенное выгрызание.* С нижней и реже с верхней стороны листа выскабливаются неглубокие ямки-язвочки. В последующем язвочки подсыхают и лист в этом месте прорывается насквозь. Такие повреждения наносят жуки льняных, свекловичных, крестоцветных и других блошек.

*Окошечное выгрызание.* Выскабливается более обширная, обычно нижняя, но может быть и верхняя поверхность листа. С противоположной выскабливанию стороны кутикула листа остается нетронутой. Образуется как бы «окошечко» — отверстие, затянутое прозрачной пленкой, которая при разрастании листовой пластинки прорывается. Такие повреждения наносят гусеницы капустной моли и некоторых других бабочек в I–II возрастах.

*Минирование.* Ткань листа выедена изнутри между нетронутым с обеих сторон эпидермисом. Образовавшиеся при этом внутренние полости — мины — имеют характерную для каждого вида вредителя форму. Мины бывают пузыревидные, в виде широких полостей или узкие, лентовидные, более или менее извилистые, постепенно расширяющиеся, иногда спиралевидные. По окраске мины обычно отличаются от остальной, неповрежденной поверхности листа: они бывают коричневые, бурые, обесцвеченные и др. В некоторых случаях мины заметны с обеих, но чаще с какой-либо одной стороны листа. Такие повреждения характерны для личинок некоторых мух (например, свекловичной мухи), гусениц некоторых бабочек (например, минующих молей), личинок пилильщиков и др.

*Свертывание, или скручивание, листьев.* С помощью паутины или без нее одиночные листья скручиваются в трубки, или несколько листьев с подгрызенными черешками свертываются в виде сигары. Такие повреждения наносят жуки-трубковерты или гусеницы некоторых листоверток. Иногда отгрызаемые листья и их части свертываются и скручиваются в плотный

комков, что характерно для жуков-кравчинок. Некоторые вредители свертывают не весь лист, а его край, и сами находятся в этом завернутом участке (гусеницы некоторых молей и др.).

*Образование листовых паутинных гнезд.* Такие гнезда из нескольких листьев, скрепленных более или менее плотным паутинным покровом или редкими паутинными нитями, устраивают для зимовки гусеницы златогузки и боярышницы. В паутинных листовых гнездах живут, питаются и окукливаются гусеницы яблонной моли и некоторых других бабочек.

### **Повреждения стеблей, ветвей и стволов**

*Наружные повреждения.* Кора ветвей и стволов обгрызается и обгладывается различными грызущими вредителями. В частности, так кормятся зайцы в плодовых садах в зимнее время. Кору ветвей и молодых стволиков плодовых пород объедают различные виды жуков-долгоносиков. Стебли хлопчатника, подсолнечника и других культур обгрызают некоторые жуки листоеды и долгоносики. Наружные повреждения стеблям злаковых растений наносят также личинки некоторых злаковых мух (например, зеленоглазки), живущие за влагалищем листа на поверхности стебля, и другие вредители.

*Внутренние повреждения.* Внутри стебля у травянистых растений выедают полости и каналы многие вредители. К ним относятся гусеницы стеблевого мотылька, личинки многих двукрылых насекомых (шведской, яровой и озимой мух). В некоторых случаях у поврежденного растения отмирает центральный лист. Внутри стеблей проделывают ходы личинки стеблевых пилильщиков, стеблевых хлебных блошек, подсолнечникового усача и др. Нередко на таких стеблях снаружи бывает заметно входное или выходное отверстие, прогрызенное вредителем. Из этих отверстий могут высыпаться нагрызенные кусочки растительных тканей и экскременты, которые у гусениц бабочек часто скрепляются паутиной. У древесных и кустарниковых растений под корой в лубе, заболони и в древесине прогрызают ходы различной конфигурации гусеницы бабочек стеклянниц, древоточцев, личинки жуков- короедов, усачей, златок.

### **Повреждения генеративных органов**

*Обгрызание и объедание бутонов и цветков.* На плодовых деревьях такие повреждения наносят жуки-бронзовки, отдельные виды долгоносиков, и гусеницы некоторых бабочек; на цветках крестоцветных семенников — так же вредят жуки и личинки рапсового цветоеда.

*Выедание бутонов.* Бутоны яблони изнутри выедают личинки яблонного цветоеда; на землянике и малине такие же повреждения наносят личинки землянично-малинного долгоносика; на хлопчатнике летом и осенью выедает бутоны гусеница хлопковой совки.

*Объедание завязей и семян.* Зерна в колосьях хлебных злаков объедают гусеницы зерновых совков, хлебные жуки; завязи клевера повреждают личинки клеверного долгоносика-апиона.

*Внутренние повреждения семян и завязей.* Зерна гороха внутри бобов повреждают гусеницы гороховых плодожорок, бобовой огневки; внутри зерен бобовых растений выедают полости личинки различных видов зерновок. Гусеницы зерновых совок в I—II возрастах так же выедают зерна хлебных злаков. Льяным коробочкам на льне так вредит гусеница льняной плодожорки, а коробочкам хлопчатника — гусеница хлопковой совки.

*Минирование плодов.* Мякоть и семена плодов яблони, груши, сливы выедают гусеницы различных видов плодожорок, рябинной моли, некоторых видов пилильщиков; на вишне такие повреждения наносит вишневый долгоносик.

### **Повреждения прикорневых частей растений**

**Подгрызание корневой шейки.** На уровне почвы корневую шейку различных растений подгрызают гусеницы подгрызающих совок, личинки долгоножек и некоторых других вредителей.

**Обгрызание узла кущения у злаков.** Чаше такие повреждения наносят личинки щелкунов (проволочники), которые нередко при этом вгрызаются в узлы кущения, личинки пластинчатоусых жуков.

### **Повреждения подземных частей растений**

**Наружное объедание корней и корнеклубнеплодов.** Корни объедаются снаружи небольшими участками или перегрызаются пологостью. Вредят медведки, личинки щелкунов и чернотелок, личинки некоторых пластинчатоусых жуков, долгоносиков и пыльцеедов. Корнеклубнеплоды повреждают чаще личинки щелкунов, а также личинки некоторых мух (капустная, морковная).

**Внутренние повреждения корней и корнеклубнеплодов.** Выгрызаются ходы и полости в толстых одревесневших корнях. Выедают личинки некоторых долгоносиков (виноградных скосарей и др.), златок и усачей. В корни нередко внедряются также личинки жуков щелкунов (проволочники) и чернотелок (ложнопроволочники). Корнеплодам таким же образом вредят личинки мух (морковной, капустных); корневую систему луковичных растений повреждают личинки луковой мухи, некоторых журчалок.

**Выедание корневых клубеньков у бобовых растений.** Такие повреждения наносят личинки клубеньковых долгоносиков.

## **1.2 Типы повреждений, наносимых сосущими вредителями**

### **Повреждения почек**

*Усыхание,* изменение окраски и отмирание почек. Под влиянием высасывания почек различными сосущими вредителями (тли, медяницы, кокциды, трипсы и др.) происходит сморщивание, усыхание и отмирание почек. Нередко при этом они буреют, чернеют или иным образом изменяют свою окраску.

*Галлообразные перерождения почек.* В результате сосания вредителями ткани поврежденной почки растений разрастаются, и почка превращается в одно- или многокамерный галл, внутри которого находятся

вредители. Такие повреждения наносят некоторые двукрылые насекомые из семейства галлиц, шестиногие клещи и другие вредители.

### **Повреждения листьев**

*Деформация.* Проявляется в виде сморщивания, скручивания или гофрированности листьев. Наиболее часто такие повреждения наносят тли, кокциды, тетраниховые и другие клещи, некоторые нематоды.

*Изменение окраски.* Поврежденные сосущими вредителями листья обычно теряют тургор и изменяют свою нормальную окраску. Они становятся коричневатыми, буреют, иногда обесцвечиваются или же принимают антоциановый цвет. Изменение окраски может захватывать всю листовую пластинку или проявиться на ней, частично — в виде пятен различной конфигурации, точек, полосок и пр. Так повреждаются листья многими видами клопов, тлей, трипсов, кокцид, а также клещей.

