

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра экологии и природопользования

*Т.А. Евстифеева*

# **БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Государственного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург  
ИПК ГОУ ОГУ  
2010

УДК 574 (076.5)

ББК 20.1 (я 73)

Е 26

Рецензент - кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой  
биоэкологии ОГАУ А.В. Филиппова

**Е 26**            **Евстифеева, Т.А.**  
**Биологический мониторинг : методические указания к**  
**лабораторным работам / Т.А.Евстифеева; Оренбургский гос.ун-т. –**  
**Оренбург: ОГУ, 2010. – 41 с.**

Методические указания предназначены для студентов специальности  
«Охрана окружающей среды».

УДК 574 (076.5)

ББК 20.1 (я 73)

© Евстифеева Т.А., 2010

© ГОУ ОГУ, 2010

## Содержание

1	Лабораторная работа №1. Особенности исследовательской деятельности в биоиндикации. Методика отбора проб растительного материала.....	4
2	Лабораторная работа №2. Влияние уровня автотранспортной нагрузки на состояние придорожной растительности.....	7
3	Лабораторная работа №3. Лабораторная работа №3. Определение уровня химического загрязнения среды по показателю стабильности развития березы повислой.....	9
4	Лабораторная работа № 4. Определение уровня запыленности воздуха биоиндикационным методом.....	11
5	Лабораторная работа № 5. Биоиндикация уровня загрязнения среды химическими веществами с использованием кресс-салата.....	13
6	Лабораторная работа № 6. Устойчивость живых организмов к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами.....	16
7	Лабораторная работа №7. Индикация закисления воды с помощью диатомовых водорослей.....	20
8	Лабораторная работа №8. Биоиндикация химических методов борьбы с вредителями в сельском хозяйстве.....	23
9	Лабораторная работа № 9. Инвентаризация зеленых насаждений селитебной территории.....	25
10	Лабораторная работа № 10. Индикации уровня загрязнения окружающей среды по качеству пыльцы.....	29
11	Лабораторная работа № 11. Оценка состояния древостоя.....	31
12	Лабораторная работа № 12. Методика определения степени загрязнения воздуха по лишайникам.....	34
13	Статистическая обработка результатов биоиндикации.....	36
13.1	Оценка среднего значения и его погрешности.....	36
13.2	Оценка достоверности различий средних значений.....	39
	Список использованных источников.....	41

# **1 Лабораторная работа №1. Особенности исследовательской деятельности в биоиндикации. Методика отбора проб растительного материала**

**Цель работы** – овладеть методикой работы с биологическими объектами; овладеть методикой отбора проб растительного материала, используемого для биоиндикации.

Исследовательская деятельность по биомониторингу (биоиндикации) предполагает наличие нескольких основных этапов.

## **Этап 1. Подготовительный**

Студенты изучают литературу, занимаются сбором предварительных данных об объекте изучения, подбирают методики и необходимое оборудование, заводят дневники.

Методы биоиндикации подразделяются на два вида: регистрирующая биоиндикация и биоиндикация по аккумуляции. Регистрирующая биоиндикация позволяет судить о воздействии факторов среды по состоянию особей вида или популяции, а биоиндикация по аккумуляции использует свойство растений и животных накапливать те или иные химические вещества (например, содержание свинца в печени рыб, находящихся на конце пищевой цепочки, может достигать 100 – 300 ПДК). В соответствии с этими методами различают регистрирующие и накапливающие индикаторы.

Регистрирующие биоиндикаторы реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями (в том числе уродливостью), изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками. В качестве примера регистрирующих биоиндикаторов можно назвать лишайники, хвою деревьев (хлороз, некроз) и их сухостершинность.

Накапливающие индикаторы концентрируют загрязняющие вещества в своих тканях, определенных органах и частях тела, которые в последующем используются для

выяснения степени загрязнения окружающей среды при помощи химического анализа.

## **Этап 2. Экспериментальный**

В процессе полевых исследований, экспедиций, экологических практик, лагерей и других видов деятельности студенты проводят системные наблюдения, сбор информации и образцов, закладывают опытные ключевые участки, делают их описание.

Перед сбором растительного материала для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Биологический мониторинг» необходимо определить его цель (анализ или составление предметного гербария). В зависимости от преследуемой цели осуществляют сбор целых растений, отдельных вегетативных или генеративных частей. Для составления предметного гербария отбирают целые или части растений биоиндикатора, обладающие визуально определяемыми признаками, иллюстрирующими острое или хроническое отравление отдельными химическими веществами или их смесями. Наиболее часто для биоиндикации используют листья, обладающие высокой поглощающей способностью и семена высоко чувствительные к стрессу. При выявлении зависимости между уровнем техногенной нагрузки и состоянием растительности отбор проб растительного материала производится по следующим правилам:

- 1) деревья выбираются средневозрастные;
- 2) части побегов выбираются хаотично с разных сторон на высоте не менее 1,5 м от земли;
- 3) в каждой исследуемой точке выбирается не менее 5-ти деревьев;
- 4) образец растительного материала помещают в полиэтиленовый пакет с биркой, указывающей видовое название растения, место и дату сбора.

При выборе биоиндикаторов учитывают следующее:

1. Стенотопные виды (то есть виды, приспособленные к существованию в строго определенных условиях), более редкие в сообществах, как правило, являются лучшими индикаторами, нежели эвритопные (широко распространенные, обладающие широким диапазоном экологической выносливости).

2. Более крупные виды являются обычно лучшими индикаторами, чем мелкие, так как скорость оборота последних в биоценозах выше и они могут не попасть в

пробу в момент исследований (при наблюдениях с длительной периодичностью).

3. При выделении вида (или группы видов), используемого в качестве индикатора воздействия того или иного фактора, необходимо иметь полевые и экспериментальные сведения о лимитирующих значениях данного фактора с учетом возможных компенсаторных реакций организма и толерантности вида (группы видов).

4. Численное соотношение разных видов (популяций или сообществ) более показательно и является более надежным индикатором, нежели численность одного вида («...целое лучше, чем часть, отражает общую сумму условий»).

### **Этап 3. Камеральный**

Осуществляется обработка образцов материалов, определяется видовой состав, создаются коллекции и гербарии, составляются таблицы, проводится математическая обработка результатов.

### **Этап 4. Аналитический**

Проводится работа по выявлению причинно-следственных связей, закономерностей, экологических проблем, составляются рекомендации и предложения.

### **Этап 5. Отчетный**

Результаты исследования заносятся в лабораторный журнал по дисциплине «Биологический мониторинг». Выявленные причинно-следственные связи отображаются на итоговых графиках, диаграммах или картах.

## **2 Лабораторная работа №2. Влияние уровня автотранспортной нагрузки на состояние придорожной растительности**

**Цель работы** – выявить закономерности изменения растительного покрова вдоль действующих автомагистралей города Оренбурга; овладеть навыками визуального и гистологического анализа растительного материала.

**Оборудование и материалы:** микроскоп «МБИ», предметные и покровные стекла, дистиллированная вода, препаровальные иглы, ножницы, безопасные лезвия.

