

**А.М. Псарев**

**РУКОВОДСТВО К УЧЕБНОЙ  
ПРАКТИКЕ ПО ЭКОЛОГИИ:  
БИОИНДИКАЦИЯ**



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет  
имени В.М. Шукшина»

**А.М. ПСАРЕВ**

# **РУКОВОДСТВО К УЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ ПО ЭКОЛОГИИ: БИОИНДИКАЦИЯ**



**Бийск  
АГГПУ им. В.М. Шукшина  
2018**

ББК 20.1

П 86

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Алтайского государственного гуманитарно-педагогического  
университета имени В.М. Шукшина

Рецензент:

кандидат биологических наук, доцент Е.В. Волковский

**П 86 Псарев А.М.**

Руководство к учебной практике по экологии: биоиндикация  
[Текст] / А.М. Псарев; Алтайский государственный  
гуманитарно-педагогический университет имени В.М.  
Шукшина – Бийск: АГГПУ им. В.М. Шукшина, 2018 – 65 с.

Руководство содержит описания доступных методов биоиндикации среды и варианты заданий для самостоятельной работы во время учебной практики по экологии. Предлагаемые методы и задания помогут развитию компетенций, связанных с проведением и организацией научно-исследовательской работы в области экологии.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальностей биологического профиля педагогических вузов.

© Псарев А.М., 2018

© АГГПУ им. В.М. Шукшина, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>МЕТОДЫ ЗООИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>МЕТОДЫ ФИТОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ .....</b>	<b>26</b>
<b>БИОИНДИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СООБЩЕСТВ .....</b>	<b>56</b>
<b>ПРИМЕРНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ НА ПЕРИОД ПРАКТИКИ .....</b>	<b>63</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>64</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная практика по экологии является важнейшим компонентом профессиональной подготовки. Только на основе собственных наблюдений обучающиеся могут закрепить теоретические знания, полученные во время лекции, убедиться в сложности существующих в природе явлений. Во время учебной практики происходит знакомство с основными методами экологических исследований, собирают фактический материал, который может послужить основой для будущих курсовых и дипломных работ. Кроме этого, важнейшим элементом учебной практики является получение обучающимися навыков поведения в природе, что является совершенно необходимым для профессионального становления.

Основной целью практики является закрепление теоретических знаний, полученных во время аудиторных занятий, и выработка практических навыков и компетенций ведения научно-исследовательской работы.

Практика по экологии предусматривает решение следующих задач:

- выработать умение ставить исследовательские задачи и находить способы их решения;
- сформировать способности планировать научные исследования;
- закрепить навыки и умения применять современные методы сбора и обработки научной информации;
- развить способности оформлять, представлять и докладывать результаты научно-исследовательской деятельности;
- подготовить основу для будущей выпускной квалификационной работы.

Учебная практика по экологии осуществляется в форме проведения реального исследовательского проекта, который может быть связан как с разработкой самостоятельно предложенной темы, так и с участием в НИР кафедры. Результаты практики оформляются в письменном виде в форме отчета. В случае, если проект выполняется группой в отчете о практике должен быть указан конкретный вклад каждого из участников проекта. По результатам практики возможны научные публикации, доклады на конференциях, или эссе, статьи в средствах массовой информации.

Предлагаемое пособие содержит задания по одному из направлений экологических исследований - биоиндикации состояния окружающей среды.

Биоиндикация – оценка качества природной среды по состоянию её биоты в природных условиях. Основой задачей биоиндикации

является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных воздействий с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических сообществ. Биоиндикация основана на наблюдении за составом и численностью индикаторных организмов. Биоиндикаторы – виды, группы видов или сообщества, по наличию, степени развития, изменению морфологических, структурно-функциональных, генетических характеристик которых судят о качестве воды и состоянии экосистем.

В зависимости от того какие организмы выступают в индикаторов выделяют различные виды биоиндикации, из которых наиболее распространены зооиндикация и фитоиндикация – обнаружение и определение экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакции на них животных и растений.

Знания и навыки, полученные во время их выполнения, помогут при организации научно-исследовательской работы в школе.

## МЕТОДЫ ЗООИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ

### Определение класса качества речной воды по методу С. Г. Николаева

Для оценки качества вод малых и средних рек известен метод С. Г. Николаева. В основе метода лежит сбор качественных данных со всех донных субстратов реки и определение беспозвоночных до родов или семейств. По С. Г. Николаеву, речные воды делятся на 6 классов по качеству, приблизительно соответствующих грациям сапробности:

1. очень чистые (ксеносапробные)
2. чистые (олигосапробные)
3. умеренно загрязненные (бэта-мезо-сапробные)
4. загрязненные (альфа-мезосапробные)
5. грязные (бэта-полисапробные)
6. очень грязные (альфа-полисапробные)

Определение уровня загрязнения вод по методу С.Г. Николаева производят с помощью шкалы (табл. 3.1), которая содержит шесть классов качества вод – от очень чистых (1-й класс) до очень грязных (6-й класс). Для каждого класса качества в ходе многолетних наблюдений были найдены свои индикаторные таксоны, которые в водах других классов встречаются лишь изредка. Так, личинки веснянок, характерные для вод 1-го класса, в более загрязненных водах 2-го класса встречаются редко, а в водах 3-го класса – очень редко. Признаком же принадлежности вод к 6-му классу служит полное отсутствие крупных беспозвоночных (табл. 1).

Таблица 1. Шкала качества вод

Индикаторные таксоны	Условная значимость каждого таксона в классе, единицы	Класс качества воды
Личинки веснянок Личинки ручейника рода риакофила		1-й очень чистая
Губки Плоские личинки поденок Личинки ручейника рода нейреклепис Личинки вилохвосток	25,0	2-й чистая
Роющие личинки поденок Личинки	14,2	3-й

ручейников при отсутствии риактофил и нейреклепсисов Личинки стрекоз красотки и плосконожки Личинки мошек Водяной клоп Крупные двусторчатые моллюски Моллюски-затворки		удовлетворительно чистая
Личинки стрекоз при отсутствии красотки и плосконожки Личинки вислокрылок Водяной ослик Плоские пиявки Мелкие двусторчатые моллюски	20,0	4-й загрязненная
Мотыль (в массе) Крыски (личинки мух-пчеловидок) Трубочник (в массе) Червеобразные пиявки при отсутствии плоских	25,0	5-й грязная
Макробеспозвоночные отсутствуют	-	6-й очень грязна

Для определения класса качества вод обследованного участка реки среди пойманных организмов отбирают представителей индикаторных таксонов (рис.1–13) и их названия записывают в рабочую таблицу (табл.2), в строгом соответствии с их положением в классах шкалы качества вод. Организмы, не относящиеся к индикаторным таксонам, не учитывают.

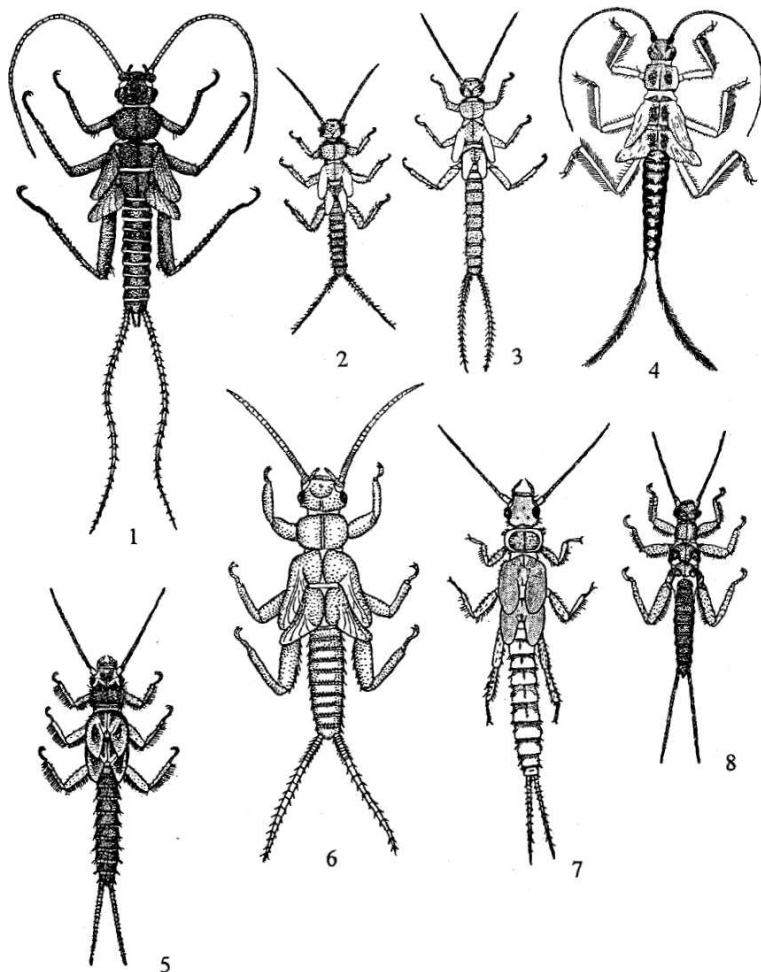
Таблица 2. Рабочая таблица определения качества вод реки \_\_\_\_\_

Класс качества вод	Обнаруженные индикаторные организмы	Условная значимость таксонов в пределах класса, ед.	Количество обнаруженных таксонов	Суммарная значимость обнаруженных таксонов, ед.
1-й				
2-й				
3-й				
4-й				
5-й				

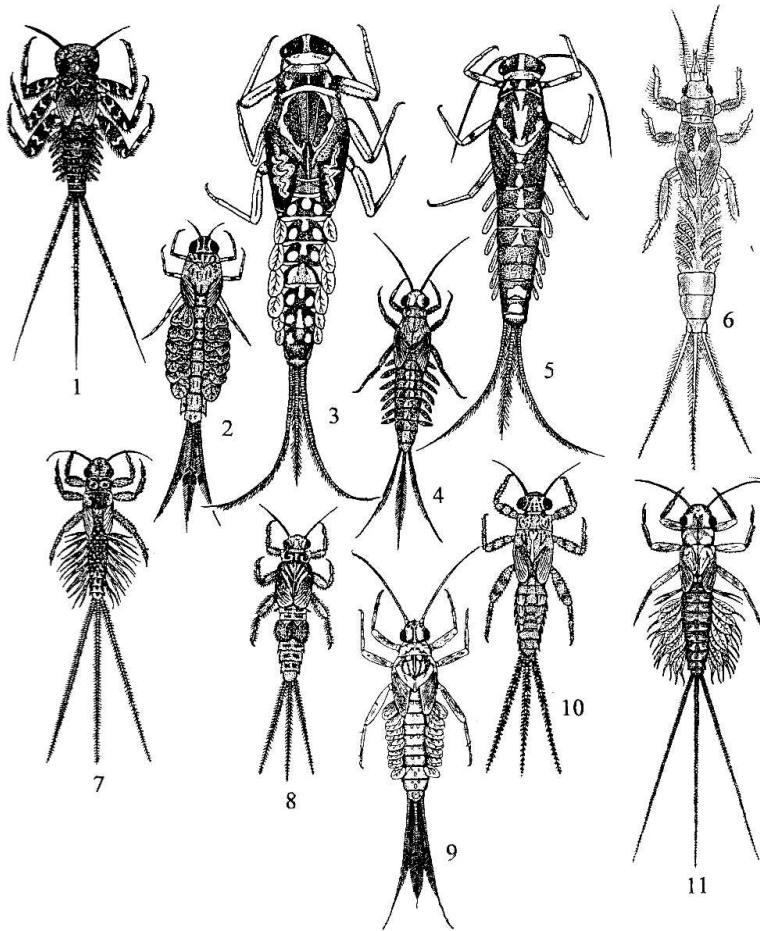
После внесения в таблицу.2 всех обнаруженных в пробах индикаторных таксонов в каждом разделе (классе) графы 2 подсчитывают число таксонов и умножают на величину условной значимости данной группы таксонов (графа 2 табл. 1). Найденную



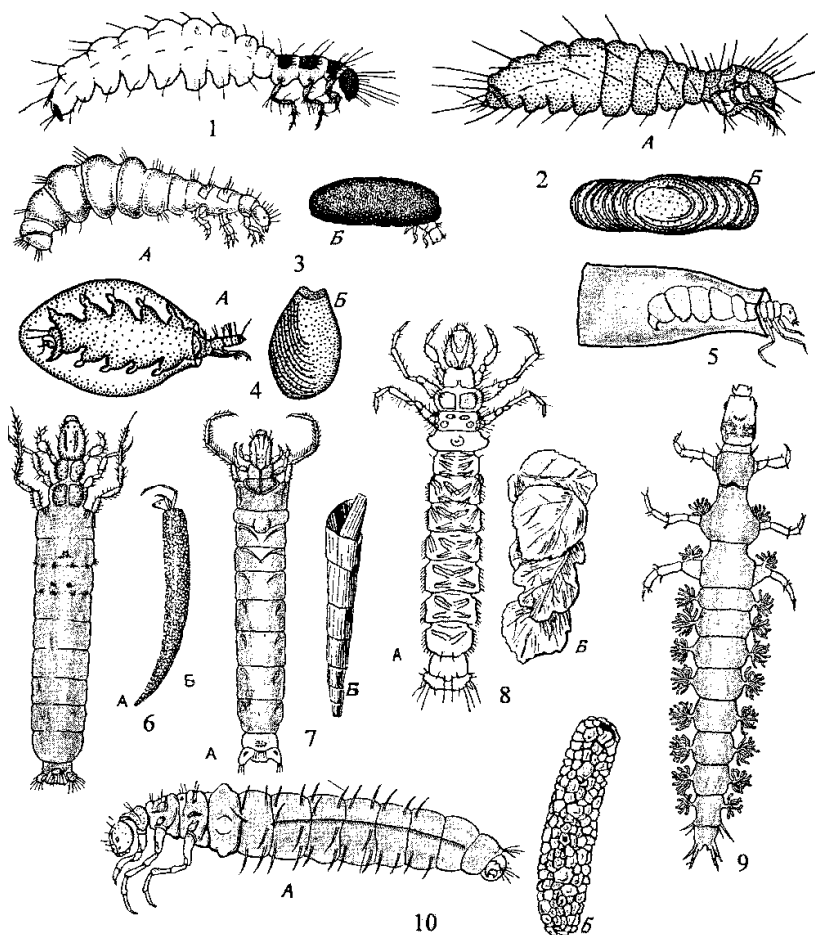
суммарную значимость таксонов заносят в графу 5 таблицы 2 в раздел соответствующего класса. Класс качества вод на обследованном участке определяют по максимальной классовой значимости одной из групп таксонов.