*Образование галлов.* Под влиянием сосания и вызванного им раздражения растительной ткани на листьях образуются различного вида вздутия — галлы — шаровидной, овальной, мешковидной, лепешковидной или иной формы. Нередко по окраске галлы отличаются от цвета листовой пластинки. Галлы могут образовываться на жилках, черешках или на листовой пластинке. Вызывают образование галлов некоторые орехотворки, галлицы, тли, галловые клещи. Среди последних имеются виды, вызывающие на листьях образование так называемых войлочковидных галлов.

### **Повреждения стеблей, ветвей и стволов**

*Усыхание отдельных ветвей,* побегов, стеблей или всего растения, целиком. Такие типы повреждений проявляются при сильном заселении растения кокцидами, тлями, клопами или же клещами.

*Образование галлов.* Галлообразные вздутия на ветвях, стеблях, побегах образуются в результате сосания личинок некоторых галлиц, личинок некоторых перепончатокрылых насекомых (эвритомид) и других вредителей.

### **Повреждения генеративных органов**

*Щуплость семян.* В результате высасывания соков из плодов, колосьев или других органов растения семена недоразвиваются, сморщиваются, становятся щуплыми и теряют всхожесть. Вредят так многие клопы, трипсы и др.

*Белоколосость злаков.* Частичная или полная белоколосость образуется в результате питания клопов-черепашек, некоторых трипсов, хлебного клеща и других вредителей.

### **Повреждения корневой системы**

*Образование галлов.* Различной формы вздутия образуются на корнях многих растений в результате питания некоторых, так называемых, галловых нематод; на корнях виноградной лозы, заселенных виноградной филлоксерой, также образуются галлы (нодозитеты и туберозитеты).

*Увядание и отмирание корней.* Различные виды корневых тлей, поселяясь на корневой системе растений, вызывают первоначально увядание, затем и отмирание корешков или корнеплодов. На луковичных растениях такие же повреждения вызывает корневой луковичный клещик.

**Задание 1.** Рассмотреть в микроскоп препараты с ротовыми аппаратами насекомых. Зарисовать схемы в тетрадь.

**Задание 2.** На основании материала из общих сведений заполнить таблицу.

Тип повреждения	Описание повреждения	Представители	Тип ротового аппарата

## **Лабораторная работа № 10**

### **Индикация физико-химических параметров почв**

**Цель работы:** изучить параметры индикации почв.

#### **Общие сведения**

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

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

Различают несколько типов изменения почв, вызванных разными причинами и приводящих к нарушению структурно-функциональных связей почвенных сообществ. Физическое изменение связано с различными, прежде всего механически действующими агентами, способными, особенно если они влияют на ризосферу, привести к существенным нагрузкам на соответствующие экосистемы. Они могут быть связаны с химическими изменениями или часто приводят к таким изменениям. Химическое загрязнение вызвано

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

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

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

*Причины физических нагрузок на почву:*

1. Прямые механические воздействия:
  - повышенное давление на поверхность почвы (транспорт, вытаптывание);
  - особые агротехнические мероприятия, проводимые в пахотном слое почвы или в подпочве;
2. Процессы, связанные с перемещением почвы:
  - водная эрозия;
  - эоловые отложения (особенно вследствие промышленных выбросов).

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

На уровне фитоценозов это сказывается в затруднении прорастания семян и проникновения корней в почву с последующим замедлением роста корней и побегов. В почвенных ценозах происходит снижение активности и обилия организмов (микроартропод и микробов), разлагающих органические вещества. Наблюдаемое в полевых условиях и экспериментально полученное уплотнение почвы определяется пенетрометрически. Параллельно в лаборатории и в поле можно провести исследования важных экологических параметров (прорастание, рост побегов и корней, продуктивность).

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

*Химическое загрязнение почвы.* Загрязнение почвы, обусловленное химическими причинами, значительно превосходит по своему воздействию, как в количественном, так и в качественном отношении, все виды ее физического изменения. При этом прямое и косвенное загрязнение удается разграничить не всегда. Химическое загрязнение почвы вызывается разными причинами. Оно происходит либо произвольно (например, в результате

применения средств защиты растений) или непреднамеренно (в случае промышленных выбросов). В связи с этим в большинстве случаев с территориальной точки зрения различными могут быть и радиус действия, и интенсивность загрязнения. Исходя из агрегатного состояния и способа действия загрязнителей, их делят на группы:

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

Изменение химических параметров почвы отражается спустя короткий или длительный период на росте и продуктивности отдельных видов, их популяций или приводит к более или менее сильным нарушениям структуры фитоценозов и даже к развитию сукцессий. По причине физико-химической специфики отдельных почв при одинаковой интенсивности и продолжительности действия химического стрессора степень и форма возникающего химического загрязнения может быть различной. Для биоиндикации это важно, поскольку между химической обстановкой и ее влиянием на биоценоз не обязательно существует линейная зависимость. Решающее значение для действия на биологическом уровне имеет по этой причине соотношение интенсивности стрессора и специфической реакции буферной системы почвы.

### **Задания**

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

## Лабораторная работа № 11

### Биотестирование качества вод

**Цель работы:** изучить параметры биотестирования качества вод.

#### Общие сведения

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

Токсикологические исследования проводят на зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *C. Pyrenoidosa*, видах рода *Ankistrodesmus* и др. Токсичность испытываемых веществ определяют по визуальным показателям (изменение окраски культуры водорослей, лизис клеток), значениям pH культуры, численности клеток, выделению и поглощению кислорода, соотношению живых и мертвых клеток.

Для более полной оценки токсичности веществ используют показатели биомассы клеток, содержание хлорофилла и каротиноидов и др. наиболее удобные тест-объекты из макрофитов — элодея (*Elodea Canadensis*) и рясковые (ряска малая (*Lemna minor* L.) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs* L.)). В острых опытах устанавливают концентрации веществ, вызывающие за 10 дней роста культуры гибель 50% особей. В хронических опытах при разведении исходной острой концентрации контролируют визуальные повреждения (изменение окраски, потеря тургора и др.), выживаемость и прирост основного побега, число боковых отростков и их длину, число и длину корней.

Ряска малая (*Lemna minor* L.) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs* L.) чувствительны к загрязнению воды при содержании в ней до 10 мкг/мл ионов Ba, Cu, Mg, Fe, Co. На каждый загрязнитель у видов рясок проявляется специфическая реакция. На медь (0,1–0,25 мг/мл) листочки реагируют полным рассоединением из групп и изменением окраски с зеленой на голубую; реакция проявляется через 4 часа после воздействия. Реакция на цинк (0,025 мг/мл) заключается в изменении окраски листочка с насыщенно зеленой до бесцветной, где зелеными остаются только точки роста. Барий



(0,1–0,25 мг/мл) вызывает полное рассоединение листецов, опадание корней и изменение окраски с зеленой на молочнобелую. Кобальт (0,25–0,0025 мг/мл) — полную приостановку роста и потерю окраски. Кроме этого, в качестве тест-функции используют изменение количества хлоропластов в эпистрофном положении как чувствительный показатель, свидетельствующий о степени загрязнения системы.

В качестве тестовых организмов могут выступать и простейшие, например, инфузории *Paramecium caudatum*. Отклик на токсиканты определяют по показателям выживаемости особей и функции их размножения, выражающейся в изменении скорости клеточного деления. ПДК для ракообразных устанавливают на примере представителей отряда *Cladocera*: *Daphnia magna*, *D. longispina*, *D. carinata*, *Ceriodaphnia affinis*. В острых опытах степень воздействия той или иной концентрации вещества оценивают по времени гибели 50% популяции. В хронических опытах исследуют такие популяционные характеристики, как выживаемость, рост, плодовитость и качество потомства.