## **Общие положения**

Дорожно-транспортный комплекс является мощным источником загрязнения окружающей среды. Отработанные газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 200 наименований вредных веществ. Нефтепродукты, продукты износа шин, тормозных колодок, деталей двигателя, кузова, дорожного полотна, сыпучие и пылящие грузы, хлориды, используемые в качестве антиобледенителей, загрязняют воздух и почву придорожных территорий и оказывают негативное воздействие на растительность, произрастающую в непосредственной близости от дорожного полотна.

## **Ход работы**

Работа осуществляется в 4 этапа:

1. Дается характеристика исследуемого участка дороги с указанием количества полос движения придорожных зон, характера покрытия, площади проективного покрытия растительностью придорожных территорий, а также наличия пешеходных переходов, светофоров, пересечений с другими дорогами.

2. Определяется интенсивность движения автотранспорта на исследуемой улице – в нахождении среднего количества автомобилей (легковых, грузовых с бензиновым и дизельным двигателями), проехавших по дороге за определенный промежуток времени:

- утром ( $7^{00} - 8^{00}$ )
- днем ( $14^{00} - 15^{00}$ )
- вечером ( $18^{00} - 19^{00}$ )
- ночью ( $22^{00} - 23^{00}$ )

По результатам подсчетов определяется среднее количество автомобилей за один час. Средние данные суммируются, определяется общая интенсивность движения автотранспорта. Результаты исследований заносятся в таблицу 1.

3. Осуществляется отбор и анализ проб растительного материала. Пробы отбираются на расстоянии 5 м от дорожного полотна. В каждой точке выбирается по 5 средневозрастных деревьев 4<sup>x</sup> видов: береза повислая (*Betula pendula* Poth.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), тополь черный, карагач (*Ulmus pumila* L.).

4. С каждого дерева отбирается по 20 листьев на высоте 1,5 м от земли.

Таблица 1 – Интенсивность движения автотранспорта

Время	Количество автомобилей
7 <sup>00</sup> – 8 <sup>00</sup>	
14 <sup>00</sup> – 15 <sup>00</sup>	
18 <sup>00</sup> – 19 <sup>00</sup>	
22 <sup>00</sup> – 23 <sup>00</sup>	
Общая интенсивность	

Определяются следующие морфологические и анатомические параметры листовой пластинки: длина листа, ширина листа, площадь листовой пластинки, количество жилок, отходящих от центральной жилки листа, толщина мезофилла, а также верхнего и нижнего эпидермиса. Анатомическое исследование проводится с использованием микроскопа «МБИ» при 40 кратном увеличении. Поперечные срезы листовых пластинок приготавливаются по общепринятым методикам, полученные данные представляются в таблице 2.

4. Анализ полученных данных. Составляется сводная таблица данных, полученных всеми студентами подгруппы. На основании их анализа строятся графики, иллюстрирующие наличие или отсутствие связи между уровнем автотранспортной нагрузки и каждым из определяемых параметров листовой пластинки.

Таблица 2 – Значения параметров листовой пластинки

Улица, интенсивность движения (шт.)	Показатель (среднее по 5 экз.)	Наименование индикатора			
		карагач	береза	клен	тополь
	Ширина листовой пластинки				
	Длина листовой пластинки				
	Площадь листовой пластинки				
	Количество жилок				
	Толщина верхнего эпидермиса				
	Толщина нижнего эпидермиса				

Работа заканчивается выводом о результатах исследований.

### **3 Лабораторная работа №3. Определение уровня химического загрязнения среды по показателю стабильности развития березы повислой**

**Цель работы** – определение уровня химического загрязнения воздуха и почвы по показателю стабильности развития березы повислой (*Betula pendula*).

**Оборудование и материалы:** линейка, транспортир.

#### **Общие положения**

Из множества форм асимметрии билатеральных признаков живых организмов особенно выделяется флуктуирующая асимметрия (ФА), которая позволяет оценить нестабильность развития целого организма или его части. Флуктуирующей асимметрией называют небольшие ненаправленные различия между правой и левой (*R - L*) сторонами различных морфологических структур, в норме обладающих билатеральной симметрией. Результаты многочисленных исследований позволяют считать определение ФА одним из морфологических методов оценки состояния и динамики биосистем, а сам показатель ФА – индексом стабильности развития организма.

#### **Ход работы**

1. Отобрать в каждой точке 50 листьев березы повислой (по 10 шт. с укороченных побегов нижней части кроны 5 деревьев).

1. Исследуемый лист березы поместить перед собой брюшной (внутренней) стороной вверх. Брюшной стороной листа называют сторону листа, обращенную к верхушке побега. С каждого листа снять показатели по пяти промерам с левой и правой сторон:

а) ширина левой и правой половинок листа (для измерения листовую пластинку складывают пополам, совместив основание и верхушку);

б) длина второй от основания листа жилки второго порядка;

в) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

г) расстояние между концами этих же жилок;

д) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Полученные величины занести во вспомогательную таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты промеров

№ листа	Результаты промеров									
	а		б		в		г		д	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
№ 1..										
....										
№ 50										

3. Для каждого промеренного листа вычислить относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого модуль разности между промерами слева (L) и справа (R) делят на сумму этих же промеров -  $|L-R|/|L+R|$ .

4. Вычислить показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммировать значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и разделить на число признаков, результаты вычислений заносили во вспомогательную таблицу 4.

5. Вычислить интегральный показатель стабильности развития. Для этого суммировать средние значения величины асимметрии и сумму разделить на 50.

Таблица 4 – Показатели величины асимметрии листьев по отдельным признакам

№ листа	Признаки					Средняя величина
	а	б	в	г	д	
№ 1						
.....						
№ 50						
Показатель стабильности развития						

6. Оценить степень нарушения стабильности развития по пятибалльной шкале (таблица 5), где первый балл – условная норма, наблюдается для растений, произрастающих в благоприятных условиях с незначительным уровнем антропогенного загрязнения, а пятый балл – критическое значение, наблюдаемое в крайне неблагоприятных условиях (например, высоком уровне химического загрязнения), угнетающих развитие растений.

Таблица 5 – Шкала оценки отклонений в развитии организма от условной нормы по величине показателя стабильности развития

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

7. Сравнить значения средней величины асимметрии из разных точек, отобразить на рисунке и сделать вывод о наиболее загрязненной части территории города.

#### **4 Лабораторная работа № 4. Определение уровня запыленности воздуха биоиндикационным методом**

**Цель работы** – оценить вклад дорожно-транспортного комплекса в уровень запыленности воздуха.

**Оборудование и материалы:** стеклянная тара для сбора листьев, аналитические весы, фильтры бумажные, бумага белая

##### **Общие положения**

В атмосфере постоянно присутствует пыль различного происхождения и химического состава. При неполном сгорании топлива образуется сажа, представляющая собой высокодисперсный нетоксичный порошок, на 90-95% состоящий из частиц углерода. Сажа обладает большой адсорбционной способностью по отношению к тяжелым углеводородам и в том числе к бенз(а)пирену, что делает сажу весьма опасной для человека. Источником атмосферной пыли является также зола, образующаяся при сгорании топлива. Дисперсный состав пылей и туманов определяет их проникающую способность в организм человека. Особую опасность представляют токсические тонкодисперсные пыли с размером частиц 0,5-10 мкм, которые легко проникают в органы дыхания.

## Ход работы

1. Выбираются несколько автомагистралей с различной интенсивностью движения автотранспорта в одном микрорайоне.