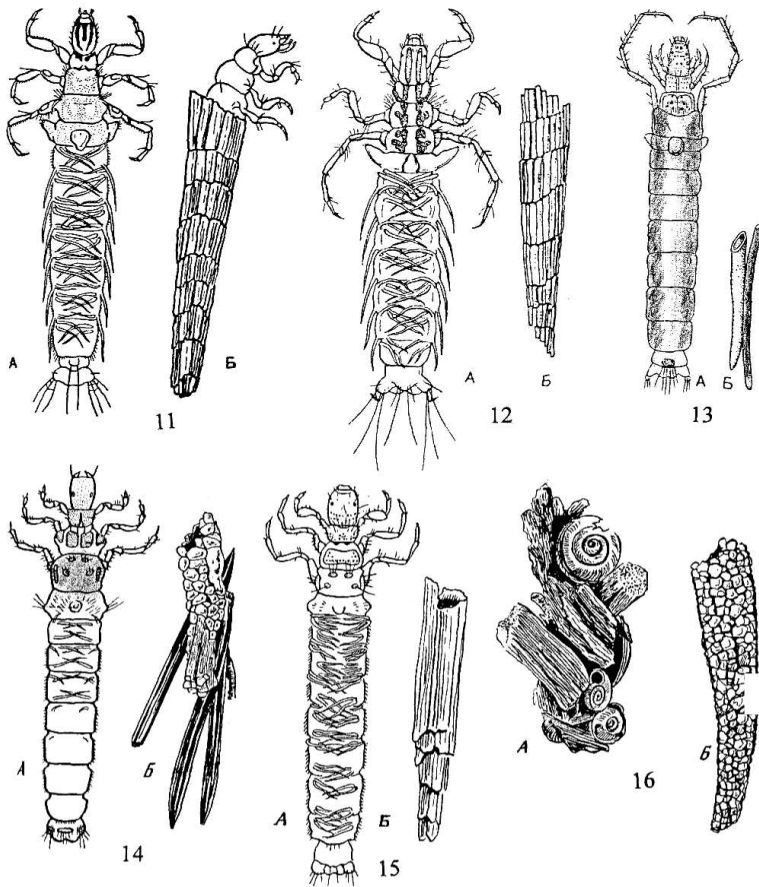
**Рис.1. Личинки веснянок: 1 - *Nemurella pictetii*, 2 - *Leuctra nigra*, 3 - *L. hippopus*, 4 - *Nephelopteryx nebulosa*, 5 - *Chloroperla burmeisteri*, 6 - *Nemoura* sp., 7- *Chloroperla apicalis*, 8 - *Capnia bifrons***



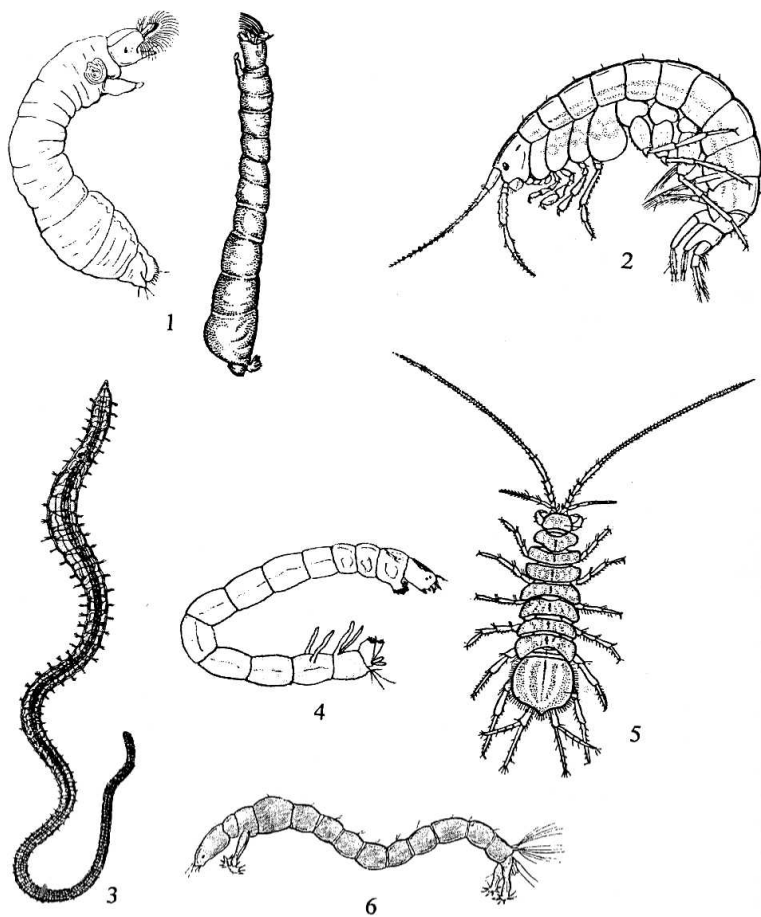
**Рис.2. Личинки Поденок:** 1 - *Heptagenia sulfurea*, 2 - *Siphonurus lineatus*, 3 - *Baetis rhodani*, 4 - *Centroptilum luteolum*, 5 - *Nigrobaetis niger*, 6 - *Ephemera* sp., 7 - *Paraleptophlebia submarginata*, 8 - *Caenis macrura*, 9 - *Cloeon dipterum*, 10 - *Ephemerella ignita*, 11 - *Leptophlebia vespertine*



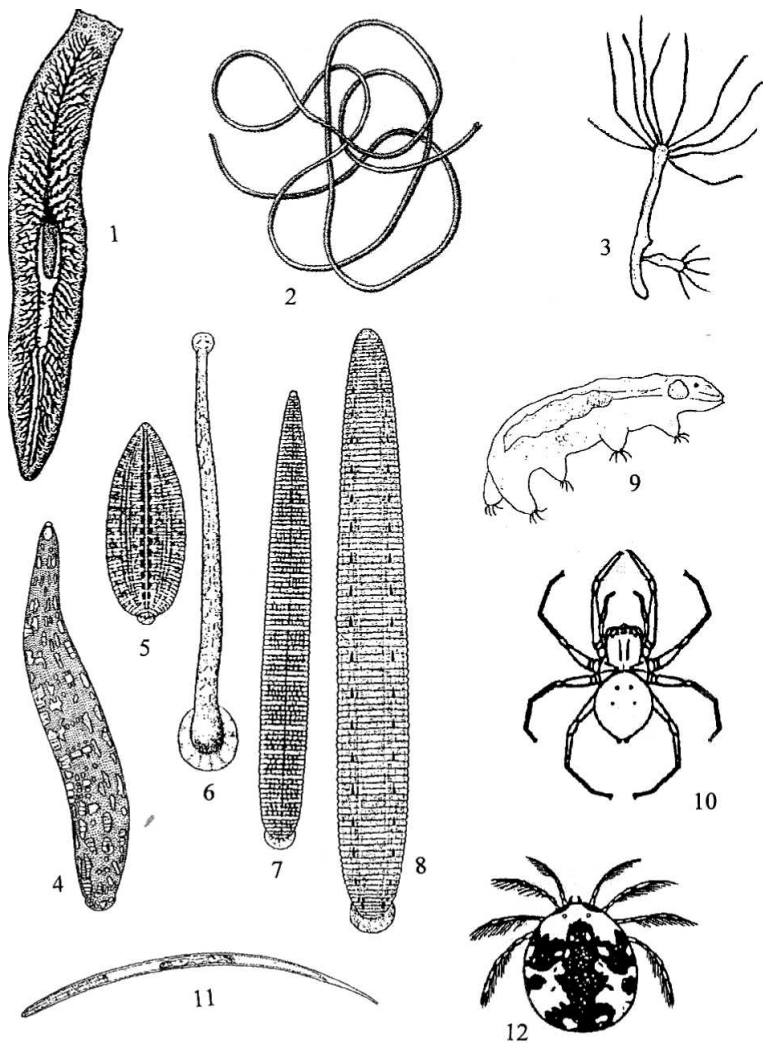
**Рис.3. Личинки ручейников:** 1 - типичная личинка сем. Hydroptilidae, 2 - *Agralyea multipunctata*, 3 - *Hydroptila* sp., 4 - *itytrichia lammellaris*, 5 - *Oxyethira* sp., 6 - *Leptocems* sp., 7 - *Trias nodes* sp., 8 - *Glyptotaelius* sp., 9 - *Rhyacophila* sp., 10- *Stenophylax* sp., А - личинки, Б - чехлики



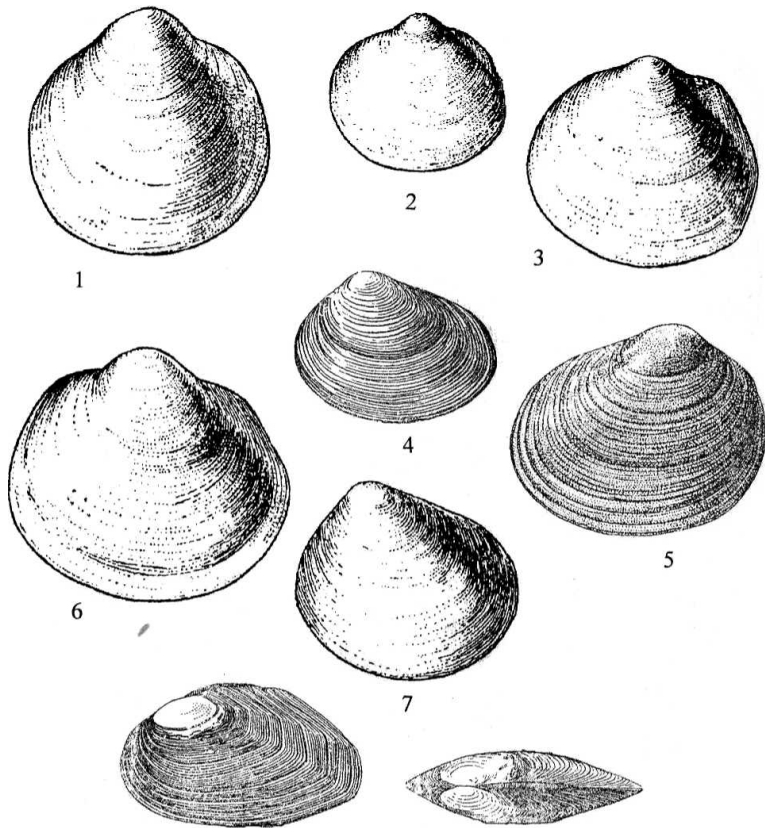
**Рис.3 (продолжение). Личинки ручейников:** 11 - *Phryganea* sp., 12-  
*Neuronia* sp., 13 - *Mystacides* sp., 14 - *Chaetopteryx* sp., 15 - *Grammotaulius* sp.,  
 (А - личинки, Б - чехлики), 16 - чехлики ручейников (А - *Limnephilus*  
*rhombicus*, Б - *L. vittatus*)



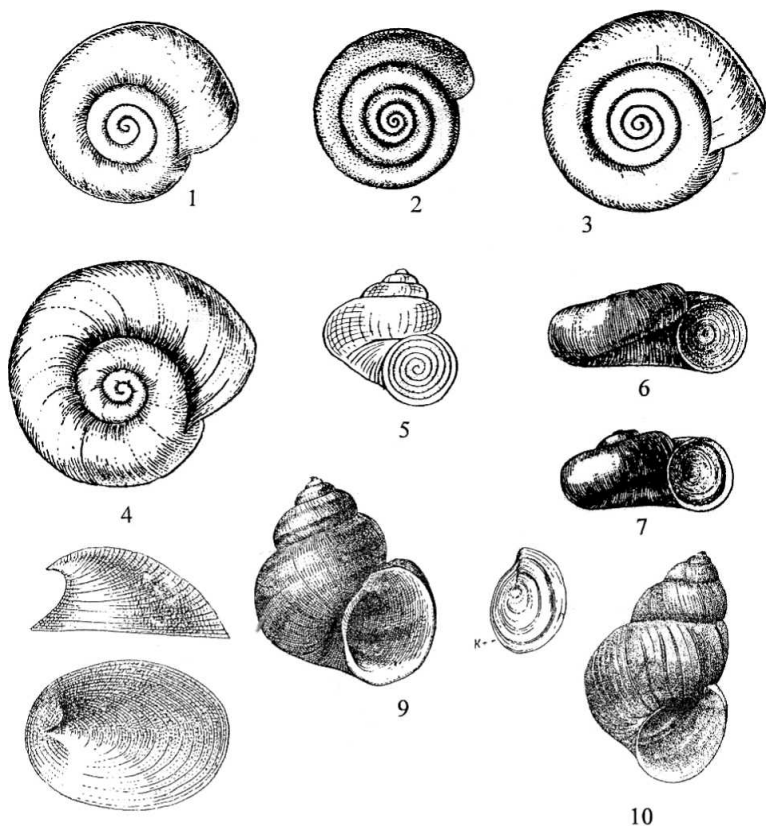
**Рис.4. Бентос:** 1 - личинки мошек (Simuliidae), 2 - бокоплав (*Gammarus*), 3 - общий вид малощетинкового червя *Tubex*, 4 - мотыль (*Chironomus*), 5 - водяной ослик (*Asellus aquaticus*), 6 - личинка комара-звонца (*Chironomidae*).