Среди представителей бентоса удобными тест-объектами являются брюхоногие моллюски и личинки хирономид. При токсикологических испытаниях используют также представителей ихтиофауны — мальков и взрослых рыб из семейств лососевых (форель, пелядь), окуневых (судак, окунь), карповых (плотва, пескарь, верховка, голавль, гольян, лещ, красноперка, карп, карась). Степень отравления определяют по изменению следующих показателей: выживаемость рыб, прирост или снижение биомассы, клиническая картина отравления, характер питания, характер и частота дыхания, внешний вид, состояние жаберного аппарата.

#### **Задания**

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

## Лабораторная работа № 12

### Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям

**Цель работы:** ознакомиться с классификацией качества воды водоемов, оценить с помощью индексов качество воды в водоемах.

#### Общие сведения

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

*Индекс FBI (Family Biotic Index)* разработан в 1987 году для рек штата Висконсин (США) и является одним из стандартных индексов в Американском агентстве защиты окружающей среды (таблица 12.1). Индекс содержит большое количество различных таксонов водных беспозвоночных и имеет шесть балльных градаций (таблица 12.2). Одно из требований к данному индексу — количество особей в пробе не должно быть менее 100 экз. Данный индекс применяется для индикации вод с органическим загрязнением. Расчет величины индекса производится по следующей формуле:  $FBI = \sum (x_i * t_i) / n$ ; где  $x_i$  — число особей внутри таксона;  $t_i$  — значение толерантности (балльная оценка) для таксона;  $n$  — общее число организмов в пробе.

В своей последней модификации индекс *FBI* следующим образом отражает качество воды (таблица 12.1).

Таблица 12.1 — Данные для расчета индекса *FBI* для некоторых таксономических групп

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

Таблица 12.2 — Пределы изменения индекса FBI и качество воды

Значение индекса	Качество воды	Степень органического загрязнения
0,00–3,50	Прекрасное	Отсутствует
3,51–4,50	Очень хорошее	Вероятно слабое
4,51–5,50	Хорошее	Вероятно некоторое
5,51–6,50	Посредственное	Вероятно среднее
6,51–7,50	Ниже посредственного	Существенное
7,51–8,50	Плохое	Очень существенное
8,51–10,00	Очень плохое	Сильное

Индекс IBGN (*Indece Biologique Global Normalize*) был разработан во французской системе мониторинга. Индекс предназначен для оценки экологического качества малых и средних рек (таблица 12.3). Данный индекс содержит большое число таксономических групп макрозообентоса, среди которых выделены индикаторные группы. Расчет индекса производится следующим образом: вначале подсчитывается общее количество таксономических групп VT (таблица 12.4), даже если в группе обнаружен один экземпляр на пробу, и эта величина ранжируется по баллам (таблица 12.5). Далее среди пробы находится таксон с наибольшим значением балльной оценки (GI) (таблица 12.6): **ISBN = GI+VT–1**.

Таблица 12.3 — Величина индекса ISBN и качество воды

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

Таблица 12.4 — Ранжирование числа таксономических групп макрозообентоса

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

Таблица 12.5 — Балльная оценка для индикаторных групп видов макрозообентоса

VT	GI	VT	GI	VT	GI
<i>Cloroperlidae</i>	9	<i>Nemouridae</i>	6	<i>Limnephilidae</i>	3
<i>Perlidae</i>		<i>Lepidostomatidae</i>		<i>Hydropsychidae</i>	
<i>Perlodidae</i>		<i>Sericostomatidae</i>		<i>Ephemerellidae</i>	
<i>Taeniopterygidae</i>		<i>Ephemeridae</i>		<i>Aphelocheiridae</i>	
<i>Carniidae</i>	8	<i>Hydroptilidae</i>	5	<i>Baetidae</i>	2
<i>Brachhycentridae</i>		<i>Heptageniidae</i>		<i>Caenidae</i>	
<i>Odontoceridae</i>		<i>Polutarctidae</i>		<i>Elmidae</i>	
<i>Philopotamidae</i>		<i>Potamanthidae</i>		<i>Cammaridae</i>	

<i>Leuctridae</i>	7	<i>Leptoceridae</i>	4	<i>Mollusca</i>	1
<i>Clossosomatidae</i>		<i>Polycentropodidae</i>		<i>Chironomidae</i>	
<i>Beraeidae</i>		<i>Psychomyidae</i>		<i>Asellidae</i>	
<i>Goeridae</i>		<i>Rhyacophilidae</i>		<i>Hirudinea</i>	
<i>Leptophlebiidae</i>				<i>Oligocheta</i>	

Таблица 12.6 — Данные для расчета индекса ISBN

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

Индекс *СМБИ* (*Citizen Monitoring Biotic Index*) основан на четырех группах зообентоса, ранжированных по чувствительности к загрязнениям. Эти группы содержат следующие виды (таблица 12.7).

Таблица 12.7 — Индикаторные группы видов, используемые при расчете индекса *СМБИ*

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

Расчет индекса производится следующим образом:

- число особей первой группы × 4;
- число особей второй группы × 3;

- число особей третьей группы  $\times 2$ ;
- число особей четвертой группы  $\times 1$ .

Далее производится подсчет общего числа особей ( $A$ ) и общая сумма баллов, полученных при умножении на балл для каждой группы ( $B$ ) (таблица 12.8). Величина индекса равна:  $СМБІ=В/А$ .

Таблица 12.8 — Данные для расчета индекса  $СМБІ$

Представители	Кол-во особей ( $A$ )	Балл для данной группы	$B$ ( $A \times$ балл)	$СМБІ = B/A$
<b>Кл. Hirudinea. Сем. Erobdellidae</b> <i>Erobdella octulata</i>	2			
<b>Тип Mollusca. Сем. Viviparidae</b>				
<i>Viviparidae sp.</i>	5			
<i>Lymnea sp.</i>	8			
<b>Отряд Ephemeroptera</b> <b>Сем. Caenidae. Caenis horaria</b>	11			
<b>Сем. Baetidae. Baetis vernus</b>	69			
<b>Отряд Megaloptera</b> <b>Сем. Sialidae. Sialis lutaria</b>	24			
<b>Отряд Trichoptera</b> <b>Сем. Polycentropidae</b> <i>Neureclipsis bimaculata</i>	7			
<b>Сем. Brachycentridae</b> <i>Brachycentrus subnubilus</i>	58			
	$\Sigma =$		$\Sigma =$	$СМБІ =$

Качество воды определяется исходя из таблицы 12.9.

Таблица 12.9 — Величина индекса  $СМБІ$  и качество воды

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

### Задания

1. Какова методика расчета индекса  $FBI$ ?
2. Используя данные таблиц 12.1, 12.2, рассчитайте индекс  $FBI$  для водоема по приведенным таксономическим группам. Дайте оценку качества вод.
3. Какова методика расчета индекса  $ISBN$ ?
4. Используя данные таблиц 12.3–12.6, рассчитайте индекс  $ISBN$  для водоема по приведенным таксономическим группам, дайте оценку качества вод.
5. Используя данные таблиц 12.7–12.9, рассчитайте индекс  $СМБІ$  для водоема по приведенным таксономическим индикаторным группам. Сделайте оценку качества вод.

## Лабораторная работа № 13

### Методы биотестирования в лесном и сельском хозяйстве

**Цель работы:** ознакомиться с методами биотестирования в лесном и сельском хозяйстве.

#### Общие сведения

Антропогенные изменения естественных факторов местообитаний относительно быстро проявляются в изменении состава растительных сообществ с точки зрения входящих в них эколого-ценотических групп, т.е. увеличения доли одних групп и снижения доли других (таблица 13.1). Для оценки состояния гумуса в лесах и лесопосадках важную роль играют растения-индикаторы грубого, модер- и мулльгумуса, а на полях — экологические группы растений, отдающих предпочтение хорошей технологической готовности почвы. По их появлению или исчезновению можно судить о результатах вмешательства человека в гумусовый баланс почвы. Выделение эколого-ценотических групп дает в распоряжение сельского и лесного хозяйства организмы-индикаторы, которые в случае вмешательства человека в природные процессы относительно быстро и надежно свидетельствуют о биологическом воздействии.