2. На расстоянии 2 - 5 м от дорожного полотна и (для контроля – в удалении от него) выбирают по 5 деревьев одной породы. На высоте 1 – 1,5 м со стороны дороги с каждого дерева срывают по 10 листьев и помещают в чистую стеклянную банку с крышкой. В другую банку таким же образом собирают листья с контрольных деревьев, растущих вдали от дороги. Места взятия проб отмечают на карте микрорайона.

3. Листья в банках заливают дистиллированной водой, затем тщательно смывают пыль с поверхности каждого листа. Воду фильтруют и взвешивают массу осадка после сушки. Полученный результат дает массу пыли на обмытой поверхности.

4. Для определения поверхности обмытых листьев берут 5 листьев, лучше разных по размеру, протирают их от воды и обводят каждый из них на бумаге. Затем вырезают по контуру и взвешивают вырезанные проекции листа. Из той же бумаги вырезают квадрат 10 x10 см и взвешивают его. Рассчитывают поверхность обмытых листьев по формуле:

$$S = \frac{M_1 \cdot \Pi_1}{5 \cdot M_2} (\text{дм}^2), \quad (1)$$

где  $M_1$  – масса бумаги, вырезанной по контурам 5 листьев, г;

$M_2$  – масса 1 дм<sup>2</sup> бумаги, г;

$\Pi_1$  – количество обмытых листьев.

5. Определяют количество пыли, осажденной на 1 кв. м поверхности листвы, а зная точное время накопления пыли (от последнего сильного дождя до момента исследований), можно подсчитать среднюю скорость осаждения пыли за сутки (г/м<sup>2</sup>·сут):

$$V = \frac{m \times 100}{S \times t}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса пыли, г;

$S$  – поверхность обмытых листьев,  $\text{дм}^2$  ;

$t$  – время осаждения пыли, сут.

Результаты определения заносят в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты анализа запыленности воздуха

Осаждение пыли, $\text{г}/\text{м}^2$	Номера точек отбора проб									
	с антропогенной нагрузкой					природный ландшафт				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Июнь										
Сентябрь										

6. Участники исследовательской группы создают карту запыленности воздуха для данной территории.

## **5 Лабораторная работа № 5. Биоиндикация уровня загрязнения среды химическими веществами с использованием кресс-салата**

**Цель работы** – овладеть методикой индикации уровня химического загрязнения с помощью семян растений

**Оборудование и материалы:** чашки Петри, кюветы, поддоны, промытый речной песок, фильтровальная бумага, семена кресс-салата.

### **Общие положения**

Кресс-салат – однолетнее овощное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы тяжелыми металлами, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами автотранспорта. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей.

Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и

искривление проростков)

Кресс-салат как биоиндикатор удобен еще и тем, что действие стрессоров можно изучать одновременно на большом числе растений при небольшой площади рабочего места. Привлекательны также и весьма короткие сроки эксперимента. Семена кресс-салата прорастают уже на третий – четвертый день, и на большинство вопросов эксперимента можно получить ответ в течение 10– 15 суток. Кроме загрязнения почвы, на кресс-салат оказывает влияние состояние воздушной среды. Газообразные выбросы автомобилей вызывают морфологические отклонения от нормы у проростков кресс-салата, в частности, отчетливо уменьшают их длину.

Кресс-салат можно выращивать на незастекленных балконах многоэтажных домов, расположенных вдоль автодорог. Газообразные выбросы автотранспорта имеют плотность более высокую, чем воздух, и скапливаются в приземном слое до высоты 2-х метров. Одновременное выращивание кресс-салата на балконах нижних и верхних этажей летом, в период теплой и безветренной погоды, обычно показывает заметные различия в качестве проростков.

### **Ход работы**

1. Прежде чем ставить эксперимент по биоиндикации загрязнений с помощью кресс-салата, партия семян, предназначенных для опытов, проверяется на всхожесть. Для этого семена кресс-салата проращивают в чашках Петри, в которые насыпают промытый речной песок слоем в 1 см. Сверху его накрывают фильтровальной бумагой и на нее раскладывают определенное количество семян. Перед раскладкой семян песок и бумагу увлажняют до полного насыщения водой. Сверху семена закрывают фильтровальной бумагой и неплотно накрывают стеклом. Проращивание ведут в лаборатории при температуре 20 – 25 °С. Нормой считается проращение 90 – 95% семян в течение 3 – 4 суток. Процент проросших семян от числа посеянных называется всхожестью.

После определения всхожести семян приступают к проведению эксперимента, закладывая один или несколько опытов в следующей последовательности.

2. Чашку Петри заполняют до половины исследуемым субстратом (почвой, талым снегом и т. п.). В другую чашку кладут такой же объем заведомо чистого

субстрата, который будет служить в качестве контроля по отношению к исследуемому материалу.

3. Субстраты во всех чашках увлажняют одним и тем же количеством отстоянной водопроводной воды до появления признаков насыщения.

4. В каждую чашку на поверхность субстрата укладывают по 50 семян кресс-салата. Расстояние между соседними семенами должно быть по возможности одинаковым.

5. Покрывают семена теми же субстратами, насыпая их почти до краев чашек и аккуратно разравнивая поверхность.

6. Увлажняют верхние слои субстратов до влажности нижних.

7. В течение 10 – 15 дней наблюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов примерно на одном уровне. Результаты наблюдений записывают в таблицу (таблица 6).

Таблица 6 – Скорость прорастания семян кресс-салата

Исследуемый субстрат	Число проросших семян, %.				
	3 сутки	4 сутки	5 сутки	...	15 сутки
Опыт 1					
Опыт 2					
...					
Контроль					

В зависимости от результатов опыта субстратам присваивают один из четырех уровней загрязнения.

1. Загрязнение отсутствует.

Всхожесть семян достигает 90 – 100 %, всходы дружные, проростки крепкие, ровные. Эти признаки характерны для контроля, с которым следует сравнивать опытные образцы.

2. Слабое загрязнение.

Всхожесть 60 – 90 %. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные.

3. Среднее загрязнение.

Всхожесть 20 – 60 %. Проростки по сравнению с контролем короче и тоньше.

Некоторые проростки имеют уродства.

4. Сильное загрязнение.

Всхожесть семян очень слабая (менее 20 %). Проростки мелкие и уродливые.

При проведении опытов с кресс-салатом следует учитывать, что большое влияние на всхожесть семян и качество проростков оказывают водно-воздушный режим и плодородие субстрата. В гумусированной, хорошо аэрированной почве (чернозем, верхний горизонт серой лесной почвы) всхожесть и качество проростков всегда лучше, чем в тяжелой глинистой почве, которая из-за малой проницаемости для воды и воздуха имеет плохой водно-воздушный режим. Поэтому в качестве субстрата для контроля следует брать почву того же типа, что и для опытов.

8. Результаты наблюдений оформляются в графическом виде и анализируются с последующей формулировкой вывода.

## **6 Лабораторная работа № 6. Устойчивость живых организмов к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами**

**Цель работы** – овладеть навыками определения устойчивости отдельных живых организмов к различным концентрациям тяжелых металлов в окружающей среде.