**Рис.5. Обитатели водоемов:** 1 - ресничные черви (планария). 2 - волосатики, 3 - гидра {Hydra}. Пиявки: 4 - *Protoclepsis maculosa*, 5 - *Glossiphonia* sp., 6 - *Piscicola geometra*, 7 - *Eryobdella* sp., 8 - *Haemopsis* sp., 9 - тихоходки, 10 - пауки, 11- нематоды, 12 - клещи

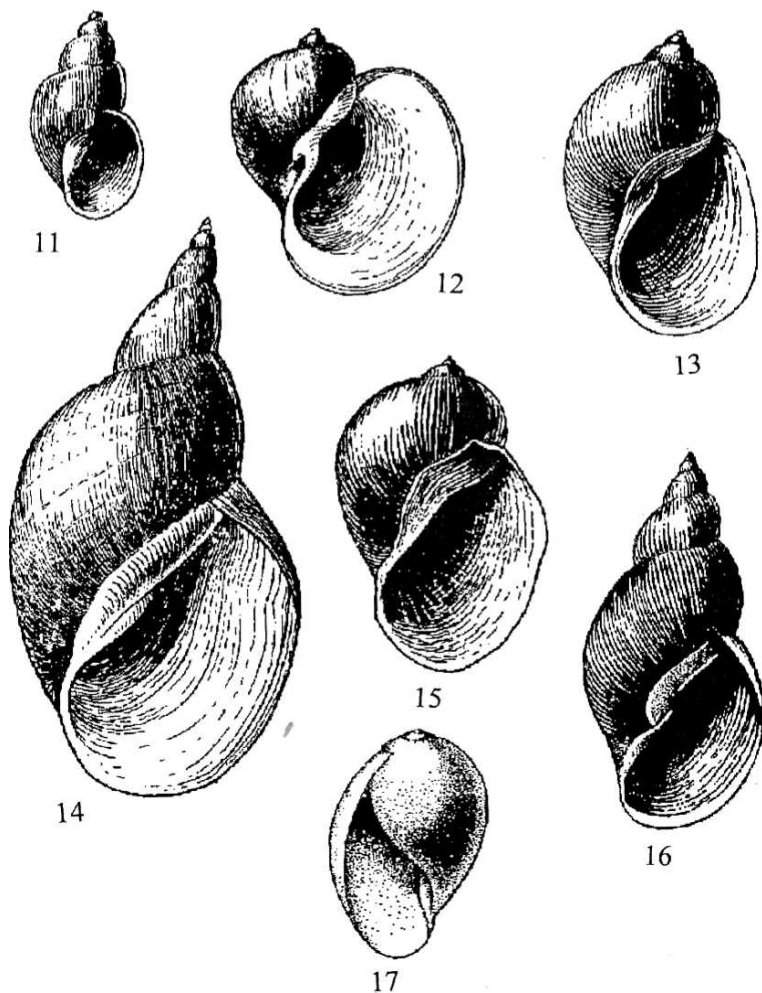


**Рис.6. Двустворчатые моллюски:** 1 - Роговая шаровка (*Sphaerium cogneum*), 2 - Массивная шаровка (*Amesoda solida*), 3 - Полуоткрытая шаровка (*Amesoda scaldiana*), 4 - Речная горошинка (*Pisidium amnicum*), 5 - Болотная горошинка (*Euglesa casertana*), 6 - Речная шаровка (*Sphaeriastrum rivicola*), 7 - Холодноводная горошинка (*Neopisidium conventus*), 8 - Утиная беззубка (*Anodonta minima*)



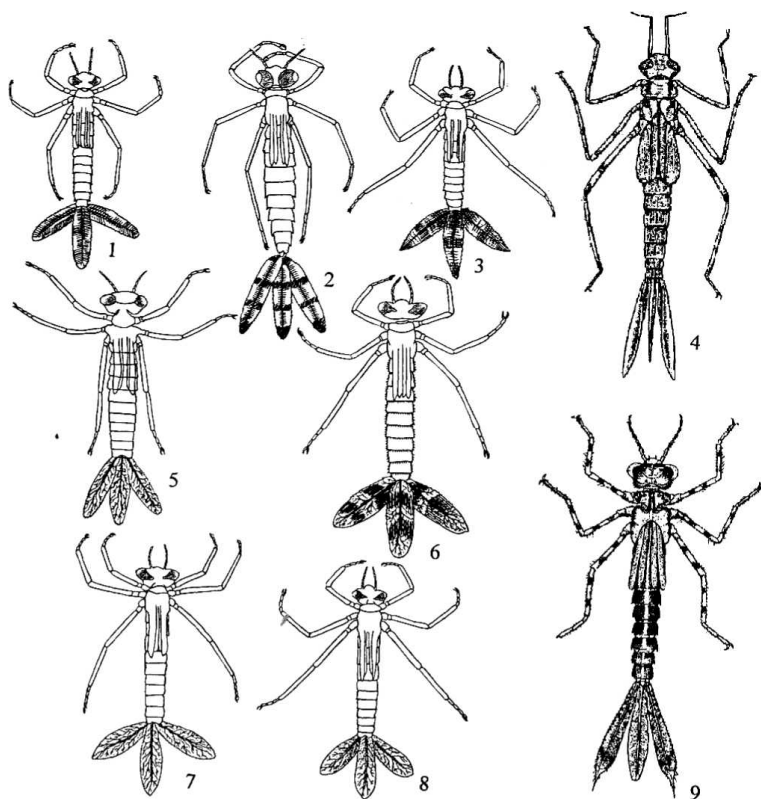
**Рис.7. Брюхоногие моллюски:** 1 - Килеватая катушка (*Planorbis carinatus*), 2 - Завернутая катушка (*Anisus vortex*), 3 - Окаймленная катушка (*R. planorbis*), 4 - Роговая катушка (*P. corneus*), 5 - Затворка обыкновенная (*Valvata piscinalis*), 6 - Сибирская затворка (*V. sibirica*), 7 - Красивая затворка (*V. pulchella*). 8 - Речная чашечка (*Ancyclus fluviatilis*), 9 - Живородка болотная (*Viviparus contectus*), 10 - Речная живородка (*V. viviparus*)





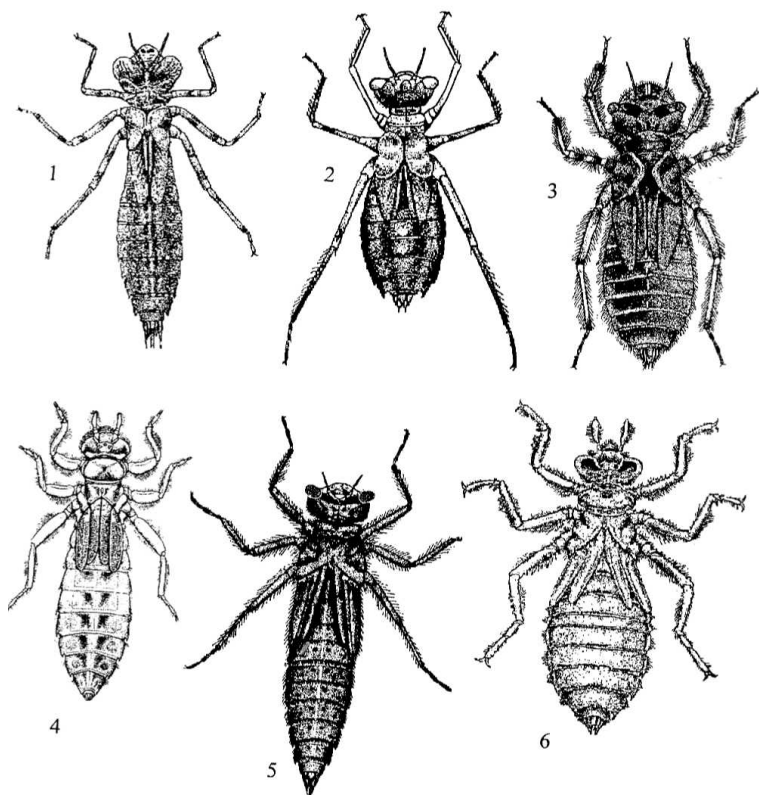
**Рис.7. (продолжение). Брюхоногие моллюски:**

Прудовики: 11 - Малый прудовик (*Limnaea truncatula*), 12 - Ушковый прудовик (*L. auricularia*), 13 - Вытянутый прудовик (*L. peregra*), 14 - Обыкновенный прудовик (*L. stagnalis*), 15 - Овальный прудовик (*L. ovata*), 16 - Болотный прудовик (*L. palustris*), 17 - Физа пузырчатая (*Physa fontinalis*)



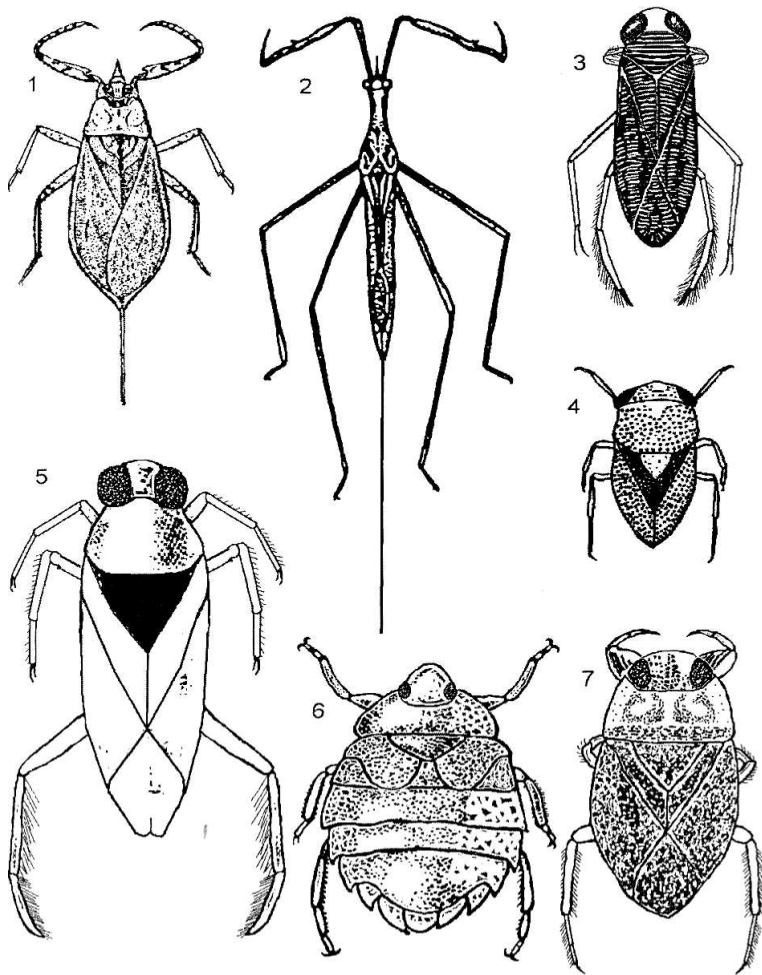
**Рис.8. Равнокрылые стрекозы:**

1 - *Chalcolestes viridis*, 2 - *Lestes sponsa*, 3 - *L. nympha*, 4 - *Calopteryx*, 5 - *Enallagma cyathigerum*, 6 - *Erythromma najas*, 7 - *Coenagrion puella*, 8 - *C. pulchellum*, 9 - *Platycnemis*