Таблица 13.1 — Растения индикаторы разных типов местообитаний

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

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

*Биоиндикация массового появления вредителей.* Вредители в биоценозах никогда не появляются в разные годы в одном и том же количестве. Их численность может резко возрастать в силу действия внешних причин, и нельзя полагать, что они могут полностью исчезнуть в результате отрицательного воздействия окружающей среды и интенсивных мер борьбы с ними. Знание причин популяционной динамики вредителей и ее индикация имеют важное значение в деле защиты растений, так как создают основу для прогнозирования появления вредителей и размера ущерба. Массовым размножением считается необычно высокий рост плотности популяции вредителей, т.е. сверхразмножение. Вспышка массового размножения всех видов вредителей, несмотря на отдельные модификации, имеет общие черты (рисунок 13.1). Этот процесс

включает в себя сначала рост плотности популяции (проградацию) до максимального уровня (кульминации), затем спад обилия (ретроградацию) и, наконец, возвращение в исходное состояние (латентную фазу), когда в очаге массового размножения может произойти полный распад популяции вредителей. Даже во время латентной фазы плотность их популяции постоянно изменяется. Однако общие колебания численности вследствие гораздо более низкого обилия особей при этом не столь заметны.

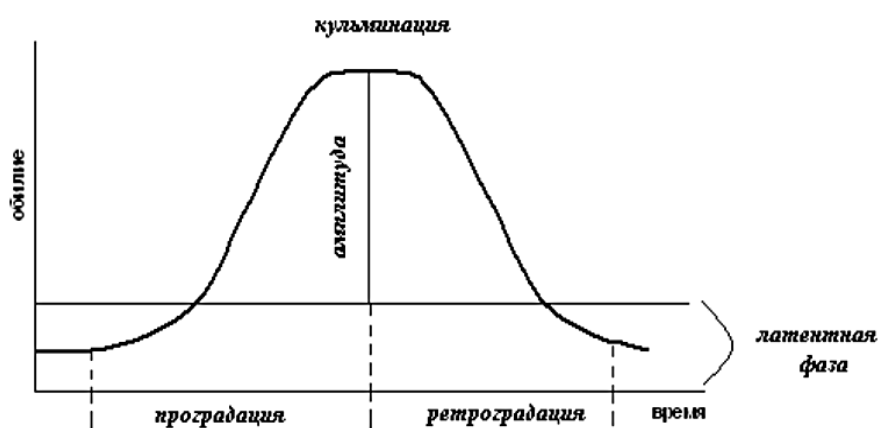


Рисунок 13.1 — Схема процесса массового размножения

В хронологическом отношении различают несколько типов массового размножения:

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

2. Временный тип — быстро затухающее состояние — свойствен златогузке (*Euproctis chrysorrhoea*), озимой совке (*Scotia segetum*), колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata*), полевке обыкновенной (*Microtus arvalis*).

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

Для ограничения и регуляции численности популяций таких видов требуется высокое сопротивление среды, которым агроэкосистемы сами по себе не обладают, поэтому важной задачей комплексной защиты растений является прогнозирование массового размножения. Во многих случаях достаточно составить негативный прогноз, т.е. исключить возможность появления опасного вредителя или вспышки его численности. Основанием для такого прогнозирования является удачное сочетание ключевых факторов, управляющих популяцией данного вида. Более основательный прогноз направления, характера и интенсивности массового размножения можно



получить путем составления имитационных математических моделей динамики популяции вредителей. Моделируемая популяция вредителя подразделяется на блоки. Для каждого из них составляются математические уравнения, отражающие ход развития, изменения плодовитости и смертности, вредные воздействия, влияние факторов среды и т.п. Получается знаковая модель, описывающая общую динамику популяции.

### Задания

1. Найдите соответствия на основании таблицы 13.2.

Таблица 13.2

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

2. На основании рисунка 13.1 расскажите о чертах процесса массового размножения вредителей и его фазах.

3. Найдите верные утверждения:

А. Виды рода *Sphagnum* — являются индикаторами местообитаний с поступлением азота и вытаптыванием.

Б. Бодяк полевой — индикатор нарушения дернины.

В. Лапчатка гусиная — индикатор местообитаний, богатых азотом и фосфором.

Г. Фаза проградации — рост плотности популяции.

Д. Латентная фаза — гибель 50 % особей всей популяции.

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

Ж. Перманентный тип массового размножения — быстро затухающее состояние.

З. Временный тип массового размножения характерен для вредной черепашки (*Eurigaster spp.*), пядицы (*Oulema spp.*), малого хлебного пилильщика (*Cerphus pigmacus*).

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

К. Негативный прогноз размножения вредителей — исключение возможности появления опасного вредителя или вспышки его численности.

## Вопросы для самостоятельной работы

1. История развития биоиндикации и биоповреждения.
2. Метод организмов-уловителей.
3. Индустриальный мелонизм.
4. На основе анализа литературных данных о полиморфности морфологических структур высших растений предложить оптимальные виды-биоиндикаторы, которые можно использовать для оценки качества среды методом, описанным в данной лабораторной работе.
5. Причины, затрудняющие биоиндикацию с использованием растений.
6. Обрастание как биоповреждающий процесс в водной среде.
7. Основные обрастатели и их характеристика.
8. Механизм обрастания в водной среде.
9. Экология и распределение обрастателей.
10. Ущерб, наносимый биоповреждениями различным отраслям хозяйства.
11. Основные перспективные направления защиты от биоповреждений.
12. Предложить эффективные тесты и тест-объекты для индикации влияния на организмы различных пестицидов.
13. Определение и преимущества биоиндикации перед физико-химическими методами анализа.
14. Проанализировать, как зависят видовой состав и обилие почвенных микроорганизмов от важнейших характеристик почвы: типа, структуры, механического состава, влажности, кислотности, плодородия.
15. Проанализировать относительную устойчивость к влиянию техногенной среды разных жизненных форм высших растений. Сформулировать практические рекомендации службам озеленения города при планировании и проведении искусственных посадок, формировании рекреационной зон и зон, несущих культурно-эстетическую нагрузку.
16. Используя приемы лишеноиндикации, провести экологическое зонирование одного из районов г. Витебска по степени загрязнения атмосферного воздуха. Сравнить возможности биоиндикации, сопоставив экспериментальные данные с результатами физико-химического анализа качества атмосферного воздуха.

## Тестовые задания по дисциплине

1. *Биологическая индикация — это:* а) определение состояния среды по наличию или отсутствию в ней тех или иных организмов, называемых индикаторами; б) использование живых объектов в эксперименте; в) биологические часы; г) метод изучения животных.

2. *Биоиндикаторами называют:* а) датчик аналитических приборов, изучающих животных; б) организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки; в) растения; г) микроорганизмы.

3. *Биоиндикаторами называют:* а) организмы, жизненные функции которых применяются для определения степени зараженности среды; б) организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки; в) растения, которые используются для исследования состояния среды; г) нет верного ответа.

4. *Из перечня выберите характеристику, не являющуюся требованием для биоиндикаторов:* а) биотесты должны быть генетически однородны; б) должна быть обеспечена легкость взятия проб; в) биоиндикаторами могут быть редкие и исчезающие виды.

5. *Биоиндикаторы, концентрирующие загрязняющие вещества в тканях или частях тела, которые впоследствии используются для химического анализа, называются:* а) регистрирующие; б) экспресс-индикаторы; в) накапливающие; г) первичные.

6. *Использование в качестве биоиндикаторов водорослей называют:* а) фитоиндикация; б) альгоиндикация; в) лишеноиндикация; г) зооиндикация.

7. *Использование в качестве биоиндикаторов водорослей называют:* а) альгоиндикация; б) лишеноиндикация; в) нет верного ответа; г) фитоиндикация.