### **Общие положения**

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами может происходить при добыче полезных ископаемых или в процессе промышленного производства. Многие тяжелые металлы исключительно токсичны для человека и других живых организмов. Многие организмы проявляют устойчивость к тяжелым металлам, избавляясь от них или переводя их в эти металлы в относительно безопасную форму.

### **Ход работы**

В таблицах приведены данные по загрязнению двумя тяжелыми металлами отложений устьев четырех рек, географически отделенных друг от друга и влиянию

этих загрязнений на обычных обитателей илистых отмелей многощетинковых червей *Nereis diversicolor*.

Таблица 7 – Концентрация меди и цинка в донных осадках и тканях *Nereis diversicolor* в четырех местах устьев

Про- ба	Концентрация меди				Концентрация цинка			
	Осадок		Червь		Осадок		Червь	
	ppm	lg ppm	ppm	lg ppm	ppm	lg ppm	ppm	lg ppm
1	18	1,26	20	1,30	92	1,96	151	2,18
2	296	2,47	116	2,06	2010	3,30	215	2,33
3	712	2,85	729	2,86	895	2,95	195	2,29
4	3500	3,54	922	2,96	2960	3,47	204	2,31

Таблица 8 – Число погибших червей *Nereis diversicolor* в четырех выборках по 50 особей, взятых с двух участков устья (1 и 4)

Время, ч	Погибшие при 1 ppm Cu		Погибшие при 50 ppm Zn	
	Участок 1	Участок 4	Участок 1	Участок 4
12	5	0	0	0
24	6	1	1	1
36	4	2	2	1
48	5	2	2	2
60	10	1	2	2
72	6	2	3	2
84	4	2	5	1
96		1	5	2
108	3	2	6	3
120	2	3	4	2
132	2	2	4	3
144	1	3	3	3
156		3	3	2
168		2	2	2
180		3	2	3
192		1	0	2
204		4	1	2
216		2	1	2
228		2	2	2
240		2	0	2
Выжило	0	10	4	9

Примечание - Червей размещали в четырех сосудах, содержащих 50%-ную морскую воду и 1 ppm меди или 50 ppm цинка. Число погибших особей регистрировали с интервалом 12 ч.

Таблица 9 – Исходная концентрация меди в тканях *Nereis diversicolor*, собранных на двух участках устья (1 и 4) и время, за которое погибает половина особей

Участок	Вариант	Исходная концентрация меди, ppm	Время, за которое погибает половина особей, ч
1	Полевые	16	40
	Лабораторные	11	66
4	Полевые	882	147
	Лабораторные	99	130

Примечание - Червей культивировали в сосуде с 50%-ной морской водой, содержащей 1 ppm меди. Червей помещали в этот раствор сразу после их сбора (полевые) или после того, как собранные в недоразвитом состоянии, они завершали свое развитие в процессе 6-месячного культивирования в 50% -ной морской воде без меди (лабораторные).

Таблица 10 – Средние ( $\pm$  стандартная ошибка) величины поглощения  $^{65}\text{Zn}$  *Nereis diversicolor*, собранных с двух участков устья (1 и 4)

День опыта	Поглощение $^{65}\text{Zn}$ , имп/мин	
	Черви с 1-го участка	Черви с 4-го участка
0	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1
10-й	26 $\pm$ 13	11 $\pm$ 11
20-й	62 $\pm$ 16	33 $\pm$ 17
30-й	75 $\pm$ 17	40 $\pm$ 15

Примечание - Червей культивировали в течение 30 дней в 50%-ной морской воде, содержащей 400 ppm нерадиоактивного и 10 ppm радиоактивного изотопа цинка.

Используя исходные данные, выполните следующие задания:

1. Постройте графики, отражающие зависимость между концентрацией каждого из металлов и его содержанием в тканях червя и окружающей среде.
2. Ответьте на вопрос: «Выявляются ли какие-либо признаки, свидетельствующие о

способности этих организмов регулировать поступление в их тело ионов какого-либо из изучаемых металлов?»

3. Постройте кумулятивные графики смертности червей из наименее (и наиболее) загрязненных участков при их перенесении в воду, содержащую 1 ppm меди или 50 ppm цинка.

4. Используя эти графики, определите время, за которое погибает половина особей, собранных на этих двух участках и перенесенных в воду, содержащую ионы того или другого металла.

5. Какой вывод вы можете сделать на основании проведенных выше расчетов относительно устойчивости данных популяций?

6. Какой вывод относительно механизмов толерантности к этим двум металлам вытекает из анализа данных, представленных в таблицах 9 и 10?

7. Какие дальнейшие эксперименты следовало бы провести для изучения кросс-толерантности к этим двум металлам?

8. Проанализируйте полученные данные и оформите вывод.

## **7 Лабораторная работа №7. Индикация закисления воды с помощью диатомовых водорослей**

**Цель работы** – овладение методикой определения степени и причин закисления воды в естественных водоемах с помощью диатомовых водорослей.

### **Общие положения**

При сгорании топлива с высоким содержанием серы в атмосферу выделяется  $\text{SO}_2$ , который при взаимодействии с атмосферной влагой способен образовать разбавленный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , принимающий участие в закислении воды естественных водоемов.

Историю закисления водоемов можно проследить изучая диатомовые водоросли донных отложений. Эти водоросли являются индикаторами pH. По отношению к реакции воды они классифицируются следующим образом:

- алканобионты (алкби) – живут при рН >7;
- алканофилы (алкфи) – живут при рН около 7, широко представлены при рН>7
- нейтралы – живут при рН = 7;
- ацидобионты (ацби) – живут при рН<7
- ацидофилы (ацфи) – живут при рН около 7, широко представлены при рН <7.

Процентное соотношение кислото- и щелочелюбивых видов используется для вычисления индекса В, который служит для определения величины рН.

$$B = \frac{\%H + (5 \times \% \text{ацфри}) + (40 \times \% \text{ ацби})}{\%H + (3,5 \times \% \text{ алкфи}) + (108 \times \% \text{ алкби})} \quad (3)$$

### Ход работы

1. Исходные данные для выполнения расчетов приведены в табличной форме

(таблица 11).

Таблица 11 – Радиоизотопное датирование донных осадков

Глубина, см.	Дата по Pb
0	1981
5,0	1960
17.5	1900
25.0	1850
33.5	1800
50.0	1700

Таблица 12 – Содержание диатомей в донных осадках

Глубина, см.	Содержание диатомей				
	Алкфи	Нейтралы	Ацфи	Ацби	Алкби
1	0,5	2	29	17	
2.5	0.5	3	30	15	
5.0	0	3	33	12	
11.0	0	6	37	7	
17.5	0.5	5	42	4	
25	1	12	35	4	
35	1	14	31	4	
45	0.5	14	33	3,5	
55	0,5	15	28	4	
65	0.5	13	31	4	

Таблица 13 – Содержание двух типов пыльцы в донных озерных отложениях

Глубина, см.	Содержание пыльцы	
	вереска	трав
0	18	17
5	17	15
10	16	14
15	19	13.5
20	17.5	12.5
25	17,5	12.5
30	17.5	11.5
35	20	11.5
40	22	10
45	19,5	9
50	20	9
55	20	9
60	23	9
65	22.5	9

Таблица 14 – Концентрация тяжелых металлов в донных осадках

Глубина, см	Концентрация мкг/г		
	Pb	Zn	Cu
0	400	355	53
10	370	190	43
20	310	100	26
30	155	120	8
40	85	20	3
50	105	35	30
60	95	25	5

2. Используя исходные данные, выполните следующие задания:

а) рассчитать величину индекса В;

б) определить величину рН на основе индекса В (по рисунку) ;

с) используя данные таблицы 11 построить график зависимости возраста донных отложений от глубины залегания и сделать вывод: можно ли на основании глубины залегания судить о возрасте осадков;

д) используя данные таблицы 12 определить величину рН воды в предоставленных пробах донных осадков. Построить график зависимости величины рН от глубины залегания осадков и установить, когда начались изменения рН;

е) основываясь на характере построенных графиков и данных таблиц 13, 14 оценить, какая из приведённых ниже гипотез нам более правдоподобна:

1. Закисление озера обусловлено медленно происходящими изменениями среды.