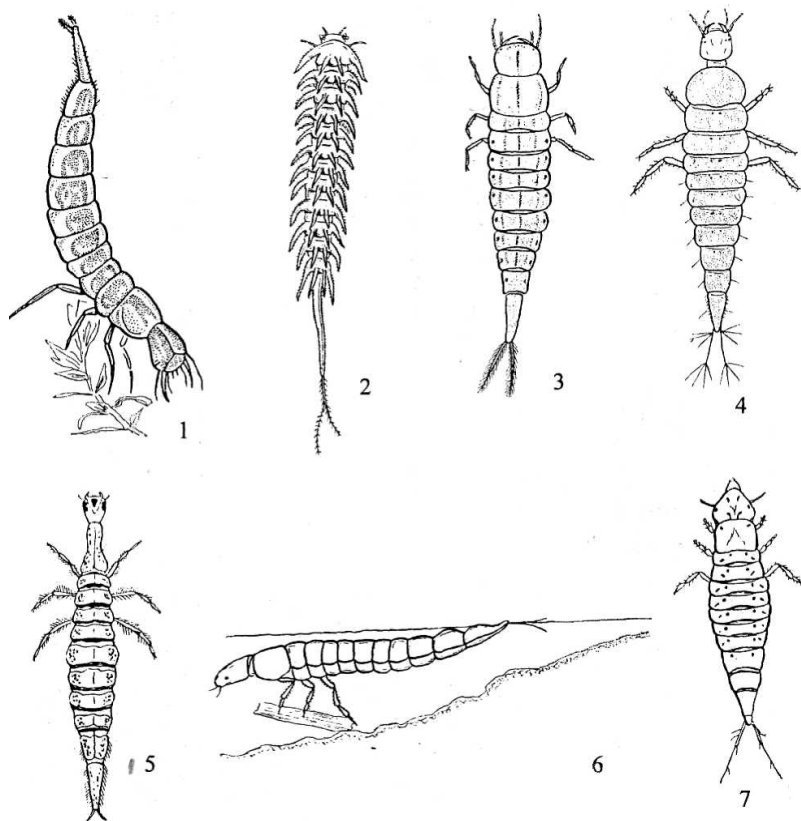


**Рис.9. Разнокрылые стрекозы:**

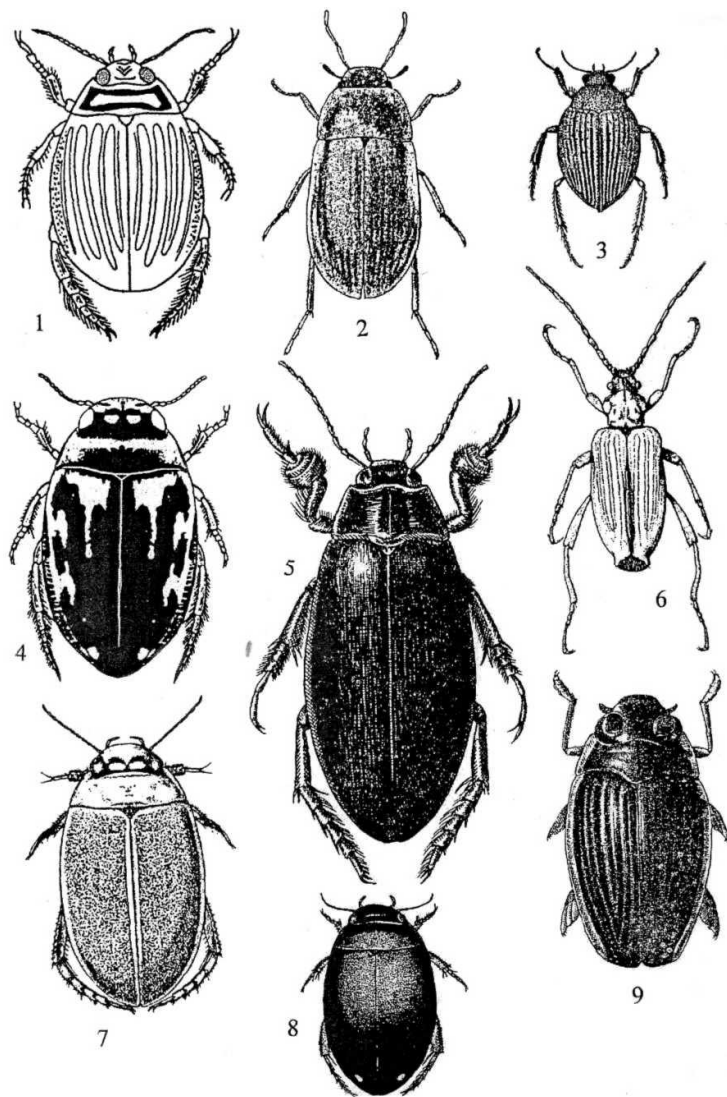
1 - *Aeschna*, 2 - *Sympetrum*, 3 - *Libellula*, 4 - *Stylurus flavipes*, 5 - *Cordulegaster*,  
6 - *Ophiogomphus*



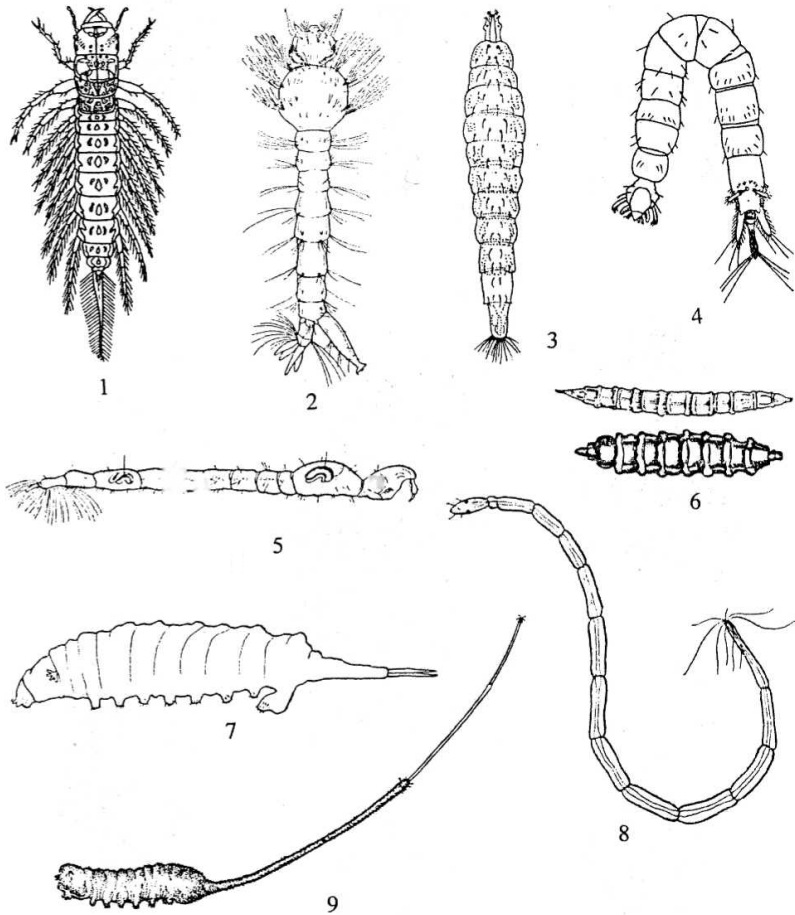
**Рис.10. Клопы:** 1 - *Nepa cinerea*, 2 - *Ranatra linearis*, 3 - *Sigara*, 4 - *Plea minutissima*, 5 - *Notonecta glauca*, 6 - *Aphelocheirus aestivalis*, 7 - *Ilyocoris cimicoides*



**Рис.11. Личинки жуков:** 1 - личинка плавунца (*Dytiscus*), 2 - личинка плавунчика (*Haliphus*), 3 - личинка ильника (*Rhantus*), 4 - личинка тинника (*Ilybius*), 5 - личинка полоскуна (*Acilius*), 6 - личинка гребца (*Agabus*), 7 - личинка нырляки (*Hydroporus*)



**Рис.12. Имаго водных жуков:** 1 - плавунец (*Acillis*), 2 - водолоб (*Helochaeres*), 3 - плавунчик (*Haliphus*), 4 - пестрый гребец (*Platambus*), 5 - плавунец (*Ditiscus*), 6 - листоед (*Macrolea*), 7 - ильник (*Rhantus*), 8 - тинник (*Ilybius*), 9 - вертячка (*Gyrinus*)



**Рис.13. Бентосные личинки водных насекомых:**

1 - личинка вислокрылки (*Sialis*), 2 - личинка комара (*Culex*), 3 - личинка львинки (*Odontomyia*), 4 - личинка земноводного комарика (*Dixa*), 5 - личинка перистоусого комарика, коретра (*Chaoborus*), 6 - личинки слепней (*Tabanidae*), 7 - личинка эфидры (*Ephydra*), 8 - личинка мокреца (*Heleidae*), 9 - «крыска» (*Eristalis*)

### **Биологическая индикация экологического состояния водоемов с помощью индекса Майера**

Данная методика применима для любых типов водоемов. По этой методике не нужно определять беспозвоночных с точностью до вида. Метод использует приуроченность различных групп водных беспозвоночных к водоемам с определенным уровнем загрязненности.

Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов (табл. 3).

**Таблица 3. Индекс Майера**

Обитатели чистых вод, X	Организмы средней чувствительности, Y	Обитатели загрязненных водоемов, Z
Личинки веснянок Личинки поденок Личинки ручейников Личинки вислокрылок Двустворчатые моллюски	Бокоплав Речной рак Личинки стрекоз Личинки комаров–долгоножек Моллюски-катушки, моллюски-живородки	Личинки комаров-звонцов Пиявки Водяной ослик Прудовики Личинки мошки Малоцетинковые черви

Нужно отметить, какие из приведенных в таблице групп обнаружены в пробах. Количество найденных групп из первого раздела необходимо умножить на 3, количество групп из второго раздела – на 2, а из третьего раздела – на 1.

Получившиеся цифры складывают:

$$X \times 3 + Y \times 2 + Z \times 1 = S$$

Значение суммы характеризуют степень загрязненности водоема. Если сумма более 22 – водоем имеет 1 класс качества. От 17 до 21 – 2 класс качества. От 11 до 16 – 3 класс качества(воды экологически полноценны, могут использоваться для питья с предварительной очисткой, а также рыбоводства и орошения). Все значения менее 11 – водоем грязный (4-7 класс качества).

### **Биологическая индикация экологического состояния водоемов с помощью биотического индекса Вудивисса («Биотический индекс реки Трент»)**

Метод основан на «двумерной» классификации, учитывающей как общее число определенных таксонов беспозвоночных, так и присутствие–отсутствие шести ключевых индикаторных организмов. Пределы идентификации выбраны так, что могут быть достигнуты без



применения трудоемких методик. Например, моллюсков и ракообразных определяют до видового уровня, а личинок поденок — только до родового. Важным исключением служит лишь поденка *Baetis rhodani*, которую определяют особо, поскольку она более устойчива к загрязнению воды, чем остальные виды поденок.

Индекс используется только для исследования рек умеренного пояса и дает оценку их состояния по пятнадцатибальной шкале. Он непригоден для оценки состояния озер и прудов.

Для оценки состояния водоема по методу Вудивисса нужно:

1. *Выяснить, какие индикаторные группы имеются в исследуемом водоеме.* Поиск начинают с наиболее чувствительных к загрязнению индикаторных групп: веснянок, затем поденок, ручейников и т.д. - именно в таком порядке индикаторные группы расположены в таблице. Если в исследуемом водоеме имеются личинки веснянок (Plecoptera) - самые «чуткие» организмы, то дальнейшая работа ведется по первой или второй строке таблицы. По первой - если найдено несколько видов веснянок, и по второй - если найден только один.

Если личинок веснянок в наших пробах нет - ищем в них личинок поденок (Ephemeroptera). Если они найдены, работаем с третьей или четвертой строкой таблицы (опять же, по количеству найденных видов). При отсутствии личинок поденок обращаем внимание на наличие личинок ручейников (Trichoptera), и т.д.

2. *Оценить общее разнообразие бентосных организмов.* Методика Вудивисса не требует определить всех пойманных животных с точностью до вида. Достаточно определить количество обнаруженных в пробах "групп" бентосных организмов.

За «группу» принимается: любой вид плоских червей, моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей, веснянок, сетчатокрылых, жуков. Любой вид личинок других насекомых;

- семейство комаров-звонцов (личинки) кроме вида *Chironofnus* sp.;
- класс малощетинковые черви;
- любое семейство ручейников;
- *Chironomus* sp.;
- любой род поденок кроме *Baetis rhodani*;
- личинки мошки (семейство Simuliidae).

Определив количество обнаруженных в пробе групп, находим соответствующий столбец таблицы:

Таблица 4. Биотический индекс Вудивисса

Наличие видов-индикаторов	Кол-во видов-индикаторов	Общее количество присутствующих групп бентосных организмов					
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	20...
Личинки веснянок (Plecoptera)	более 1	-	7	8	9	10	11-...
	1 вид	-	6	7	8	9	10-...
Личинки поденок (Ephemeroptera)	более 1	-	6	7	8	9	10-...
	1 вид	-	5	6	7	8	9-...
Личинки ручейников (Trichoptera) и поденок <i>Baetis rhodani</i>	более 1	-	5	6	7	8	9-...
	1 вид	4	4	5	6	7	8-...
Боклопавы		3	4	5	6	7	8-...
Водяной ослик ( <i>Asellus aquaticus</i> )		2	3	4	5	6	7-...
Олигохеты или личинки звонцов		1	2	3	4	5	6-...
Отсутствуют приведенные группы	все выше	0	1	2	-	-	-

3. На пересечении найденных нами столбца и строки в таблице находим значение индекса Вудивисса, характеризующее исследуемый водоем.

Если водоем получает от 0 до 2 баллов – очень сильное загрязнение (5-7 класс качества), водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии. Оценка 3-5 баллов говорит о значительном загрязнении (4-5 класс качества), а 6-7 баллов – о незначительном загрязнении водоема (3 класс качества). Чистые (1-2 класс качества) реки получают оценку 8-10 баллов, а иногда и выше.

### Оценка степени эвтрофикации водоема по зообентосу

Уровень загрязнения (эвтрофикации) водоёма  $K_2$  можно оценить по видовому составу зообентоса как отношение количества организмов-детритофагов к общему количеству организмов. Наиболее

часто из детритофагов для этих целей используют представителей типа малощетинковые черви – олигохет. Коэффициент эвтрофикации (олигохетный индекс Гуднайта-Уотлея) рассчитывают по формуле:

$$K_3 = n / N \cdot 100 \%,$$

где n – количество особей олигохет в пробе зообентоса; N – общее количество особей зообентоса. Чем больше коэффициент эвтрофикации, тем сильнее загрязнение водоёма и тем выше уровень эвтрофикации водоёма

Таблица 5.Олигохетный индекс Гуднайта–Уотлея

Значение индекса %	Степень загрязнения воды	Класс качества
Менее 30	Отсутствие загрязнения	1–2
30–60	Незначительное	2–3
60–70	Умеренное	3–4
70–80	Значительно	4–5
Более 80	Сильное	5–6

## **МЕТОДЫ ФИТОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ**

### **Оценка уровня загрязнения почв с помощью растения-биоиндикатора**

Одним из перспективных методов определения загрязнения почвы считается метод биотеста с помощью растений. В США в качестве биотеста наиболее часто используют семена кукурузы, огурца, сахарной свёклы; в Великобритании - гороха, чечевицы, сахарной свёклы; в Австралии - пшеницы; в Италии - капусты, фасоли, огурца, проса; в Новой Зеландии - овса, репы; в России - редиса, мака, пшеницы, вики, салата, горчицы, кукурузы. Для определения токсичности предпочтительнее мелкие семена с небольшим запасом питательных веществ.

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 побегов, уменьшение длины и массы корней, а также числа и массы семян). Кресс-салат чувствителен к газообразным выбросам автотранспорта, а также загрязнению почв ионами свинца.

Кресс-салат как биоиндикатор удобен еще и тем, что действие стрессоров можно изучать одновременно на большом числе растений при небольшой площади рабочего места (чашка Петри, кювета, поддон и т. п.). 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.