8. *Использование в качестве биоиндикаторов лишайников называют:* а) фитоиндикация; б) альгоиндикация; в) лишеноиндикация; г) зооиндикация.

9. *Использование в качестве биоиндикаторов лишайников называют:* а) фитоиндикация; б) лишеноиндикация; в) нет верного ответа г) альгоиндикация.

10. *Выберите из перечня количественный параметр, используемый в биоиндикации качества вод:* а) индекс чистоты атмосферы; б) индекс палеотолерантности; в) степень гемеобности; г) индекс Гуднайта — Уотля (олигохетный индекс).

11. *Выберите из перечня количественный параметр, используемый в биоиндикации качества вод:* а) индекс Вудивиса; б) индекс палеотолерантности; в) нет верного ответа; г) индекс Гуднайта — Уотля (олигохетный индекс).

12. Водоемы, загрязненные органическими стоками, как и организмы, способные в них жить, называют: а) сапробными; б) трофными; в) геме-робными; г) самоочищающимися.

13. Водоемы, загрязненные органическими стоками, как и организмы, способные в них жить, называют: а) сапробными; б) трофными; в) геме-робными; г) все ответы верны.

14. Выберите из перечня тип некрозов, выпадающий из рассматриваемой классификации: а) верхушечные; б) межжилковые; в) поверхностные; г) краевые.

15. Выберите из списка макроскопические изменения листового аппарата растений, используемые в биоиндикации в качестве тест-функций: а) изменение размеров клетки; б) изменение скорости радиального прироста; в) изменение субклеточных структур; г) плазмолиз.

16. Выберите из перечня тест-функцию, используемую в зооиндикации: а) все ответы верны; б) изменение скорости радиального прироста; в) инду-стриальный меланизм; г) плазмолиз.

17. Определение состояния среды по наличию или отсутствию в ней тех или иных организмов, называемых индикаторами, называется: а) био-тестированием; б) биоиндикацией; в) мониторингом; г) биомониторингом.

18. Сферами применения биоиндикации могут быть: а) контроль над состоянием популяций с целью ранней диагностики возможных наруше-ний ее экологических характеристик и возможности повлиять на структуру и функции биоты, продуктивность биоценоза; б) сохранение биоразнооб-разия природных ландшафтов, позволяющее обеспечить существование как можно большего числа организмов, в особенности редких видов биоты, высокочувствительных к загрязнению; в) выявление естественного буфер-ного потенциала биологической макросистемы и допустимых нагрузок эк-зогенных веществ при разнообразных воздействиях на систему; г) все три ответа верны.

19. Методической основой биоиндикации является: а) биоразнообра-зие; б) биотестирование; в) биоповреждения; г) биодиагностика.

20. Процедура установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих нарушением жизненно важных функций об из-менениях в среде — это: а) биотестирование; б) биоиндикация; в) экспресс-оценка; г) нет верных ответов.

21. Биотестирование, как метод оценки токсичности среды использу-ется: а) в контроле аварийных сбросов высокотоксичных веществ; б) при проведении оценки степени токсичности при проектировании локальных очистных сооружений; в) при проведении экологической экспертизы новых материалов технологий очистки, проектов очистных сооружений и т.п.; г) верны все три ответа.

22. Требования к биоиндикаторам и тест-объектам: а) легкость взятия проб; б) достаточная численность; в) генетическая неоднородность; г) верны первый и второй ответы.

23. Выделяют следующее число типов чувствительности тест-организмов: а) 2; б) 6; в) 4; г) 8.

24. Биоиндикаторы, которые концентрируют загрязняющие вещества в тканях или частях тела, носят название: а) регистрирующие; б) накапливающие; в) физиологические; г) морфологические.

25. Биоиндикация, позволяющая судить о воздействии факторов среды на состояние экосистемы, является: а) косвенной; б) по аккумуляции; в) регистрирующей; г) первичной.

26. Метод, при котором проводят соотношение текущего значения той или иной индикаторной характеристики с максимумом, называется: а) методом функции желательности; б) экспертной оценкой экосистем; в) анализом ранговых распределений; г) эталонным оцениванием.

27. Реакция биологической системы на экстремальные факторы среды, которые могут в зависимости от силы и интенсивности, момента и продолжительности воздействия более или менее сильно влиять на систему — это: а) стресс; б) дистресс; в) эустресс; г) нет верных ответов.

28. К абиотическим стрессорам относятся: а) химические вещества, вода, пестициды, температура, конкуренция; б) ветер, химические вещества, излучение, инфекция, вода; в) шум, соли, ветер, химические вещества, пестициды; г) хищничество, температура, вода, ветер, инфекция.

29. Свойство химических параметров среды проявлять повреждающее или летальное действие на живые организмы — это: а) токсичность; б) токсификация; в) токсикация; г) токсобность.

30. Токсичность сложных смесей, сточных вод, многокомпонентных факторов, является: а) интегральной токсичностью; б) хронической токсичностью; в) острой токсичностью; г) физиологической токсичностью.

31. Минимальный порог чувствительности, при котором отмечают специфические тест-реакции или смертность тест-объектов — это: а) LC100; б) LC0; в) NOEC; г) LC50.

32. Способность живых организмов существовать в токсической среде, сорбируя или используя определенное количество токсического вещества, называется: а) токсикометрией; б) токсификацией; в) токсобностью; г) нет верных ответов.

33. В пределах физиологического диапазона толерантности любая интенсивность фактора является: а) необратимой; б) летальной; в) адаптируемой; г) верны первый и второй ответы.

34. К макроскопическим изменениям относят: а) изменение окраски, изменение размеров клетки; б) изменение плодовитости, дефолиация; в) изменение формы, количества и положения органов, плазмолиз; г) плазмолиз.

35. Антропогенные стрессоры могут воздействовать на поведение организма через: а) информационную среду; б) неинформационную среду; в) верны первый и второй ответы; г) нет верных ответов.

36. Фактор, который является относительно стабильным при действии антропогенных стрессов: а) продуктивность; б) величина ареала; в) возрастная структура; г) плотность.

37. Обилие видов и видовое разнообразие для биоиндикации нарушений являются параметрами: а) условными и неточными; б) достоверными; в) непригодными для использования; г) нет верных ответов.

38. Наиболее часто используемыми для индикации стрессорами являются: а) соединения тяжелых металлов; б) биоциды; в) хлорорганические соединения; г) все ответы верны.

39. Выяснить факт нарушения экосистемы, установить, как изменились ее важнейшие функции можно: а) по популяционным характеристикам; б) по балансу вещественно-энергетического обмена; в) по изменению интенсивности транспирации; г) по плотности популяции.

40.  $KO = 2a/2a + в + с * 100\%$  — формула определения: а) процента сходства; б) коэффициента общности; в) а + б; г) интегральной токсичности.

41. Оценка состояния природных ландшафтов ведется по следующим направлениям: а) характеристика степени антропогенного преобразования ландшафта и его классификация; б) описание структурных биологических изменений; в) а + б; г) воздействие стрессоров на популяции животных.

42. Гемеробность — это: а) нарушение ландшафта; б) окультуренность ландшафта; в) обеднение флоры; г) элементарная единица ландшафта.

43. Агемеробные территории: а) интенсивно используемые пастбища, луга и леса; б) специальные культуры, мусорные свалки, отвалы; в) скалистые, болотистые, тундровые, высокогорные; г) полностью застроенные экосистемы.

44. Метод организмов-уловителей используется при: а) пассивном мониторинге; б) активном мониторинге; в) эталонном оценивании; г) верны все три ответа.

45. Накопление каких веществ не проявляется внешне и их можно определить только в сухом веществе: а) радионуклиды; б) азотистая кислота; в) хлор; г) смеси: пыль, зола, сажа, смог.

46. Появление различного рода пятен и красноватого оттенка листьев у фасоли и шпината наблюдается под избыточным действием: а) этилена; б) азотистой кислоты; в) озона; г) хлора.