2. Закисление обусловлено вырубкой леса в конце 19 - начале 20 в..

3. Закисление обусловлено увеличением выпадения кислотных дождей, образующихся, преимущественно, в результате сжигания угля в процессах промышленного производства (т.е. закисление датируется началом промышленной революции 1830-1840 гг.).

4. Закисление обусловлено снижением интенсивности выпаса скота на холмах близ озера. Следствием этого могло стать более интенсивное образование кислого гумуса (при выпасе практиковалось периодическое сжигание растительности, а после пожара интенсивно рос вереск, закисляющий почву). Оформите вывод.

## 8 Лабораторная работа №8. Биоиндикация химических методов борьбы с вредителями в сельском хозяйстве

**Цель работы** – оценить эффективность и целесообразность применения отдельных пестицидов в сельском хозяйстве; разработать рекомендации по организации комплексной борьбы с вредителями.

### Общие положения

Пестициды – ядовитые вещества, предназначенные для уничтожения паразитов и вредителей растений, животных и человека. Инсектицидами называют пестициды, используемые для борьбы с насекомыми и их личинками.

Божья коровка (и ее личинки), как и некоторые другие хищники и паразитоиды используются для биологического контроля численности тли, которая обитает на различных сортах люцерны, отличающихся разной степенью устойчивости к поражению. Люцерновая тля также чувствительна к действию инсектицидов, в частности малатиона и пиримикарба.

### Ход работы

Исходные данные для выполнения расчетов приведены в табличной форме (таблицы 15, 16, 17):

Таблица 15 – Смертность божьей коровки и люцерновой тли в зависимости от концентрации малатиона.

Концентрация малатиона, мг/л	Смертность в %	
	Люцерновая тля	Божья коровка
0	2	2
5	12	4
10	26	50
30	74	97
50	82	99
100	94	99

Таблица 16 – Смертность люцерновой тли, живущей на люцерне сорта Lahontan в зависимости от концентрации малатиона

Концентрация малатиона, мг/л	Смертность люцерновой тли в %
0	10
5	22
10	62
30	89
50	95
100	99

Примечание - Сорту устойчив к поражению тлей.

Таблица 17 – Смертность люцерновой тли и божьей коровки в зависимости от концентрации пиримикарба.

Концентрация пиримикарба	Смертность в %	
	Люцерновая тля	Божья коровка
0	2	3
5	2	2
10	4	1
30	30	6
50	58	22
100	85	48

Выполните следующие задания:

1. Используя данные таблицы 15, на логарифмической бумаге построить график зависимости смертности (в %) люцерновой тли от концентрации малатиона.
2. Подобным образом построить график зависимости смертности божьей коровки.
3. Определить концентрацию инсектицида, при которой на 50 % снижается численность фитофага (тли) и энтомофага (божьей коровки)
4. Многие фитофаги наделены высокоактивными ферментами, которые обеспечивают окисление растительных токсинов. Как это можно связать различной реакцией божьей коровки и люцерновой тли на малатион.
5. В другой серии экспериментов тля использовала в качестве пищи растения люцерны устойчивого сорта (таблица 16). Построить график смертности тли (в % в

зависимости от логарифма концентрации инсектицида и определите величину  $\alpha C_{50}$ .

6. Какое значение имеет устойчивость сорта при разработке комплексной стратегии борьбы с вредителями.

7. Построить график зависимости смертности фито- (тля) и энтомофагов (божья коровка) в процентах от концентрации пиримикарба. Объясните, используя эти данные, какой из представленных инсектицидов более эффективен при проведении комплексной борьбы с люцерновой тлей.

8. Результаты анализа цифровых и графических данных сформулировать в выводе.

## **9 Лабораторная работа № 9. Инвентаризация зеленых насаждений селитебной территории**

**Цель работы** – овладение методикой инвентаризации зеленых насаждений; составление карты зеленых насаждений объекта.

### **Общие положения**

Выполнение работ по инвентаризации зеленых насаждений дает возможность оценить антропогенную нагрузку на территории. При выполнении работы учащиеся овладевают научными методами исследования, знакомятся с видовым составом растений, их биологией и экологией. Полевые исследования желательно проводить в весенне-летний вегетационный период.

### **Ход работы**

#### **Этап I. Подготовительный:**

- 1) постановка цели и задач обследования;
- 2) подготовка материалов и оборудования для проведения полевых работ (планшеты, карандаши, линейки, резинки, компасы, мерные ленты, рулетки, мерные вилки, веревка, бумага);
- 3) знакомство с объектом обследования;
- 4) составление плана-карты объекта обследования (парка, бульвара, улицы и т. д.).

## **Этап II. Проведение обследования**

При проведении обследования учащиеся пользуются инструкцией, где определен порядок работы и форма фиксации результатов.

### **Инструкция по инвентаризации зеленых насаждений**

1. Для проведения полевых работ снимается копия плана объекта.

2. Инвентаризируемый объект разделяется на условные учетные участки.

3. На каждом учетном участке проводятся измерения расстояний между деревьями, определяется их положение относительно друг друга, зданий, газонов, тротуаров и т. д. в соответствии со сторонами горизонта. Деревья наносятся на план-карту участка, каждому дереву, кустарнику или группе кустарников присваивается порядковый номер в пределах учетного участка.

4. В полевой дневник записывается дата обследования, номер учетного участка и следующие данные:

а) вид насаждений (рядовая, групповая посадка, одиночные экземпляры);

б) номер дерева (кустарника);

в) порода (род, вид);

г) диаметр ствола дерева на высоте 1,3 м (в см);

д) состояние насаждений.

5. Состояние насаждений определяется по признакам:

- «хорошее» – насаждения здоровые, с хорошо развитой кроной, без существенных повреждений;

- «удовлетворительное» – насаждения здоровые, но с неправильно развитой кроной, со значительными, но не угрожающими их жизни ранениями или повреждениями, с дуплами и др.;

- «неудовлетворительное» – насаждения с неправильной и слабо развитой кроной, со значительными повреждениями, ранениями, зараженностью болезнями или вредителями, угрожающими их жизни.

6. Форма записи результатов обследования в полевом дневнике.

а) Дата обследования \_\_\_\_\_

б) Номер учетного участка \_\_\_\_\_

в) Результаты оценки (таблица 18).