Методика определения уровня загрязнения почвы исследуемого участка заключается в следующем.

1. Чашку Петри заполняют до половины исследуемой почвой, в другую чашку кладут такой же объем заведомо чистой почвы, который будет служить в качестве контроля по отношению к исследуемому материалу.

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

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

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

5. Увлажняют верхние слои до влажности нижних.

6. В течение 10 –15 дней наблюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов примерно на одном уровне. Результаты наблюдений записывают в таблицу (табл. 5).

Таблица 6 .Всхожесть и биомасса семян кресс-салата

№ Пробы	Повторность	Число проросших семян	Среднее число пророс-	Всхожесть, %	Средняя всхожесть, %	Биомасса, $m(z)$	Средняя биомасса, $m_{cp}(z)$	Уровень загрязнения
1.	1.1							
	1.2							
	1.3							
2.	2.1							
	2.2							
	2.3							

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.

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.

### **Методика изучения флуктуирующей асимметрии листовой пластинки растения-индикатора**

Одним из перспективных биоиндикационных методов является оценка состояния живых организмов по стабильности развития, характеризующейся уровнем флуктуирующей асимметрии морфологических структур. Флуктуирующая асимметрия представляет собой незначительные ненаправленные различия между правой и левой сторонами и является результатом развития аномалий в ходе онтогенеза. При нормальном состоянии окружающей среды их уровень минимален, при возрастающем негативном воздействии асимметрия увеличивается. Показатель флуктуирующей асимметрии позволяет фиксировать незначительные отклонения параметров среды, еще не приводящих к существенному снижению жизнеспособности особи.

Среди многих видов, удовлетворяющих условиям, предъявляемым к выбору биоиндикаторов, относится берёза повислая (*Betula pendula* Roth.). Этот вид достаточно давно и успешно используется как вид-биоиндикатор качества среды массовый и распространенный; входит в состав разнообразных сообществ, его ареал включает степные и лесостепные зоны в Скандинавии, в Средней и Атлантической Европе, в Средиземноморье, на Балканах, Западной Сибири и на Алтае. Поднимается до высоты 2100-2500м.; обладает четкими различимыми признаками.

*Сроки сбора материала.* Сбор материала следует проводить после остановки роста листьев (в средней полосе начиная с июля).

*Объем выборки.* Каждая выборка должна включать в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 растений). Листья с одного растения хранятся отдельно, для того, чтобы в дальнейшем можно было проанализировать полученные результаты индивидуально для каждой особи (собранные с одного дерева листья связывают за черешки). Все листья, собранные для одной выборки, необходимо сложить в полиэтиленовый пакет, туда же вложить этикетку. В этикетке указать номер выборки, место сбора (делая максимально подробную привязку к местности), дату сбора.

*Выбор деревьев.* При выборе деревьев важно учитывать, во-первых, четкость определения принадлежности растения к исследуемому виду. По данным некоторых авторов береза повислая способна скрещиваться с другими видами берез, образуя межвидовые гибриды, которые обладают признаками обоих видов. Во избежание ошибок следует выбирать деревья с четко выраженными признаками березы повислой. Во-вторых, листья должны быть собраны с растений, находящихся в сходных экологических условиях (учитывается уровень освещенности, увлажнения и т.д.). Рекомендуется выбирать деревья, растущие на открытых участках (полянах, опушках), т.к. условия затенения являются стрессовыми для березы и существенно снижают стабильность развития растений. В-третьих, при сборе материала должно быть учтено возрастное состояние деревьев. Для исследования выбирают деревья, достигшие генеративного возрастного состояния

*Сбор листьев с растения.* Сбор материала следует проводить после остановки роста листьев (в средней полосе начиная с июля). У березы повислой собирают листья из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток равномерно вокруг дерева. Тип побега также не должен изменяться в серии сравниваемых выборок. Листья следует собирать только с укороченных побегов. Размер листьев должен быть сходным, средним для данного растения. Поврежденные листья могут быть использованы для анализа, если не затронуты участки, с которых будут сниматься измерения. С растения собирают несколько больше листьев, чем требуется, на тот случай, если часть листьев из-за повреждений не сможет быть использована для анализа.

При выполнении исследований выполняют следующие операции. Для измерения лист березы помещают перед собой брюшной (внутренней) стороной вверх. Брюшной стороной листа называют сторону листа, обращенную к верхушке побега. С каждого листа снимают показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рис. 14).

Для исследований требуются циркуль-измеритель, линейка и транспортир. Промеры 1 - 4 снимаются циркулем-измерителем, угол между жилками (признак 5) измеряется транспортиром. Для этого центр основания окошка транспортира совмещают с точкой ответвления второй жилки второго порядка от центральной жилки. Эта точка соответствует вершине угла. Кромку основания транспортира надо совместить с лучом, идущим из вершины угла и проходящим через точку ответвления третьей жилки второго порядка. Второй луч, образующий измеряемый угол, получают, используя линейку. Этот луч идет из вершины угла и проходит по касательной к внутренней стороне второй жилки второго порядка.

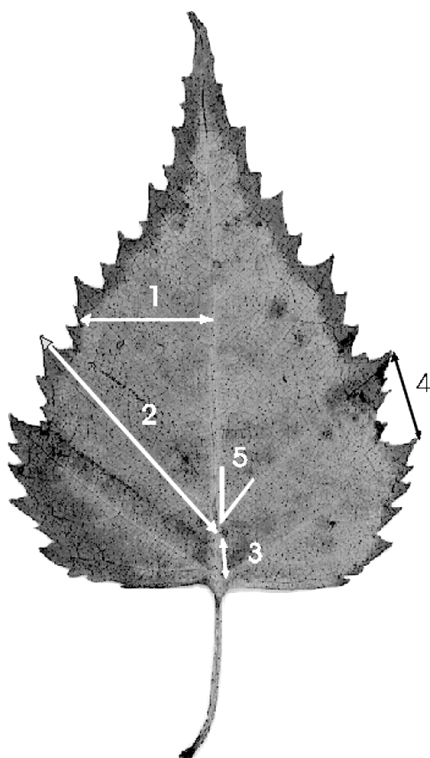


Рис. 14. Схема морфологических признаков, использованных для оценки стабильности развития березы повислой (*Betula pendula*)  
 1 - ширина левой и правой половинок листа. Для измерения лист складывают пополам, совмещая верхушку с основанием листовой пластинки. Потом разгибают лист и по образовавшейся складке измеряется расстояние от границы центральной жилки до края листа.  
 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.



Для мерных признаков величина асимметрии у растений рассчитывается как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Интегральным показателем стабильности развития для комплекса мерных признаков является средняя величина относительного различия между сторонами на признак. Этот показатель рассчитывается как среднее арифметическое суммы относительной величины асимметрии по всем признакам у каждой особи, отнесенное к числу используемых признаков. Такая схема обработки используется для растений. В таблицах 7-8 на примере березы приводится расчет средней относительной величины асимметрии на признак для 5 промеров листа у 10 растений.

Таблица 7. Результаты измерений пяти признаков листьев березы, собранных на территории ЗАО «Алтайский Бройлер»

Номер признака (рис.14)										
N	1		2		3		4		5	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1	18	20	32	33	4	4	12	12	46	50
2	20	19	33	33	3	3	14	13	50	49
3	18	18	31	31	2	3	12	11	50	46
4	18	19	30	32	2	3	10	11	49	49
5	20	20	30	33	6	3	13	14	46	53
6	12	14	22	22	4	4	11	9	39	39
7	14	12	26	25	3	3	11	11	34	40
8	13	14	25	23	3	3	10	8	39	42
9	12	14	24	25	5	5	9	9	40	32
10	14	14	25	25	4	4	9	8	32	32

Расчеты проводят следующим образом.

1. Сначала для каждого промеренного листа вычисляются относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого модуль разности между промерами слева (L) и справа (R) делят на сумму этих же промеров:

$$|L-R|/|L+R|,$$

Например: Лист №1 (таблица 1), признак 1

$$|L-R|/|L+R| = |18-20|/|18+20| = 2/38 = 0,052$$

Полученные величины заносятся во вспомогательную таблицу 8.

2. Затем вычисляют показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммируют значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делят на число признаков.

Результаты вычислений заносят в графу «Величина асимметрии листа» вспомогательной таблицы.

Таблица 8. Образец вспомогательной таблицы для расчета интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке

N	Номер признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1	0,052	...	...	...	...	...
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Величина асимметрии в выборке:						X=...

3. На последнем этапе вычисляется интегральный показатель стабильности развития - величина среднего относительного различия между сторонами на признак. Для этого вычисляют среднюю арифметическую всех величин асимметрии для каждого листа. Это значение округляется до третьего знака после запятой.

Для оценки степени выявленных отклонений от нормы, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя разработана балльная шкала. Диапазон значений интегрального показателя асимметрии, соответствующий условно нормальному фоновому состоянию, принимается как первый балл (условная норма). Он соответствует данным, полученным в природных популяциях при отсутствии видимых неблагоприятных воздействий (например, на особо охраняемых природных территориях). Диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл. Он соответствует тем популяциям, где есть явное неблагоприятное воздействие и такие изменение состояния организма,

которые приводят организм к гибели. Весь диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя. Такая балльная система оценок по величине интегральных показателей стабильности развития для березы приводится ниже.

Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*) (табл.8).

Таблица 9. Шкала оценки отклонений от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*)

Балл	Величина показателя стабильности развития	Характеристика
I	<0,040	I < 0,040 Условная норма
II	0,040 - 0,044	II 0,040 – 0,044 Растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов
III	0,045 - 0,049	III 0,045 – 0,049 Загрязненные районы
IV	0,050 - 0,054	IV 0,050 – 0,054 Сильно загрязненные районы
V	>0,054	V > 0,054 Крайне неблагоприятные условия, растения находятся в сильно угнетенном состоянии

### **Индикация состояния окружающей среды по частотам встречаемости различных фенотипов клевера белого**

Фен – вариант признака, заложенный в генотипе и проявляющийся при изменении условий окружающей среды тем чаще и разнообразнее, чем сильнее воздействие фактора и его амплитуда. Антропогенное воздействие является таким фактором, отражаясь на вариабельности признаков и фенотипической структуре популяции. Поэтому частота встречаемости некоторых фенов может являться биоиндикатором степени загрязнения среды.

У белого клевера (ползучего – *Triforium repens*), который довольно широко распространен в травянистых фитоценозах урбо– и агроэкосистем, таким признаком является форма беловатого рисунка на листьях.

Наблюдения осуществляются путем подсчета форм с различным рисунком и без него (рис. 15) и последующего расчета частоты их

встречаемости в процентах. Диагностику желательно проводить на разных пробных площадках, различающихся антропогенной нагрузкой и положением в ландшафте.

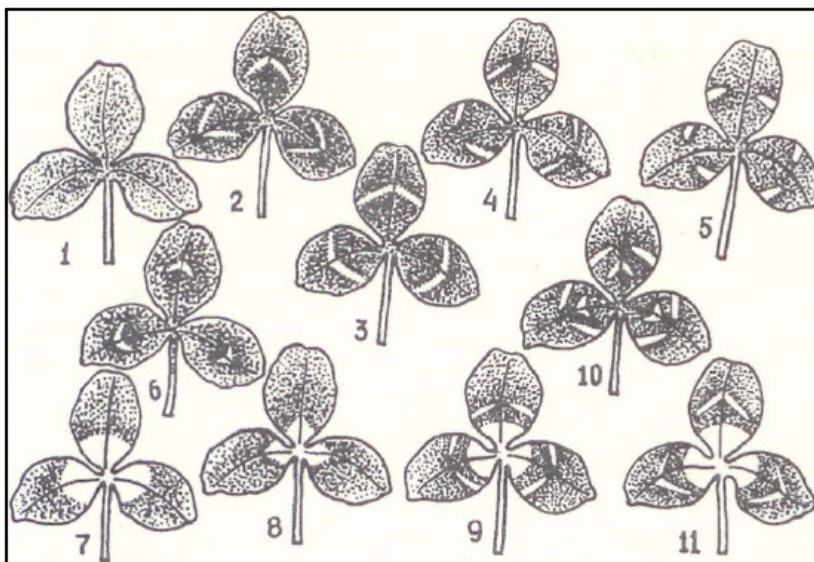


Рисунок 15. Фенотипы белого клевера

Для исследования необходимо выбрать один или несколько участков, которые испытывает влияние какого-либо источника загрязнения (автотрасса, промышленное предприятие) и где встречается клевер белый. На этом участке, двигаясь по направлению от источника загрязнения согласно розе ветров, фиксировать примерно через 2-3 шага все куртинки клевера и их фенотип, составляя атлас рисунков разных фенов. При обнаружении на пробной площадке фенов, не указанных на рис. 2, результаты вносятся в графу «новые формы». Подсчет фенов нужно вести в заданном направлении до конца участка. Затем следует поменять направление движения и подсчет продолжать до тех пор, пока не будет сделано не менее 200 отсчетов. Если на какой-либо точке площадки обнаруживаются два разных фена, то данный результат не учитывается ввиду переплетения куртинок. Данные по каждому фену для каждого участка заносятся в таблицу.

На каждой пробной площадке рассчитать частоты встречаемости отдельных фенов  $P_1$ . Частота встречаемости равна отношению числа растений с определенным феном (фен № 1 – отсутствие рисунка) к общему числу учтенных растений, это отношение умножают на 100, чтобы выразить его в процентах, т.е.

$$P_2 = (n_2 / N) \times 100\%$$

Далее следует рассчитать индекс соотношения фенов (ИСФ) - суммарную частоту встречаемости всех форм для каждого участка. Для этого сумму всех растений только с рисунками на листьях делят на общее число учтенных растений и умножают на 100, т.е.

$$\text{ИСФ}_1 = [(n_2 + n_3 + \dots) / N] \times 100\%.$$

5. По величине ИСФ выделить антропогенно нагруженные участки. На чистых участках ИСФ не превышает 30%, а на загрязняемых может повышаться до 70-80%.