47. Отмирание цветочных почек у томатов, мелкие размеры цветков, закручивание листьев происходит под действием этилена: а) высокой концентрации; б) слабой концентрации; в) длительное время; г) а + в.

48. Среди главных направлений использования лишайников в биоиндикации и биомониторинге антропогенного загрязнения выделяют: а) индикацию изменений загрязнения среды в пространстве; б) мониторинг

изменений загрязнения среды во времени; в) индикацию изменений загрязнения среды во времени и пространстве; г) нет верных ответов.

49. *Программа периодических исследований не включает:* а) инвентаризацию флоры лишайников; б) выявление лишайниковых синузий; в) устойчивость к загрязнению; г) нет верных ответов.

50. *Группа лишайников, покрытие которых под действием загрязнения (на расстоянии 30 км) уменьшается более чем в 10 раз:* а) чувствительные к действию атмосферного загрязнителя; б) устойчивые к загрязнению; в) очень чувствительные; г) не переносящие загрязнений.

51. *Виды лишайников, на расстоянии 30 км от источника загрязнения исчезают отовсюду, полностью выпадают из лишайниковой растительности:* а) не переносящие загрязнений; б) очень чувствительные; в) чувствительные к действию атмосферного загрязнителя; г) устойчивые к загрязнению.

52. *Показатель относительной чистоты атмосферы рассчитывается:* а)  $OЧА = 3H + Л - 3K/30$ ; б)  $OЧЛ = 1/LC50$ ; в)  $OЧА = H + 2Л + 3K/30$ ; г) нет верных ответов.

53. *Коэффициент токситолерантности вида  $i$  ( $Qi$ ):* а) частота вида  $i$  в каждом пункте; б) среднее число видов, сопровождающих вид  $i$  по всем пунктам; в) степень покрытия вида; г) скорость роста представителей отдельных видов.

54. *Не существует следующий вид загрязнения почв:* а) глобальное; б) периодическое узкоограниченное; в) территориально ограниченное; г) локальное узкоограниченное.

55. *Сохранение стабильности состава сообщества — это:* а) зона репрессии; б) зона гомеостаза; в) зона стресса; г) зона резистентности.

56. *Полное подавление роста и развития микроорганизмов в почве — это:* а) зона гомеостаза; б) зона стресса; в) зона репрессии; г) зона резистентности.

57. *Различают следующие типы изменения почв:* а) физическое; б) химическое; в) биологическое; г) первый и второй ответы верны.

58. *Агрохимикаты — это:* а) зола, известковая пыль; б) средства защиты растений; в) продукты ископаемых видов топлива; г) радиоактивные осадки.

59. *Подкисление почвы приводит к:* а) дефициту важных минеральных веществ; б) накоплению органики; в) нейтрализации; г) все три ответа верны.

60. *При загрязнении пылью и золой происходят следующие изменения:* а) накопление металлов; б) изменение общей насыщенности кислот; в) дефицит металлов; г) подщелачивание.

61. *Традиционным биотестом при исследовании остатков пестицидов в почве является:* а) овес; б) редис; в) гречиха; г) горчица.

62. По степени загрязненности вод органическими веществами водоемы классифицируют на: а) полисапробные; б) мезосапробные; в) олигосапробные; г) все три ответа верны.

63. Рассоединение листецов из групп и изменение окраски с зеленой на голубую у ряски проявляется при воздействии: а) Cu; б) Ba; в) Co; г) Zn.

64. Ведущая роль при биоиндикации изменения состояния водных экосистем принадлежит: а) простейшим; б) водорослям; в) рыбам; г) насекомым.

65. Для оценки состояния водных экосистем используется: а) фитобентос; б) перифитон; в) фитопланктон; г) все три ответа верны.

66. По формуле  $S = Xsh / Ih$  вычисляется: а) индекс Вудивисса; б) индекс Сладчека, Ватанабе, Пантле, Бука; в) индекс Парале; г) индекс Вудивисса — Сладчека.

67. Интегральный индекс рассчитывается по формуле: а)  $IBC = (ZBi)/Nd$ ; б)  $IBC = (ZBi/Nd) + 1$ ; в)  $IBC = Nd + Bi$ ; г)  $IBC = Nd + Bi/ZBi$ .

68. Индекс Балушкиной применяется для оценки состояния: а) фитобентоса; б) перифитона; в) первый и второй ответы верны; г) зообентоса.

69. Снижение активности биоценоза по сумме всех процессов образования и разрушения органического вещества фитопланктона, перифитона, бактерий и консументов соответствует: а) состоянию метаболического регресса; б) состоянию экологического регресса; в) состоянию экологического напряжения; г) нет верных ответов.

70. Индикатором очень кислых почв является: а) фиалка трехцветная; б) пырей ползучий; в) черника обыкновенная; г) осока низкая.

71. Индикатором каких почв является ожика равнинная: а) временно пересыхающих; б) сырых почв; в) очень кислых почв; г) удобряемых свежих лугов.

72. Индикатором местообитаний с поступлением азота и вытеснением является: а) крапива жгучая; б) лебеда раскидистая; в) гвоздика травяная; г) калужница болотная.

73. Индикатор сильного подкисления: а) клевер пашенный; б) крапива жгучая; в) подорожник большой; г) лютик ползучий.

74. В чистых олиготрофных озерах можно найти такие редко встречающиеся растения, как: а) полушники озерный (*Isoetes lacustris*), лобелия Дортмана (*Lobelia dortmanna*); б) рдесты (*Potamogeton*); в) элодею канадскую (водяную чуму) (*Eioiica canadensis*); г) уруть (*Myriophyllum*), турча болотная (*Hottonia palustris*).

75. Массовое развитие рясковых свидетельствует о: а) неблагополучии водной экосистемы; б) благополучии водной экосистемы; в) нет верного ответа; г) все ответы верны.



76. Высокий показатель обилия ряски трехдольной (*Lemna trtsuha* L.) говорит о: а) богатстве водной среды биогенными веществами; б) недостатке в водной среде биогенных веществ; в) нет верного ответа; г) чистоте и олиготрофии водоема.

77. Обилие ряски маленькой (*Lemna minor* L.) и многокоренника обыкновенного (*Spirodeh polyrhiza* (L.) Schleid.), помимо эвтрофирования, может свидетельствовать о: а) загрязнении водоема промышленными и сельскохозяйственными стоками; б) отсутствии в водоеме промышленных и сельскохозяйственных стоков; в) нет верного ответа; г) чистоте и олиготрофии водоема.

78. Локальное интенсивное развитие рясковых может указывать на: а) места отсутствия биогенных веществ в водоемах и на водосборной площади; б) места поступления биогенных веществ в водоемы с водосборной площади; в) нет верного ответа; г) чистоту и олиготрофию озер.

79. О наличии антропогенного воздействия на водную экосистему свидетельствует: а) пышное развитие группировок стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), элодеи канадской (*Eiodea canadensis* Michx.), и телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides* L.); б) пышное развитие группировок стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), и также элодеи канадской (*Eiodea canadensis* Michx.), телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides* L.), урути колосистой (*Myriophyllum spicatum* L.) и роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.); в) нет верного ответа; г) полушника озерного (*Isoetes lucustris* L.), полушника иглистого (колючеспорого) (*I. setacea* Lam.) (*I. echinusporea* Durieu), лобелии Дортмана (*Lobelia dortmanna* L.).

80. Индикатором полисапробной зоны является: а) водоросль эвглена зеленая (*Euglena viridis*); б) стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.); в) телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides* L.); г) все ответы верны.

81. Индикаторами  $\alpha$ -мезосапробной зоны служат: а) лобелия Дортмана (*Lobelia dortmanna* L.); б) элодея канадская (*Eiodea canadensis* Michx.); в) представители десмидиевых — рода (*Closterium*, *Cosmarium*), а также некоторые виды хламидомонадовых и представители рода (*Conium*); г) все ответы верны.