Таблица 18 – Результаты оценки

Вид насаждений, (рядовая групповая посадка)	Номер дерева	Порода (род, вид)	Диаметр ствола, см (на высоте 1,3 м)	Кол-во стволов	Состояние			Примечание (повреждения, особые признаки и др.)
					Хорошее	Удовлетв-е	Неудовлетв-е	

### Этап III. Обработка материалов обследования

1. На основании рабочих карт учетных участков составляется общая карта зеленых насаждений объекта. При наличии технической возможности эту работу рекомендуется выполнять при помощи компьютерной геоинформационной системы.

2. По данным полевых дневников составляется паспорт объекта озеленения, в который включаются результаты обследования по форме, приведенной в таблице 19. Кроме того, по этим данным составляется сводная таблица, содержащая сведения об общем количестве деревьев по породам, диаметрам и состоянию (таблица 19 экопаспорта).

3. Анализ полученных результатов, формулировка выводов и обобщений, рекомендации и предложения. Инвентаризация зеленых насаждений населенного пункта является началом экомониторинга селитебной территории с помощью растений. Материалы исследований могут быть подвергнуты компьютерной обработке, что повышает практическую значимость исследования. На рисунке 1 приведен фрагмент карты городского парка, построенной по результатам компьютерной обработки материалов инвентаризации зеленых насаждений.

Таблица 19

Паспорт зеленых насаждений объекта \_\_\_\_\_

Дата обследования \_\_\_\_\_

№ по порядку	№ учетного участка	Вид насаждений	№ дерева на участке	Порода	Диаметр, см (на высоте 1,3 м)	Количество, шт.	Состояние			Примечания
							Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетв - ное	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

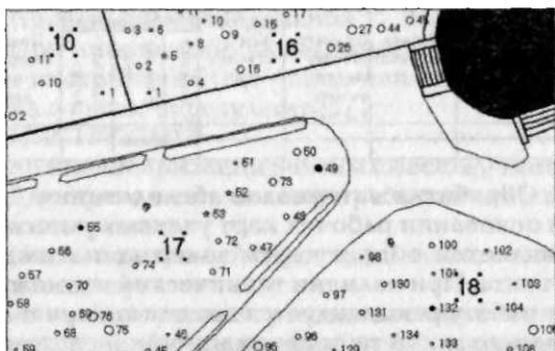


Рисунок 1 - Фрагмент компьютерной карты городского парка

## 10 Лабораторная работа № 10. Индикации уровня загрязнения окружающей среды по качеству пыли

**Цель работы** – овладеть методикой определения уровня химического загрязнения по качеству пылевых зерен цветковых растений.

**Материалы и оборудование:** микроскоп, предметные и покровные стекла, препаровальные иглы, пипетки, 5%-й р-р йодистого калия, дистиллированная вода.

## **Основные положения**

Качество пыльцевых зерен в большой степени зависит от уровня физического и химического загрязнения среды. Пыльца отличается высокой чувствительностью к действию отрицательных факторов и может являться индикатором загрязнения среды генетически активными компонентами.

Методика анализа качества пыльцы заключается в определении процента ненормальных (абортивных) пыльцевых зерен.

Высокая чувствительность к действию мутагенов (этиленимин, нитрозозетилмочевина, некоторые пестициды) проявляется у томатов. Генетически активные факторы среды резко нарушают процесс образования пыльцы томатов, доводя до полного отсутствия в пыльниках нормальных пыльцевых зерен.

## **Ход работы**

1. Отобрать пыльцу с растений:

а) томатов производственных посевов (обработанных и не обработанных химикатами);

б) одних и тех же сортов томатов, выращиваемых на дачных участках, пришкольном участке. Сравнение результатов в течение ряда лет позволит осуществлять мониторинг, т. Е. слежение за изменениями (или отсутствием таковых) качества пыльцы во времени у данного объекта;

в) дикорастущих, наиболее чувствительных (подобно томатам) к действию загрязнений. В дальнейшем эти виды растений можно использовать для мониторинговой работы.

2. Приготовить временные окрашенные микропрепараты, для чего:

а) препаровальной иглой извлечь пыльцу из пыльников цветка и поместить ее на предметное стекло;

б) с помощью пипетки нанести на пыльцу каплю раствора йода и размешать каплю препаровальной иглой так, чтобы все пыльцевые зерна были в растворе, а не плавали на поверхности. Для приготовления слабого раствора йода необходимо взять 2 мл 5 % йодной настойки и разбавить водой до 10 мл. Этот раствор используется для окраски пыльцы. После окраски с помощью микроскопа

рассмотреть пыльцевые зерна.

3. Выдержать препарат в таком виде в течение двух минут, после этого накрыть каплю покровным стеклом и рассмотреть препарат под микроскопом.

4. По нескольким полям зрения подсчитать количество нормальных и abortивных пыльцевых зерен, используя рисунок 2 и описание таблицы 20 (желательно, чтоб их общая сумма была не менее 200 – 300).

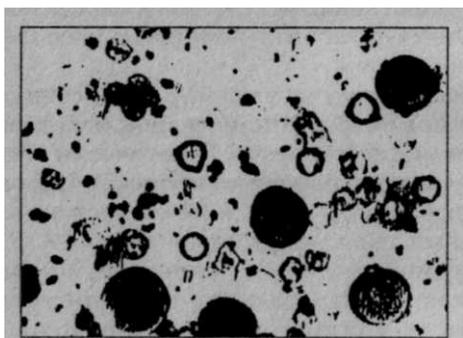


Рисунок 2 - Нормальные (окрашенные, круглые, крупные) и abortивные (неокрашенные, меньшего размера) пыльцевые зерна томатов. Частичная abortивность после действия пестицидов.

Таблица 20 – Отличие нормальных пыльцевых зерен от abortивных

Нормальные пыльцевые зерна	Abortивные пыльцевые зерна
1) интенсивно окрашены, 2) одинаковы по размеру, 3) одинаковы по форме	1) не окрашены (или окрашены слабо), 2) разных размеров, 3) неправильной формы

6. Определить процент нормальных (или abortивных) пыльцевых зерен по каждому цветку, взятому для анализа.

Обычно пыльца у растений, произрастающих в нормальных условиях, имеет хорошее качество, процент нормальных пыльцевых зерен близок к 100 %. Повышенное загрязнение может снизить процент нормальных пыльцевых зерен до 50 % и ниже.

7. Сформулировать выводы.

## 11 Лабораторная работа № 11. Оценка состояния древостоя

**Цель работы** – овладеть методикой определения состояния древостоя с использованием шкалы визуальной оценки; произвести оценку древесной растительности участка парка или лесополосы.

### Общие положения

Оценка состояния древостоя производится для установления вредного влияния антропогенных факторов и прогнозирования судьбы исследуемой лесной экосистемы.

### Ход работы

1. Внутри ключевого участка закладывается пробная площадка 100 м<sup>2</sup>.
2. Определяются виды деревьев, растущих на пробной площадке.
3. С помощью шкалы визуальной оценки деревьев по внешним признакам (таблица 21) определяются баллы состояния отдельных деревьев каждого вида –  $b_1$  ;  $b_2$   $b_3$  и т.д.
4. Вычисляется средний балл состояния для каждого вида деревьев по формуле:

$$K_j = \frac{\sum b_j}{N_j}, \quad (4)$$

где  $K_j$  – коэффициент состояния  $j$ -го вида деревьев;

$b_j$ ; – баллы состояния отдельных деревьев;

$N_j$  – общее число учтенных деревьев  $j$ -го вида;

$X$ – сумма.