Таблица 10. Результаты фенотипической диагностики пробных площадок

Категория площадки	№ площадки	Всего растений без $\Phi_1$ шт	ИСФ, %	Степень загрязнения почвы
Опытные участки (С антропогенной нагрузкой)	1			
	2			
	3			
	4			
	...			
Участки контроля (природный ландшафт)	1. 1			
	2. 2			
	...			

### Оценка состояния водоема по ряске

Для проверки качества воды в водоеме можно использовать простой и доступный метод экспресс-оценки загрязнения воды с

помощью ряски. Эта методика основывается на высокой чувствительности ряски к загрязнению. Ряска – свободно плавающее, многолетнее травянистое растение, которое можно встретить в лужах, мелких прудах, канавах, запрудах и других хорошо прогреваемых водоемах с пресной, стоячей или медленно текущей, богатой органическими веществами водой. Тело ряски большинство ботаников рассматривают как особую структуру «листо-ветвь», которая не разделена на листья и стебель. Листецы (щитки) у рясковых одиночные или же соединены в небольшие группы, по две или более цепочки короткими или удлинненными ножками, образованными суженной частью листеца. Форма листецов рясок может быть округлой, эллиптической, продолговатой. На присутствие загрязняющих веществ ряска реагирует изменением цвета листеца щитка и поэтому может использоваться как индикаторный организм.

Ряска бывает четырех видов:

- многокоренник обыкновенный (несколько корней на материнском щитке или на крупных дочерних особях, а если корни не развиты, материнский щиток крупный — 5—10 мм);
- ряска тройчатая (щиток вытянутый, на верхушке заостренный);
- ряска горбатая (с нижней стороны отчетливо выражено вздутие);
- ряска малая (с нижней стороны вздутия нет).

В наших водоемах чаще всего встречается ряска малая – светло-зеленое маленькое растение, листецы овальной формы, от нижней поверхности каждого листеца отходит в воду корешок с утолщением на конце. Ширина листеца ряски малой 2—3 мм, но она имеет относительно длинные корни — до 10 см. Встречается в стоячих и медленно текущих водах. Этот вид используется в экспресс-оценке качества воды водоема. Отдельные растения ряски представляют собой округлую пластинку-щиток размером 1—10 мм с дочерними щитками — «детками», прикрепленными по бокам материнского щитка. Вырастая, «детки» отделяются и превращаются во взрослые самостоятельные растения, благодаря чему ряски быстро заполняют поверхность водоема. Быстрый рост и размножение как раз и приводят к тому, что в них накапливаются разнообразные загрязняющие вещества.

Часто на листьях ряски наблюдается повреждение: некрозы, хлорозы.

*Некроз* — это патологический процесс, выражающийся в местной гибели ткани в живом организме.

*Хлороз* — болезнь растений, при которой нарушается образование хлорофилла в листьях и снижается активность фотосинтеза. При

заболе-вания происходит своеобразное побледнение или пожелтение листьев.

На каждый загрязнитель у видов рясок проявляется специфическая реакция. На медь (0,1– 0,25 мг/мл) листецы реагируют полным рассоединением из групп и изменением окраски с зеленой на голубую. На цинк (0,025 мг/мл) реакция заключается в изменении окраски листеца: с насыщенно зеленой до бесцветной, где зелеными остаются только точки роста; барий (0,1– 0,25 мг/мл) вызывает полное рассоединение листецов, отпадание корней и изменение окраски с зеленой на молочно-белую; кобальт (0,25– 0,0025 мг/мл) — полную приостановку роста и потерю окраски.

*Методика проведения исследования*

1. Выберите место отбора проб на берегу водоема.
  2. Выделите на поверхности воды участок площадью 0,5 м<sup>2</sup> и соберите на этом участке все плавающие растения.
  3. Разложите на блюде по видам.
  4. В каждой группе сосчитайте количество отдельных растений ряски (особей). Это первое число, которое понадобится.
  5. Подсчитайте общее количество щитков (у одной особи может быть несколько щитков).
  6. Разделите второе число на первое. Первый показатель, нужный для определения чистоты воды: число щитков/число особей (отношение числа щитков к числу особей).
  7. Сосчитайте количество щитков с повреждениями и рассчитайте процент щитков с повреждениями от общего числа щитков. Это второй нужный показатель. Повреждениями на щитках являются черные и бурые пятна — некроз и пожелтения — хлороз.
  8. Полученные результаты занесите в таблицу 11.
- По таблице 12 определите класс качества воды в исследуемом водоеме.
- В верхней строке найдите графу, которой соответствует ваш первый показатель (число щитков/число особей).
- В столбце слева найдите графу, которая соответствует вашему проценту поврежденных щитков.
- На пересечении вашего столбца и строчки в клетке будет стоять арабская цифра. Это и есть степень чистоты воды.
9. Для получения достоверного результата отберите аналогично еще две пробы и повторите определение качества воды.

Таблица 11. Экспресс-оценка качества воды по ряске (рабочая)

№ пробы	Количество особей	Количество щитков	Отношение количества щитков к числу особей	Количество поврежденных щитков	Процент от общего количества щитков	Класс качества воды
1						
2						
3						

Таблица 12. Экспресс-оценки качества воды по ряске

с щитков повреждениями %	Отношение числа щитков к числу особей				
	1	1,3	1,7	2	Больше 2
0	1—2	2	3	3	3
10	3	3	3	3	4
20	3	4	3	3	3
30	4	4	4	4	4
40	4	4	4	3	—
50	4	4	4	3	—
Более 50	5	5	—	—	—

### Определение состояния окружающей среды по комплексу признаков хвойных

Макроскопические реакции семенных растений на различные стрессоры проявляются прежде всего в изменении окраски листьев, к которым относятся *хлорозы, пожелтения, побурение листьев* и т.д.



Хлороз выражается в побледнении окраски листьев между жилками при слабом воздействии газообразных веществ, у растений на отвалах. Пожелтение краев или определенных участков листьев происходит у лиственных деревьев под влиянием хлоридов, при авиаобработках культур пестицидами. Покраснение листьев у смородины отмечено под влиянием  $SO_2$ .

Побурение представляет собой первые стадии тяжелых некротических повреждений у лиственных и хвойных деревьев.

*Некрозы* – это отмирание ограниченных участков ткани листьев. Некрозы бывают *точечные* и *пятнистые* (отмирание тканей листовой пластинки в виде точек или пятен), *межжилковые* (отмирание листовой пластинки между жилками первого порядка), *краевые* (отмирание ткани по краям листа), *«рыбьего скелета»* (сочетание межжилковых и краевых некрозов), *верхушечные* (тёмно-бурые, резко ограниченные некрозы кончиков хвои у ели, пихты, сосны, или белые обесцвеченные некрозы верхушек листьев у декоративных культур). При развитии некрозов после гибели клеток поражённые участки оседают, высыхают и за счет выделения дубильных веществ часто окрашиваются в бурый цвет у деревьев или спустя несколько дней выцветают до беловатой окраски у однодольных.

Количественную оценку некрозов дают путем определения поврежденной доли листовой поверхности в %. Широкое развитие некрозов у растений приводит к опадению листьев, усыханию вершин деревьев и их гибели.

Примерами опадения листьев (дефолиации) служат сокращение продолжительности жизни и осыпание хвои ели, сосны, отмирание листьев у смородины, крыжовника под действием  $SO_2$ , опадение листьев у липы под влиянием соли, применяемой для таяния снега. Дефолиация приводит к сокращению площади ассимилирующей поверхности и прироста, преждевременному образованию новых побегов за счет трогающихся в рост спящих почек.

В целях биоиндикации используются также изменения размеров и формы органов. Например, в окрестностях предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны удлиняется под действием нитратов и укорачивается под влиянием сернистого газа. Некрозы чаще появляются весной после образования хвои.

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

Использование хвойных дает возможность проводить биоиндикацию на огромных территориях (например, оценивать влияние на окружающую среду таких гигантов сибирской индустрии, как Норильский и Братский комбинаты). 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).

Хорошими индикаторами загрязнения воздуха являются состояние и продолжительность жизни хвои. Ель и сосна нормально развиваются при среднегодовом содержании  $\text{SO}_2$  в воздухе около 7-9 мкг/м<sup>3</sup>. В чистом воздухе хвоя, особенно на молодых елях, держится 14-16 лет. Возраст хвои ели 6-10 лет свидетельствует об ухудшении качества воздуха в последние 3-5 лет до уровня предельно допустимых концентраций  $\text{SO}_2$  (50 мкг/м<sup>3</sup>). При возрасте еловой хвои 2-3 года качество воздуха в 10-15 раз хуже санитарных норм и среднее содержание  $\text{SO}_2$  в нем составляет 500-750 мкг/м<sup>3</sup>. Подобные деревья обречены на гибель. У сосны хвоя живет до 5-6 лет. При средних концентрациях  $\text{SO}_2$  в воздухе около 50 мкг/м<sup>3</sup> продолжительность ее жизни сокращается до 2-3 лет.

При определении степени загрязненности воздуха по состоянию и продолжительности жизни хвои ели, сосны, пихты из средней части кроны молодых генеративных растений вырезают по одной ветви. На одном участке берут ветви с 25 деревьев и анализируют их на месте с использованием лупы или в лаборатории. Как известно, ветвление главных осей и боковых побегов хвойных – моноподиальное (рис. 17): побег из года в год растет своей верхушкой. При этом для каждого из годовичных участков побегов в процентах оценивается количество сохранившейся хвои по сравнению с верхушечным участком текущего года. Для каждого участка определяются также вид и степень развития некрозов хвои в баллах или %.

### ***Определение загрязненности атмосферы по хвое***

Методика индикации чистоты атмосферы по хвое сосны заключается в следующем. С нескольких боковых побегов условно одновозрастных хвойных деревьев, наиболее распространенных в данной местности, в средней части кроны 5– 10 деревьев в 15 – 20-летнем возрасте отбирают 200 – 300 пар хвоинок второго и третьего года жизни с определенной части кроны, обращенной к зонам с загрязненным воздухом (вблизи автодорог, предприятий). Контролем

служит хвоя с ветвей условно одновозрастных деревьев, собранных в чистой зоне заповедника, зеленой зоне города или в посадках лесных культур. Анализ хвои проводят в лаборатории. Хвою осматривают при помощи лупы, выявляют и зарисовывают хлорозы, некрозы кончиков хвоинок и всей поверхности, их процент и характер (точки, крапчатость, пятнистость, мозаичность – рис. 16). 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 рабочую таблицу (табл. 13) с указанием даты отбора проб на каждом ключевом участке.

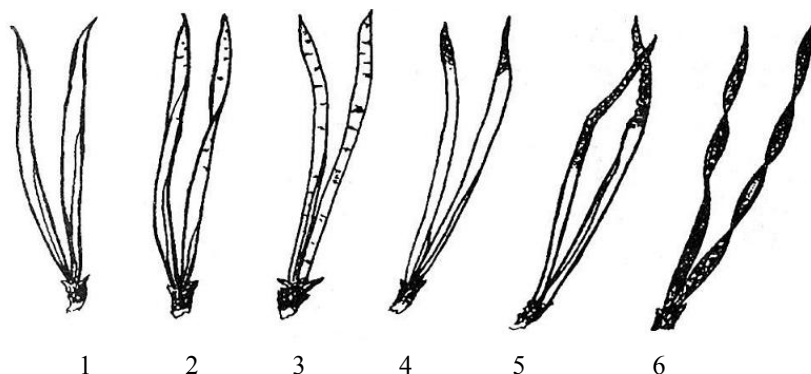


Рис. 16. 1 – хвоя без пятен (КП1), нет сухих участков (КУ1);

- 2 – хвоя с небольшим числом мелких пятен (КП2), нет сухих участков (КУ1);  
 3 – хвоя с большим числом черных и желтых пятен (КП3), усохло кончик 2–5 мм (КУ2);  
 4 – усохло около трети хвоинки (КУ3); 5 – усохло около половины длины хвои (КУ4); 6 – вся хвоя желтая и сухая (КУ4); КП — класс повреждения (некрозы); КУ — класс усыхания хвои.

Таблица 13. Определение состояния хвои сосны обыкновенной для оценки загрязненности атмосферы

Повреждение и усыхание хвоинок	Номера ключевых участков				
	1	2	...	9	10
Общее число обследованных хвоинок					
Количество хвоинок с пятнами					
Процент хвоинок с пятнами					
Количество хвоинок с усыханием					
Процент хвоинок с усыханием					
Дата отбора проб					

Определить класс загрязненности воздуха можно по таблице 14.

Таблица 14. Сводная таблица повреждения хвои

Качество воздуха	Виды повреждений	КП (класс с повреждения)	КУ (класс усыхания)	Процентное количество хвоинок с каждым типом повреждений	Примечания
I	А	КП-1	КУ-1		
II	Б	КП-2	КУ-1		
III	В	КП-3	КУ-2		
IV	Г		КУ-3		
V	Д		КУ-4		
VI	Е		КУ-4		

**Определение загрязненности атмосферы по продолжительности жизни хвои**

Информативным по техногенному загрязнению является продолжительность жизни хвои сосны (от 1 до 4 – 5 и более лет). С целью определения продолжительности жизни хвои на каждом участке необходимо осмотреть не менее 100 – 200 деревьев. Устанавливают продолжительность жизни хвои путем просмотра побегов с хвоей по мутовкам (рис. 17).