82. Индикаторами  $\beta$ -мезосапробной зоны служат: а) зеленые водоросли (*Syrura*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Chaetophora*). Из цианей встречаются виды родов (*Nostoc* и *Aphanisomenon*); б) стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), элодея канадская (*Eiodea canadensis* Michx.), и телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides* L.); в) представители диатомовых водорослей, различные виды родов (*Melosira*, *Asterionella*) и зеленые водоросли (*Syrura*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Chaetophora*). Из цианей встречаются виды родов (*Nostoc* и *Aphanisomenon*); г) нет верного ответа.

83. *Индикаторы олигосапробной зоны:* а) зеленые водоросли — (*Ulothrix*, *Cladophora*, *Spirogira*); б) диатомовые водоросли (*Meridian* и *Surirella*), из зеленых водорослей — (*Ulothrix*, *Cladophora*, *Spirogira*); в) стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.); г) нет верного ответа.

84. *В целях биоиндикации радиоактивного загрязнения почв наиболее удобны:* а) подвижные почвенные обитатели с длительным периодом развития; б) малоподвижные почвенные обитатели с коротким периодом развития; в) подвижные почвенные обитатели с коротким периодом развития; г) малоподвижные почвенные обитатели с длительным периодом развития (дождевые черви, многоножки, личинки жуков).

85. *Индикатором загрязнений водоемов радионуклидами являются:* а) моллюски озерно-прудовые и рачки-дафнии; б) рыбы; в) млекопитающие; г) нет верного ответа.

86. *В водных экосистемах надежным биоиндикатором радиационной обстановки являются водные растения:* а) элодея канадская; б) ива ломкая (*Salix fragilis*); в) водяной орех (*Trapa natans*); г) нет верного ответа.

87. *В наземных экосистемах к хорошим индикаторам, накапливающим радионуклиды, в частности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , относятся:* а) сфагновые мхи; б) хвоя сосны и ели; в) крапива двудомная, мать-и-мачеха, полынь обыкновенная, клевер розовый, клевер ползучий, тимopheевка луговая, подмаренник, мышиный горошек, звездчатка жестколистная, ландыш майский, гравилат речной, ежа сборная, пырей гребенчатый; г) все ответы верны.

88. *Восстановление сообществ почвенной мезофауны начинается по мере снижения концентраций в почве и токсичности остаточного нефтепродукта:* а) быстрее всего восстанавливают численность моллюски, далее кольчатые черви, затем насекомые и паукообразные; б) быстрее всего восстанавливают численность многоножки, затем насекомые, паукообразные; в) быстрее всего восстанавливают численность многоножки, затем насекомые, паукообразные, далее кольчатые черви, моллюски; г) нет верного ответа.

89. *В качестве биоиндикаторов для проверки загрязнения почв газом в окрестностях подземных трубопроводов используют саженцы:* а) тополя; б) березы; в) вяза; г) бука.

90. *Одним из надежных биоиндикаторов загрязнения обширных территорий хлорорганическими пестицидами являются:* а) хищные рыбоядные птицы; б) воробьиные птицы; в) насекомоядные птицы; г) перелетные птицы.

91. *При высоком загрязнении окружающей среды пестицидами вначале исчезают:* а) дневные хищники и околоводные птицы (скопа, серая цапля, выпь, поганка, кулики, чайки и др.); б) всеядные (исключая врановых) и, наконец, насекомоядные и растительные виды; в) дневные хищники, рыбоядные и околоводные птицы (скопа, серая цапля, выпь, поганка, кулики, чайки и др.), затем всеядные (исключая врановых) и, наконец, насекомоядные и растительные виды; г) все ответы верны.

92. Индикатором уровня загрязнения окружающей среды ртутными соединениями является: а) их содержание в птичьих перьях; б) их содержание в птичьих яйцах; в) их содержание в птичьем помете; г) все ответы верны.

93. Среди растений самыми чувствительными индикаторами общего загрязнения воздуха являются: а) лишайники; б) дубы; в) осины; г) все ответы верны.

94. В окрестностях предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны под действием нитратов: а) изгибается; б) укорачивается; в) удлиняется; г) нет верного ответа.

95. В окрестностях предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны под влиянием сернистого газа: а) изгибается; б) укорачивается; в) удлиняется; г) нет верного ответа.

96. У лип в условиях устойчивого сильного загрязнения атмосферы получает распространение: а) кустовидная форма; б) искривленная форма; в) гигантская форма; г) нет верного ответа.

97. Сложные древостои: а) менее чувствительны к загрязнению; б) более чувствительны к загрязнению; в) не чувствительны к загрязнению; г) нет верного ответа.

98. Изреживание древостоя: а) ведет к изменениям в нижних ярусах; б) не ведет к изменениям в нижних ярусах; в) ведет к изменениям в верхних ярусах; г) нет верного ответа.

99. Показателем кислой почвы служит: а) присутствие сине-зеленых и диатомовых водорослей; б) отсутствие сине-зеленых и диатомовых водорослей; в) чрезмерное развитие сине-зеленых и диатомовых водорослей; г) нет верного ответа.

100. Показателем щелочной почвы служит: а) еле заметное присутствие сине-зеленых и диатомовых водорослей; б) отсутствие сине-зеленых и диатомовых водорослей; в) господство сине-зеленых водорослей; г) нет верного ответа.

101. Повышенные дозы минеральных удобрений: а) угнетают водоросли; б) не угнетают водоросли; в) незаметно угнетают водоросли; г) нет верного ответа.

102. Лучшим индикатором плотности и механического состава почв являются: а) роющие представители почвенной мезофауны — личинки пластинчатоусых жуков; б) роющие представители почвенной микрофауны — личинки клещей; в) роющие представители червей; г) нет верного ответа.

103. К кальцефильным почвенным и подстилочным животным относятся: а) жуки и их личинки; б) диплоподы, мокрицы, дождевые черви, моллюски; в) клещи и их личинки; г) все ответы верны.

104. Численность дождевых червей, мокриц, диплопод моллюсков резко повышается при: а) известковании почв; б) перепашке почв; в) внесении азотных удобрений; г) внесении фосфорных удобрений.

105. Необычно высокий рост плотности популяции вредителей — это: а) сверхразмножение; б) ретроградация; в) кульминация; г) проградация.

106. Рост плотности популяции: а) кульминация; б) ретроградация; в) латентная фаза; г) проградация.

107. Тип массового размножения, для которого характерно быстро затухающее состояние: а) временный тип; б) латентный тип; в) перманентный тип; г) нет верных ответов.

108. Латентный тип массового размножения характерен для: а) яблонной плодожорки; б) колорадского жука; в) вредной черепашки; г) полевки обыкновенной.

109. Биоценотическое, ландшафтно-зональное и биосферное явление, основанное на взаимодействии экологических и антропогенно-технологических факторов, вызванное заполнением (загрязнением) биосферы результатами человеческой деятельности: а) биоиндукция; б) биоповреждение; в) биоиндикация; г) биотестирование.

110. Источником биоповреждения служит: а) фактор среды; б) человек; в) живой организм; г) второй и третий ответы верны.

111. Биоповреждения не возникают: а) вне среды; б) в окружающей среде; в) первый и второй ответы верны; г) нет верных ответов.

112. Биоповреждение является: а) экологическим явлением; б) антропогенным явлением; в) технологическим явлением; г) все три ответы верны.

113. Факторы, которые не влияют на взаимоотношение основных компонентов биоповреждающего процесса: а) эколого-географические; б) социально-экономические; в) антропогенные; г) нет верных ответов.

114. Минимальной единицей биоповреждающего воздействия является: а) вид; б) популяция; в) сообщество; г) биоценоз.

115. Один из самых существенных факторов, который может ускорить или затормозить возникновение биоповреждения, изменить характер и направленность — это: а) биоценотические связи; б) тест-объекты; в) индикационные связи; г) популяционно-экологические объекты.

116. Основные партнеры, участвующие в защите от биоповреждений делятся на: а) 3 категории; б) 4 категории; в) 5 категорий; г) 2 категории.