5. Коэффициент состояния лесного древостоя в целом ( $K$ ) определяется как среднее арифметическое средних баллов состояния различных деревьев на пробной площадке:

$$K = \frac{\sum K_j}{R}, \quad (5)$$

где  $K_j$  – коэффициент состояния  $j$ -го вида;

R – число видов деревьев.

Таблица 21 – Шкала визуальной оценки деревьев по внешним признакам

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

6. Состояние древостоя леса оценивается по следующим критериям:

$K < 1,5$  – здоровый древостой (I);

$K = 1,6-2,5$  – ослабленный древостой (II);

$K = 2,6-3,5$  – сильно ослабленный лес (III);

$K = 3,6-4,5$  – усыхающий лес (IV);

$K > 4,6$  – погибший лес (V).

7. Зафиксировать результаты и сформулировать выводы.

### **Пример расчетов по предлагаемым формулам**

Предположим, что во время обследования деревьев на пробной площадке получены следующие данные.

1. Береза пушистая: 4 дерева, баллы 2, 2, 3, 4.

2. Ель европейская: 4 дерева, баллы 2, 2, 3, 3.

3. Осина: 5 деревьев, баллы 2, 2, 2, 3, 4.

Тогда общее число учтенных на площади деревьев составляет 13.

Далее производятся следующие расчеты коэффициентов состояния отдельных видов деревьев:

$$K_{\text{березы}} = \frac{2 + 2 + 3 + 4}{4} = 2,7$$

$$K_{\text{ели}} = \frac{2 + 2 + 3 + 3}{4} = 2,5$$

$$K_{\text{осины}} = \frac{2 + 2 + 2 + 3 + 4}{4} = 2,6$$

Определив коэффициенты состояния отдельных видов деревьев, приступают к определению коэффициента состояния древостоя в целом по формуле:

$$K = \frac{K_{\text{березы}} + K_{\text{ели}} + K_{\text{осины}}}{3} = \frac{2,7 + 2,5 + 2,6}{3} = \frac{7,8}{3} = 2,3$$

Такое значение коэффициента состояния лесного древостоя позволяет оценить его как ослабленное.

## **12 Лабораторная работа № 12. Методика определения степени загрязнения воздуха по лишайникам**

**Цель работы** – овладеть методикой индикации уровня загрязнения атмосферного воздуха с использованием лишайников

### **Общие положения**

Повышенная чувствительность лишайников к загрязнению воздуха обусловлена следующими причинами:

а) у них нет кутикулы (защитная пленка на листьях, состоящая из воскоподобных веществ) чем глянцевер лист, тем больше кутикулы;

б) большинство токсичных газов концентрируются в дождевой воде, а лишайники впитывают всей поверхностью тела;

в) большинство цветковых растений в средних широтах активны только летом, когда уровень загрязнения ниже, а лишайники продолжают расти при температуре ниже нуля;

г) лишайники в отличие от растений, имеющих листья, не могут избавляться от пораженных ядовитыми веществами частей своего тела интервала в год.

В лишеноиндикационных исследованиях в качестве субстрата используются различные деревья.

### **Ход работы**

1. Для оценки загрязнения атмосферы города, районного центра, поселка, микрорайона выбирается вид дерева, который наиболее распространен на исследуемой территории. Например, в качестве субстрата может быть использована липа мелколистная.

2. Город или поселок делят на квадраты, в каждом из которых подсчитывается общее число исследуемых деревьев и деревьев, покрытых лишайниками. Для оценки загрязнения атмосферы конкретной магистрали, улицы или парка описывают лишайники, которые растут на деревьях по обеим сторонам улицы или аллеи парка на каждом третьем, пятом или десятом дереве. Пробная площадка ограничивается на стволе деревянной рамкой, например, размером 10x10 см, которая разделена внутри тонкими проволочками на квадратики по 1 см<sup>2</sup>.

3. Отмечают, какие виды лишайников встретились на площадке, какой процент общей площади рамки занимает каждый растущий там вид. Кроме того, указывают жизнеспособность каждого образца: есть ли у него плодовые тела, здоровое или чахлое слоевище. На каждом дереве описывают минимум четыре пробные площадки: две у основания ствола (с разных его сторон) и две на высоте 1,4– 1,6 м. Обследование можно провести по наличию какого-то одного вида лишайников на данной территории, или собрать информацию о его обилии в разных точках, или подсчитать количество всех видов лишайников, произрастающих в районе исследования.

4. Кроме выявления видового состава, определяют размеры розеток лишайников и степень покрытия в процентах. Оценка встречаемости и покрытия дается по 5-балльной шкале (таблица 22).

Таблица 22 – Оценки частоты встречаемости и степени покрытия по пятибалльной шкале

Частота встречаемости (в %)		Степень покрытия (в %)		Балл оценки
Очень редко	менее 5%	Очень низкая	менее 5%	
Редко	5-20 %	Низкая	5-20 %	2
Редко	20-40 %	Средняя	20-40 %	3
Часто	40-60 %	Высокая	40-60 %	4
Очень часто	60-100 %	Очень высокая	60-100 %	5

5. Для каждой площадки описания и для каждого типа роста лишайников – кустистых, листоватых и накипных – выставляются баллы встречаемости и покрытия.

6. После проведения исследований на нескольких десятках деревьев делается расчет средних баллов встречаемости и покрытия для каждого типа роста лишайников – накипных (Н), листоватых (Л) и кустистых (К).

7. Рассчитывается показатель относительной чистоты атмосферы (ОЧА) по формуле:

$$\text{ОЧА} = \frac{\text{Н} + 2 \times \text{Л} + 3 \times \text{К}}{30} \quad (6)$$

Чем выше показатель ОЧА (ближе к единице), тем чище воздух местообитания. Имеется прямая связь между ОЧА и средней концентрацией диоксида серы в атмосфере.

7. Результаты лишеноиндикации вносятся в таблицу 23 экопаспорта территории.

Таблица 23 – Оценка чистоты воздуха при помощи лишайников

Порода дерева \_\_\_\_\_

Показатели	Категории и номера участков					
	Участки контроля (природный ландшафт)		Опытные участки (с антропогенной нагрузкой)			
	1	2	3	4	5	...
Накипные: - встречаемость, % - степень покрытия, %						
Листоватые: - встречаемость, % - степень покрытия, %						
Кустистые: - встречаемость, % - степень покрытия, %						
Относительная чистота атмосферы (ОЧА)						

## 13 Статистическая обработка результатов биоиндикации

### 13.1 Оценка среднего значения и его погрешности

При наблюдениях или измерениях возникает необходимость установления их точности (достоверности, насколько полученное среднее значение отражает истинное значение измеряемой величины).