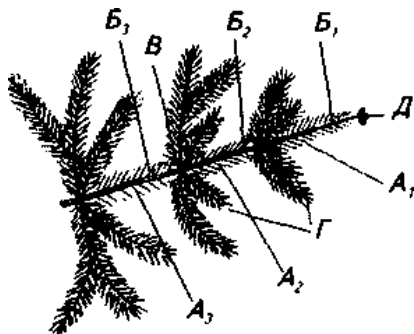


Рис. 17. Части ветви хвойного дерева, служащие биоиндикаторами: А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> - осевые побеги первого, второго и третьего года; Б<sub>1</sub>, Б<sub>2</sub>, Б<sub>3</sub> - хвоя первого, второго и третьего года; В - мутовка; Г - боковые побеги; Д - почки.

Для удобства проведения исследования методом визуального осмотра выбираются невысокие деревья (в возрасте 10 – 15 лет). Результаты осмотра заносят в таблицу 15.

Таблица 15. Определение загрязненности атмосферы по продолжительности жизни хвой

Количество осмотренных дерезьев с данной продолжительностью жизни хвой, T	Номера ключевых участков				
	1	2	...	9	...
Возраст хвой 4 года и более, B <sub>1</sub>					
Возраст хвой 3 года, B <sub>2</sub>					
Возраст хвой 2 года, B <sub>3</sub>					
Хвоя только текущего года, B <sub>4</sub>					

По данным таблицы рассчитывают индекс продолжительности жизни хвой сосны Q по формуле:

$$Q = \frac{3B_1 + 2B_2 + 1B_3}{B_1 + B_2 + B_3},$$

Чем выше индекс Q, тем больше продолжительность жизни хвой сосны, а значит и чище воздух.

Затем проводят расчет средней продолжительности жизни хвой сосны Q для каждого ключевого участка.

### **Оценка состояния окружающей среды по наличию, обилию и разнообразию видов лишайников (лихеноиндикация)**

Очень информативными биоиндикаторами состояния воздушной среды и ее изменения являются лишайники, которые накапливают 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 сернистому газу. Малейшее загрязнение атмосферы,

не влияющее на большинство растений, вызывает массовую гибель чувствительных видов лишайников. Они исчезают, как только концентрация сернистого газа достигнет  $35 \text{ млрд}^{-1}$ , а среднее его содержание в атмосфере крупных городов свыше  $100 \text{ млрд}^{-1}$ . Не удивительно поэтому, что большинство лишайников уже исчезло из центральных зон городов.

Слежение за состоянием воздушной среды при помощи лишайников называется лихеноиндикацией.

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 концентрируются 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 активно 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 температурах ниже  $0^\circ\text{C}$ .

В отличие от цветковых растений лишайники способны избавляться от пораженных токсическими веществами частей своего таллома каждый год. В городах с загрязненной атмосферой они редки, главный враг лишайников в городах - сернистый газ. Установлено, что чем выше уровень загрязнения природной среды сернистым газом, тем больше серы накапливается в слоевище лишайников, причем живое слоевище аккумулирует серу из среды интенсивнее, чем мертвое. Особенно удобны лишайники в качестве индикаторов небольшого загрязнения окружающей среды. Наиболее чувствительным симбионтом в талломе лишайников является водоросль.

В мире насчитывается около 26 тысяч видов лишайников. Они различаются по зонам произрастания (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 рН 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 усnea, которая является

наиболее чувствительным видом и растет в лесах только с чистой атмосферой.

Различают несколько жизненных форм лишайников (рис. 18–21) :

- накипные (слоевище имеет вид корочек) - например, бацидиум фисция;
- листоватые (слоевище имеет вид пластинок), например, пармелия, степная золотянка, гипогимния;
- кустистые (слоевище имеет вид кустиков или свисающих «бород», иногда до 1-2 м длиной), например, уснея, бриория, клафония, цетрария.

Наиболее чувствительны к загрязнению воздушной среды кустистые и листоватые лишайники (исчезают полностью), наименее - накипные.

*Методика определения степени загрязнения воздуха по лишайникам*

В лишеноиндикационных исследованиях в качестве субстрата используются различные деревья. Для оценки загрязнения атмосферы города, районного центра, поселка выбирается вид дерева, который наиболее распространен на исследуемой территории.

Биоиндикация территории с помощью лишайников может быть организована по-разному. В одном случае трансекту длиной в 2-3 км удобно разместить перпендикулярно насыщенной автотранспортом загородной дороге, примыкающей к лесному массиву, состоящему из небольшого разнообразия древесных видов (например, сосна с примесью березы или дубовое насаждение с примесью клена).

В другом случае трансекта располагается в зависимости от расстояния до центра города (центральные улицы, на некотором расстоянии от центра, окраинные улицы, загородные территории). Такая трансекта может продолжаться на 20-50 км и переходить в зеленую зону города. Вполне очевидно, что в такой многокилометровой трансекте должны изучаться только виды древесных растений, имеющиеся на всей территории.

Первая трансекта разбивается на ряд участков: 1) возле дороги, 2) в 100 м, 3) в 300 м, 4) в 500 м, 5) в 1000 м, 6) в 2000-3000 м от дороги. На каждом участке закладываются пробные площади размером 20x20 м, 50x50 м, 100x100 м (в зависимости от цели исследования и разреженности насаждения).

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.

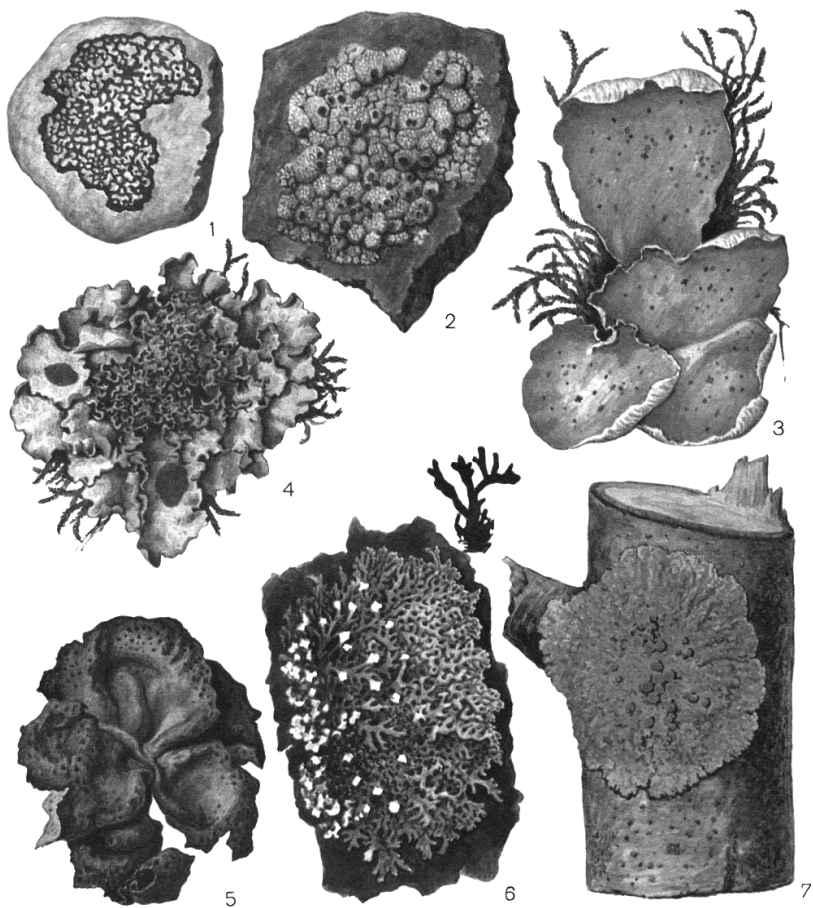


Рис.18. Накипные (1,2) и листоватые (3-7) лишайники: 1 - *Rhizocarpon geographicum*, ареолированное слоевище с темным подслоевищем; 2 - *Haematomma ventosum*, ареолированное слоевище; 3 - *Peltigera aphthosa*; 4 - *Solorina crocea*; 5 - *Umbilicaria muehlenbergii*; 6 - *Hypogymnia physodes*, слоевище сверху и снизу; 7 - *Xanthoria parietina*



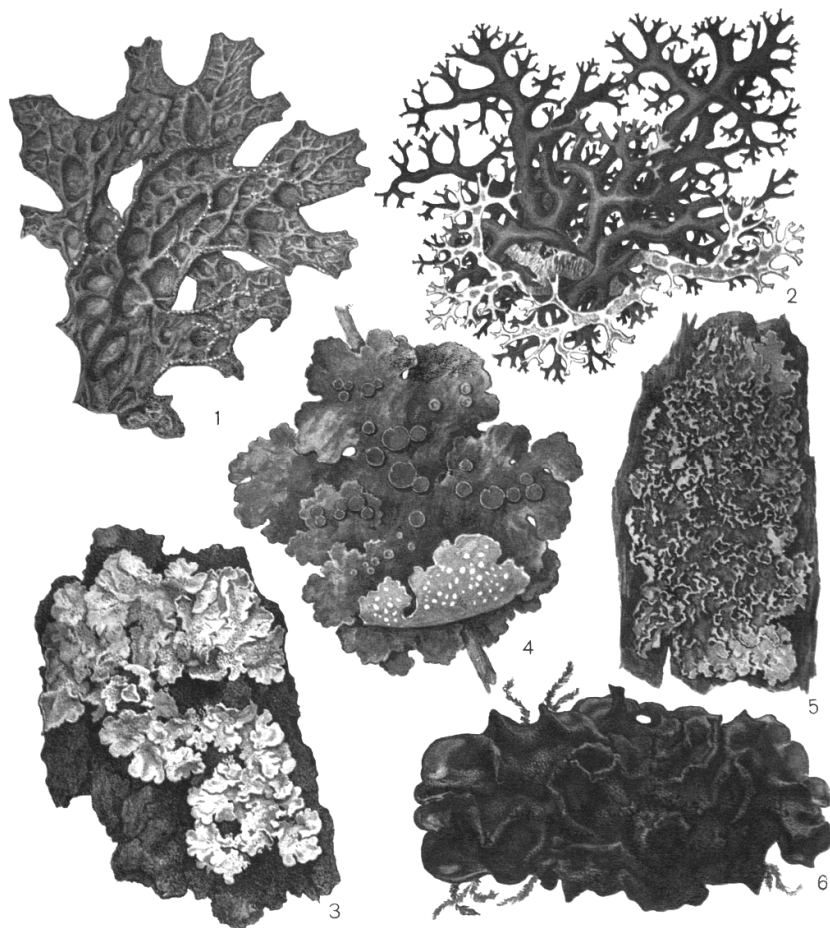


Рис.19. Листоватые лишайники: 1 - *Lobaria pulmonaria*; 2 - *Cetraria richardsonii*; 3 - *Parmelia caperata*; 4 - *Sticta wrightii*; 5 - *Cetraria pinastri*; 6 - *Leptogium saturninum*

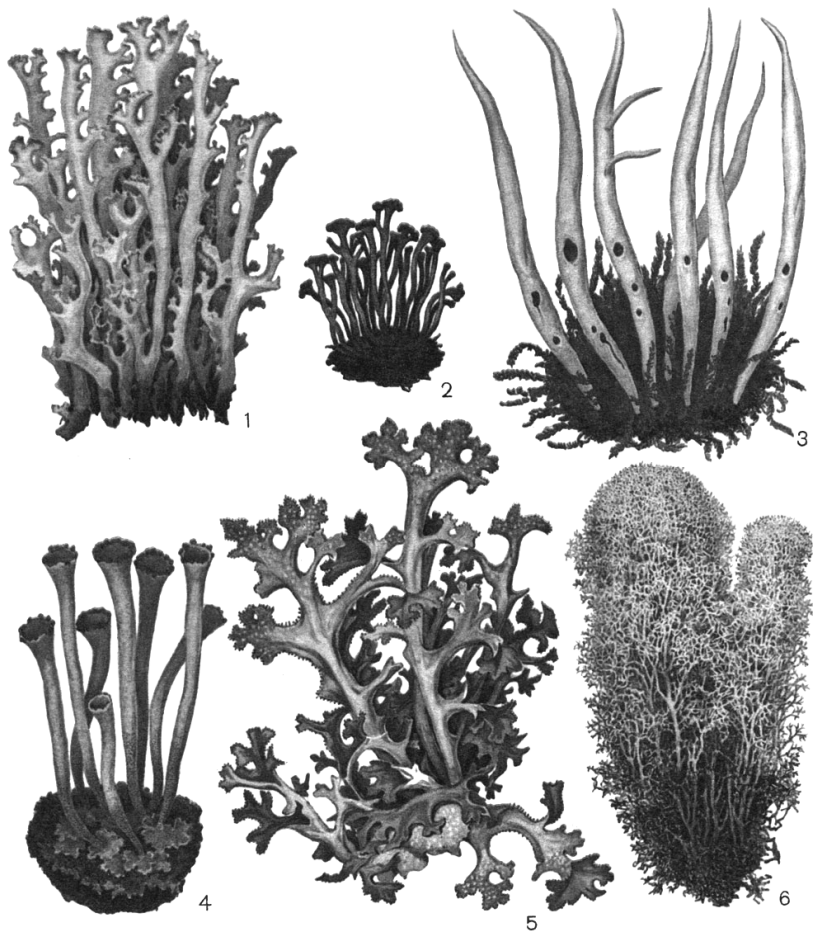
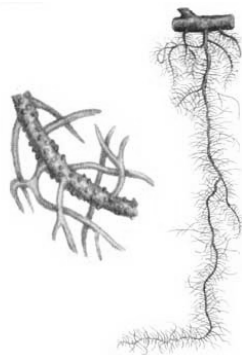


Рис.20. Напочвенные кустистые лишайники: 1 - *Cetraria cucullata*; 2 - *Cladonia floerkeana*; 3 - *Thamnolia vermicularis*; 4 - *Cladonia deformis*; 5 - *Cetraria islandica*; 6 - *Cladonia alpestris*



1



2



3

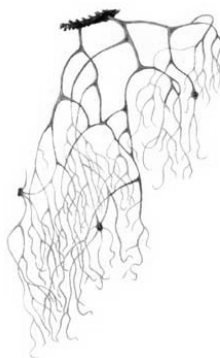


Рис.21. Древесные кустистые лишайники: 1- Уснея густобородая - *Usnea dasypoga* (Ach.) Rohl. emend. Mot. 2- Эверния сливовая, или «дубовый мох» — *Evernia prunastri* (L.) Ach., 3 – Алектория отпрысковая, или охристая – *Alectoria sarmentosa* Ach.