117. Первые упоминания о биоповреждении материалов микроорганизмами встречаются у: а) Платона; б) Аристотеля; в) Плиния и Гомера; г) Бюффона.

118. Источником энергии служат окислительно-восстановительные реакции у следующей группы бактерий: а) автотрофы; б) хемотрофы; в) литотрофы; г) фототрофы.

119. Источником энергии и углерода у фототрофных бактерий является: а) свет; б) органические соединения; в) углекислота; г) все три ответа верны.

120. Источником энергии у литотрофных бактерий является: а) свет; б) неорганические вещества; в) углекислота; г) органические соединения.

121. Источником энергии автотрофных бактерий является: а) углекислота; б) органические соединения; в) неорганические вещества; г) свет.

122. К литотрофным бактериям не относятся: а) тионовые; б) нитрифицирующие; в) железобактерии; г) нет верных ответов.

123. Способность бактерий разрушать разнообразные органические соединения связана с присутствием у них: а) плазмид; б) хромосом; в) рибосом; г) все три ответа верны.

124. К специфическим биологическим особенностям, позволяющим грибам участвовать в развитии биоповреждений не относят: а) способность расти в биологически экстремальных условиях; б) способность образовывать токсические продукты; в) низкую энергию размножения; г) верны все три ответа.

125. К каким организмам относятся грибы: а) прокариоты; б) эукариоты; в) первый и второй ответы верны; г) нет верных ответов.

126. Гетерокариотичность мицелия характерна для класса: а) зигомикеты; б) базидиомицеты; в) аскомицеты; г) дейтеромицеты.

127. Для материалов является опасным следующее количество семейств жуков: а) 29; б) 19; в) 45; г) 97.

128. В список кожеедов, вредящих на территории СНГ, включено: а) 42 вида; б) 67 видов; в) 45 видов; г) нет верных ответов.

129. Переходу кожеедов в синантропные условия благоприятствуют следующие экологические особенности: а) высокая численность вида в природе; б) отсутствие диапаузы; в) пластичность; г) все три ответа верны.

130. При борьбе с молями необходимы следующие мероприятия: а) низкая температура; б) высокая влажность; в) проветривание и просушивание помещений; г) первый и третий ответы верны.

131. В нашей стране известно следующее число видов точильщиков, вредящих постройкам, мебели, музейным экспонатам: а) 10 видов; б) 20 видов; в) 30 видов; г) 40 видов.

132. Неблагоприятной для существования насекомых является среда с: а) высокой влажностью; б) низкой температурой; в) низкой влажностью; г) первый и второй ответы верны.

133. Антиметаболиты, которые в соответствующих концентрациях влияют на жизненно важные функции насекомых, подавляют их рост и размножение: а) пестициды; б) гербициды; в) инсектициды; г) инсектистатики.

134. Среди населяющих земной шар видов птиц, к биоповреждающим относится: а) 3%; б) 8%; в) 1%; г) 27%.

135. Основные биоповреждающие виды относятся к семейству: а) чайковые; б) жаворонковые; в) дятловые; г) совиные.

136. К повреждаемым птицами объектам относят: а) повреждение энергетических установок; б) повреждение пушно-мехового сырья; в) повреждение транспортных средств; г) все ответы верны.

137. К средствам защиты от биоповреждений, вызываемых птицами, относят: а) биоцидные средства; б) средства, ухудшающие физиологическое состояние организма; в) средства, вызывающие реакцию активного избегания; г) все ответы верны.

138. К средствам защиты от биоповреждений, вызываемых млекопитающими, относят: а) проведение общих профилактических мер; б) истребительные работы; в) применение инсектицидов; г) первый и второй ответы верны.

139. Большое количество видов встречается при следующем типе обрастания: а) глубоководное; б) океаническое; в) прибрежное; г) нет верных ответов.

140. В пресных водах одним из основных обрастателей, часто встречающихся на сваях, буях, в водоводах, являются: а) кишечнополостные; б) полихеты; в) губки; г) водоросли.

141. Встречается в обрастании только в пресных водах и в очень ограниченном количестве в солоноватых следующая группа организмов: а) насекомые; б) иглокожие; в) оболочники; г) ракообразные.

142. Количество водорослей зависит от: а) солености; б) температуры воды; в) освещенности; г) все три ответа верны.

143. Развитие первичной пленки начинается с: а) диатомовых водорослей; б) бактерий; в) грибов; г) губок.

144. Первые фазы развития сообщества обрастания контролируются: а) биотическими факторами; б) антропогенными факторами; в) абиотическими факторами; г) верны все три ответа.

145. Преобладание разных видов обрастателей в биоценозе зависит от: а) экологических условий; б) свойств субстрата; в) продолжительности нахождения субстрата в воде; г) все ответы верны.

146. Схема сукцессии обрастания состоит из: а) 3-х фаз; б) 4-х фаз; в) 5-ти фаз; г) 6-ти фаз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карташев, А.Г. Биоиндикационные методы контроля окружающей среды: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным направлениям / А.Г. Карташев. — М.: Юрайт, 2022. — 136, [2] с.
2. Сушко, Г.Г. Методология биологических и экологических исследований: пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-31 80 01 Биология / Г.Г. Сушко, С.В. Буга; Белорусский государственный университет. — Мн.: БГУ, 2020. — 161, [3] с.
3. Яновская, В.В. Биоиндикация и биоповреждения: метод. рекомендации / В.В. Яновская; М-во образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова», Каф. экологии и географии. — Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2020. — 43, [1] с.: ил., табл. — Библиогр.: 43 с.
4. Биоиндикация качества среды: практикум для студентов специальностей 1-31 01 01 Биоэкология, 1-31 01 01-02 Биология (научно-педагогическая деятельность) / [сост.: А.П. Колбас, М.В. Левковская]; Учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина». — Брест: БрГУ имени А.С. Пушкина, 2018. — 58, [1] с.
5. Груздев, В.С. Биоиндикация состояния окружающей среды / В.С. Груздев. — М.: Инфра-М, 2018. — 159 с.
6. Гусарова, В.С. Методы и средства измерения качества окружающей среды: практикум к лабораторным работам / В.С. Гусарова, И.А. Макарова, У.П. Зырянова. — Ульяновск, 2019. — 79 с.
7. Ляшенко, О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие / О.А. Ляшенко; СПбГТУРП. — СПб., 2012. — 67 с.
8. Осипенко, Г.Л. Биомониторинг и биоиндикация: практическое руководство / Г.Л. Осипенко; Гом. гос. ун-т имени Ф. Скорины. — Гомель, 2015. — 39 с.
9. Сушко, Г.Г. Эколого-фаунистическая характеристика жесткокрылых (Coleoptera) естественных и антропогеннонарушенных верховых болот Белорусского Поозерья / Г.Г. Сушко // Ученые записки УО «ВГУ имени П.М. Машерова». — 2004. — Т. 3. — С. 276–288.
10. Шкатуло, В.В. Жесткокрылые (Insecta: Coleoptera) мелиорированных верховых болот Белорусского Поозерья / В.В. Шкатуло // Веснік ВДУ. — 2013. — № 4(76). — С. 33–39.
11. Шкатуло, В.В. Современное состояние и основные тенденции изменений комплексов насекомых (Auchenorrhyncha, Heteroptera, Coleoptera) трансформированных верховых болот Белорусского Поозерья / В.В. Шкатуло, Г.Г. Сушко // Веснік ВДУ. — 2014. — № 4(82). — С. 46–57.

Учебное издание

**ЯНОВСКАЯ** Виктория Владимировна

## **БИОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Методические рекомендации

Технический редактор

*Г.В. Разбоева*

Компьютерный дизайн

*Л.В. Рудницкая*

Подписано в печать 29.12.2025. Формат 60х84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,72. Тираж 40 экз. Заказ 157.

Издатель и полиграфическое исполнение — учреждение образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».  
210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.