Рассмотрим конкретный пример. Предположим, что мы занимаемся изучением влияния загрязнений крупного завода на прирост сосны. Предположим, что мы измерили прирост в высоту 100 сосен и получили следующие значения в сантиметрах:

34, 26, 30, 43, 33, 37, 22, 28, 35, 39, 30, 30, 29, 42, 34,  
43, 32, 29, 38, 35, 36, 42, 26, 36, 35, 38, 38, 38, 38, 34, 36,  
44, 36, 40, 34, 22, 41, 40, 53, 40, 33, 32, 20, 27, 15, 21, 24,  
23, 27, 25, 34, 17, 29, 28, 10, 25, 18, 40, 29, 27, 43, 26, 26,  
31, 31, 29, 42, 31, 20, 35, 36, 31, 22, 33, 14, 21, 23, 23, 41,

20, 35, 12, 22, 27, 14, 20, 17, 30, 25, 13, 41, 37, 42, 13, 27,  
36, 42, 40, 40, 21.

Среднее значение прироста оказалось равным 30,51 см. При таком количестве измерений можно считать, что среднее значение мало изменится, если число наблюдений будет увеличиваться. Возникает вопрос: а можно ли использовать меньшее число измерений? Оказывается, можно. Существует раздел математики, называемый математической статистикой, в котором разрабатываются способы оценки погрешностей и обосновывается необходимая повторность наблюдений (число измерений).

Выпишем для примера из рассмотренного списка прирост каждой пятой сосны. Мы получим случайную выборку из 20 деревьев:

34, 37, 30, 43, 36, 38, 36, 22, 33, 21, 34, 25, 43, 29, 36,  
21, 35, 20, 41, 36.

Среднее из этих значений равно 32,5 см. Чтобы определить, насколько оно может отличаться от истинного, за которое принят средний прирост из 100 измерений, в соответствии с правилами статистики найдем сначала отклонения измеренных высот прироста от их среднего значения:

1,5 4,5 -2,5 10,5 3,5 5,5 3,5 - 10,5 0,5 - 11,5  
1,5 -7,5 10,5 -3,5 3,5 - 11,5 2,5 -12,5 8,5 3,5.

Вычислим сумму квадратов этих отклонений. Она равна 1009. Полученное значение делим на число измерений, уменьшенное на единицу ( $20 - 1 = 19$ ). Результат называется дисперсией выборки (D). Она равна  $1009:19 = 53,1$ .

Квадратный корень из дисперсии называется среднеквадратическим отклонением и обозначается греческой буквой  $\sigma$  («сигма»). Это не менее важный параметр, чем среднее значение, и его всегда следует приводить в отчетах о наблюдениях и измерениях.

$$\sigma = \sqrt{D} = 7,3 \text{ см} \quad (7)$$

Теперь можно найти погрешность оценки среднего АМ. Для этого необходимо

вычислить величину

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

и умножить ее на коэффициент  $t$ , который зависит от количества измерений и может быть найден из таблицы 24:

Таблица 24 – Коэффициент  $t$  для расчета погрешности среднего выборочного значения

Количество измерений	Число $t$	Количество измерений	Число $t$
3	4,3	8	2,4
4	3,2	9-10	2,3
5	2,8	11-14	2,2
6	2,6	15-30	2,1
7	2,5	более 30	2,0

Найдем погрешность средней величины прироста сосны:

$$\Delta M = \frac{7,3}{\sqrt{20}} \times 2,1 = 3,4 \text{ см} \quad (9)$$

Среднее значение обычно записывают вместе с величиной погрешности:

$$M = (32,5 \pm 3,4) \text{ см.}$$

Эта запись означает, что истинное среднее значение лежит в пределах от 29,1 до 35,9 см.

Следует еще раз подчеркнуть, что при расчете среднего значения какой-либо величины в отчете необходимо привести четыре числа:

- 1) само среднее значение;
- 2) погрешность среднего значения;
- 3) среднеквадратическое отклонение;
- 4) количество измерений.

Если какой-либо из этих параметров отсутствует, ценность работы

значительно снижается, поскольку становится трудно оценить достоверность полученных данных.

При многократном проведении одного и того же эксперимента результаты измерений можно считать выборкой из бесконечного множества всех возможных результатов. Среднее значение измеренной величины и его погрешность вычисляются точно так же, как в предыдущем примере.

### 13.2 Оценка достоверности различий средних значений

В экологических исследованиях важнейшим моментом является сравнение различных объектов (например, ключевых участков мониторинга, различающихся степенью антропогенной нагрузки). При этом очень важно уметь доказать, что обнаруженное различие действительно существует, а не обусловлено статистической погрешностью оценки.

В большинстве случаев бывает необходимо сравнить средние значения выборок, полученных из двух разных генеральных совокупностей (в нашем примере – средние значения прироста сосны в двух лесных массивах, произрастающих на разных расстояниях от завода).

Для этого сначала нужно найти среднее значение и его погрешность для каждой выборки, после чего вычислить величину  $t$  по формуле

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \quad (10)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  – средние значения сравниваемых

$$m_1 = \frac{\sigma_1}{\sqrt{N_1}} \quad m_2 = \frac{\sigma_2}{\sqrt{N_2}} \quad (11)$$

Затем полученное значение сравнивается с числом  $t$  из табл. 24. Если вычисленное значение  $t$  больше табличного, то различие между выборками считается достоверным, в противном случае – нет.

## Список использованных источников

1. Аланьшина, Н.М. Фенология и региональный экологический мониторинг: учебно-методическое пособие к занятиям (элективный курс для студентов и школьников) / Н.М. Аланьшина, Т.Я. Ашихмина, Л.В. Кондакова. – Сыктывкар: Абаим, 2004. – 72 с.
2. Практикум по экологии: учебно-методическое пособие / С.В. Алексеев, Н.В. Груздева, А.Г. Муравьев, Э.В. Гущина – М.: АО МДС, 1996. – 48 с.
3. Барковский, В.Ф. Основные физико-химические методы анализа / В.Ф. Барковский, Т.Е.Городенцева, Н.П.Топорова. – М.: Высш. шк., 1983.- 242 с.
4. Боголюбов, А.С. Методы лишеноиндикации загрязнения окружающей среды: метод. пособие по полевой экологии для педагогов доп. образования и учителей / А.С. Боголюбов. – М.: Экосистема, 1998.- 98 с.
5. Дончева, А.В. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды / А.В. Дончева, Л.К. Казаков, В.Н. Калуцков. – М.: Экология, 1992. – 207 с.
6. Полевой практикум по экологии / М.А. Кузнецов, А.К. Ибрагимов, В.А. Неручев, Г.А. Юлова. – М.: Аргус, 1994.- 288 с.
7. Методическое руководство по биотестированию воды. РД 18 - 02 - 90. – М.: Госкомприроды СССР, 1991.- 32 с.
8. Реймерс, Н.Ф. Азбука природы (микроэнциклопедия биосферы) / Н.Ф.Реймерс. – М.: Знание, 1980. – 208с.
9. Реймерс, Н.Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы / Н.Ф. Реймерс, А.В. Яблоков. - М.: Наука, 1982.- 202 с.
10. Тарарина, Л.Ф. Экологический практикум для студентов и школьников / Л.Ф.Тарарина. - М.: Аргус, 1997.- 212 с.
11. Шапиро, И.А. Загадки растения-сфинкса: лишайники и экологический мониторинг / И.А. Шапиро. – М.: Гидрометеиздат, 1991. – 68 с.
12. Чернова, Н.М. Лабораторный практикум по экологии: учебное пособие для студентов пед. ин-тов по биол. спец. / Н.М. Чернова. – М.: [б.и.], 1986.- 223 с.