На каждой пробной площадке учитываются следующие параметры;

- а) общее число видов лишайников;
- б) степень покрытия слоевищами лишайников каждого дерева;
- в) частота (встречаемость) каждого вида;
- г) обилие каждого вида.

Пробная площадка ограничивается деревянной рамкой, на стволе одного дерева у его основания и на высоте 1,4-1,6 м в двух экспозициях (в направлении источника загрязнения и с противоположной стороны) проводится учет лишайников на небольших площадках (40x40 см). 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. 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.

Кроме выявления видового состава, определяют размеры розеток лишайников и степень покрытия в процентах (табл.16).

Таблица 16. Оценки частоты встречаемости и степени покрытия по пятибалльной шкале

Оценка, балл	Частота встречаемости	Степень покрытия
1	Очень редкая, менее 5%	Очень низкая, менее 5%
2	Редкая, 5-20%	Низкая, 5-20%
3	Небольшая, 20-40%	Средняя, 20-40%
4	Большая, 40-60%	Большая, 40-60%
5	Очень высокая, 60-100%	Очень большая (встречается на большинстве деревьев), 60-100%

Таким образом, для каждой площадки описания и для каждого типа роста лишайников – кустистых, листоватых и накипных – выставляются баллы встречаемости и покрытия. 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).

Зная баллы средней встречаемости и покрытия Н, Л, К, легко рассчитать показатель относительной чистоты атмосферы (П<sub>очд</sub>) по формуле:

$$П_{очд} = Н+2хЛ+3хК / 30$$

Чем ближе показатель П<sub>очд</sub> к единице, тем чище воздух местообитания. Имеется прямая связь между показателем и средней концентрацией диоксида серы в атмосфере.

Таблица 17. Влияние загрязнения среды на встречаемость лишайников

Зона загрязнения	Оценка встречаемости лишайников	Загрязнение воздуха сернистым газом, мг/м <sup>3</sup>	Оценка загрязнения
1	Лишайники на деревьях и камнях отсутствуют	Больше 0,3-0.5	Сильное загрязнение
2	Лишайники также отсутствуют на стволах деревьев и камнях. На северной стороне дерормы и в затененных местах встречается зеленоватый налет водоросли плеврококкус	Около 0,3	Довольно сильное
3	Появление на стволах и у основания деревьев серо-зеленоватых твердых накипных лишайников леканоры, фисции	От 0,05 до 0,2	Среднее
4	Развитие накипных лишайников - леканоры и др., водоросли плеврококку са. появление листоватых лишайников (пармелия)	Не превышает 0,05	Небольшое
5	Появление кустистых лишайников (эвернии, уснеи)	Малое содержание	Воздух очень чистый

В результате многолетних исследований была проведена работа по объединению видов лишайников в классы *полеотолерантности*, т.е. в группы, члены которых более или менее одинаково реагируют на определенные загрязняющие вещества и их концентрации в атмосферном воздухе.

Наиболее пригодной для большей территории России является приведенная ниже классификация:

Таблица 18. Классы полеотолерантности различных видов лишайников

Типы местообитаний по степени влияния антропогенных факторов и встречаемость в них видов	Виды лишайников	Классы полеотолерантности
Естественные местообитания (ландшафты) без ошутимого антропогенного влияния	<i>Lecanactis abietina</i> , <i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Menegzzia terebrata</i> , <i>Mycoblastus sanguinarius</i> , виды родов <i>Pannaria</i> , <i>Parmeliella</i> , самые чувствительные виды рода <i>Usnea</i>	I
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (редко)	<i>Bryoria chalybeiformis</i> , <i>Evernia divaricata</i> , <i>Cyalecta ulmi</i> , <i>Lecanora coilocarpa</i> , <i>Ochrolechia androgyna</i> , <i>Parmeliopsis aleurites</i> , <i>Ramalina calicaris</i>	II
Естественные (часто) и антропогенно слабоизмененные местообитания (часто)	<i>Bryoria fuscescens</i> , <i>Cetraria chlorophylla</i> , <i>Hypogymnia tubulosa</i> , <i>Lecidea tenebricosa</i> , <i>Opegrapha pulcaris</i> , <i>Pertusaria pertusa</i> , <i>Usnea subfloridana</i>	III
Естественные (часто), слабо (часто) и умеренно (редко) измененные местообитания	<i>Bryoria implexa</i> , <i>Cetraria pinastri</i> , <i>Graphis scripta</i> , <i>Lecanora leptyroides</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Opegrapha diaphora</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Pertusaria coccodes</i> , <i>Pseudevernia furfuraceae</i> , <i>Usnea filipendula</i>	IV
Естественные, антропогенно слабо- и умеренно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	<i>Caloplaca pyracea</i> , <i>Lecania cyrtella</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>L. rugosa</i> , <i>L. subfuscata</i> , <i>L. subrugosa</i> , <i>Lecidea glomerulosa</i> , <i>Parmelia exasperata</i> , <i>P. olivacea</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Ramalina farinacea</i>	V

Типы местообитаний по степени влияния антропогенных факторов и встречаемость в них видов	Виды лишайников	Классы полеотолерантности
Естественные (сравнительно редко) и антропогенно умеренно (часто) измененные местообитания	<i>Arthonia radiata, Caloplaca aurantiaca, Evernia prunastri, Hypogymnia physodes, Lecanora allophana, L.carpinea, L.chlarona, L.pallida, L.symmictera, Parmelia acetabulum, P.subargentifera, P.exasperatula, Pertusaria discoidea, Hypocenomyce scalaris, Ramalina fraxinea, Rinodina exigua, Usnea hirta</i>	VI
Умеренно (часто) и сильно (редко) антропогенно измененные местообитания	<i>Caloplaca vitellina, Candelariella vitellina, C.xanthostigma, Lecanora varia, Parmelia conspurcata, P.sulcata, P.verruculifera, Pertusaria amara, Phaeophyscia nigricans, Phlyctis agelaea, Physcia ascendens, Ph.stellaris, Ph.tenella, Physconia pulverulacea, Xanthoria polycarpa</i>	VII
Умеренно и сильно антропогенно измененные местообитания (с равной встречаемостью)	<i>Caloplaca cerina, Candelaria concolor, Phlyctis argena, Physconia grisea, Ph.enteroxantha, Ramalina pollinaria, Xanthoria candelaria</i>	VIII
Сильно антропогенно измененные местообитания (часто)	<i>Buellia punctata, Lecanora expallens, Phaeophyscia orbicularis, Xanthoria parietina</i>	IX
Очень сильно антропогенно измененные местообитания (встречаемость и жизненность видов низкие)	<i>Lecanora conizaeoides, L.hageni, Lepraria incana, Scoliciosporum chlorococcum</i>	X

Сравнение видового состава найденных в той или иной местности лишайников с данными этой таблицы поможет определить (весьма условно) уровень общей, интегральной, «нарушенности» местности, в том числе в результате загрязнения воздуха.

Более точно и, главное, количественно, определить уровень нарушенности местообитания помогут так называемые лишеноиндикационные индексы, учитывающие, в основном, видовое разнообразие, т.е. видовое богатство (число видов) и численность разных видов лишайников.

На сегодняшний день существует несколько десятков лишеноиндикационных индексов, как тех, которые учитывают видовой состав лишайников, так и тех, при расчете которых нужно знать только видовое богатство (число видов). Наиболее простым является индекс полеотолерантности (ИП), который учитывает видовой состав лишайников (т.е. для его использования нужно определять виды) и вычисляется по формуле:

$$\text{ИП} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{c_n}$$

где  $n$  - количество видов на описанной пробной площадке,  $a_i$  - класс полеотолерантности  $i$ -того вида (от 1 до 10, см. правый столбец таблицы),  $c_i$  - проективное покрытие  $i$ -того вида в баллах,  $c_n$  - сумма значений покрытия всех видов (в баллах).

Индекс полеотолерантности вычисляется для всех обследованных модельных деревьев на площадке в среднем. Общая обследованная площадь поверхности стволов должна быть не менее 0,7 м<sup>2</sup>. Оценка проективного покрытия дается по 10-балльной шкале (табл.19):

Таблица 19. Балльная шкала оценки проективного покрытия

Балл	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Покрытие, %	1-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100

Значения индекса полеотолерантности колеблются между 1 и 10. Чем больше значение ИП, тем более загрязнен воздух в



соответствующем местообитании. Нулевое значение ИП может быть только в случае полного отсутствия лишайников.

Значения ИП скоррелированы со среднегодовым содержанием SO<sub>2</sub> в воздухе (табл.20):

Таблица20. Корреляция значения индекса полеотолерантности со среднегодовым содержанием SO<sub>2</sub>

Индекс полеотолерантности	Концентрация SO <sub>2</sub> (мг/м <sup>3</sup> )	Условная зона
1 – 2	Менее 0,01	Нормальная
2 – 5	0,01 - 0,03	Малого загрязнения
5 – 7	0,03 - 0,08	Среднего загрязнения
7 – 10	0,08 - 0,10	Сильного загрязнения
10	0,10 - 0,30	Критического загрязнения
0	более 0,3	Лишайниковая пустыня

## БИОИНДИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СООБЩЕСТВ

Оценить состояние экосистем можно по величине биологического разнообразия: чем выше биоразнообразие, тем устойчивее экосистема.

### Параметры биологического разнообразия

Видовое богатство. Различные сочетания  $S$  (число выявленных видов) и  $N$  (общее число особей всех  $S$  видов) лежат в основе простых показателей видового богатства:

*индекса видового богатства Маргалефа:*

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

*индекса видового богатства Менхиника:*

$$D_{Mz} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Достоинство этих индексов – легкость расчетов. Большая величина индекса соответствует большему разнообразию, т. е. чем выше индекс, тем большим видовым богатством характеризуется данная территория.

Видовое разнообразие. Для оценки используют индексы, основанные на относительном обилии видов. Эту группу индексов называют *индексами неоднородности*, так как они учитывают одновременно и выравненность, и видовое богатство. Индексы, основанные на относительном обилии видов, относятся к непараметрическим, поскольку они не требуют никаких предположений о распределениях. Их применение углубляет оценки биоразнообразия по сравнению с индексами видового богатства, которые опираются лишь на один параметр.

*Индекс Симпсона:*

$$D = 1 - \sum (n_i/N)^2, \quad \text{или} \quad D = \sum \left( \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$
  
где  $n_i$  – число особей  $i$ -го вида, а  $N$  – общее число особей. По мере увеличения  $D$  разнообразие уменьшается.

*Индекс Бергера-Паркера* выражает относительную значимость наиболее обильного вида:

$$d = \frac{N_{\max}}{N},$$

где  $N_{\max}$  – число особей самого обильного вида.

Увеличение величины индекса Бергера-Паркера, как и индекса Симпсона, означает уменьшение разнообразия и возрастание степени доминирования одного вида. Поэтому обычно используется величина, обратная индексу Бергера-Паркера -  $1/d$ .

*Индекс Шеннона:*

$$H = - \sum p_i \ln p_i,$$

где  $p_i$  - доля особей  $i$ -го вида в генеральной совокупности, определяемая по доли вида в выборке как  $p_i/N$ . Индекс Шеннона обычно варьирует в пределах от 1,5 до 3,5, очень редко превышая 4,5.

*Индекс выравненности Пилу* рассчитывается на основе индекса Шеннона:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

где  $H'$  — индекс Шеннона,  $S$  — число видов.

### Сравнительные характеристики сообществ

Оценка общности по качественным данным. Это наиболее простой способ, при котором сравнивают списки по присутствию и отсутствию каких-то видов. Наиболее широко применяемые - коэффициенты (индексы) Жаккара и Серенсена.

*Коэффициент Жаккара* - отношение числа общих видов к числу видов в объединенном списке (Jaccard, 1901):

$$K_J = c / (a + b - c)$$

где  $a$  — количество видов на первой пробной площадке,  $b$  — количество видов на второй пробной площадке,  $c$  — количество видов, общих для 1-й и 2-й площадок.

*Коэффициент Сьёренсена* (Sørensen, 1948):

$$K_S = 2c / (a + b)$$

Обозначения те же.

Оценка общности по количественным данным.

*Индекс Чекановского-Сьёренсена:*

$$I_{CS} = \sum_i \min(p_{ij}, p_{ik})$$

или сумма минимальных долей видов ( $p_i$ ) имеющих в двух сравниваемых списках (выборках). Она может быть от 0 до 1 (при умножении на 100 % – соответственно будет выражаться от 0 до 100 %).

### **Методика применения оценки биоразнообразия для определения состояния сообществ**

#### ***Оценка качества среды по индексу Шеннона***

Индекс Шеннона основывается на определении относительного обилия видов, т.е. позволяет найти некоторую числовую величину, учитывающую не только количество видов в биоценозе (водоеме), но и соотношение численности их. Этот индекс выведен на основе теории информации. Он предполагает, что разнообразие (информацию) в естественной экосистеме можно измерить так же, как информацию, содержащуюся в коде или сообщении. Индекс рассчитывают по формуле:

$$H = - \sum p_i \ln p_i ,$$

где  $p_i$  - доля особей  $i$ -го вида в генеральной совокупности, определяемая по доли вида в выборке как  $n_i/N$ .

$p_i$  рассчитывают по формуле:

$$p_i = n_i / N ,$$

где  $n_i$  – число организмов  $i$ -го вида в биоценозе (водоеме),  $N$  – общее число особей всех видов в биоценозе (водоеме).

Формула для индекса Шеннона начинается со знака "минус", чтобы отрицательные величины, полученные при логорифмировании, превратить в положительные. Величина индекса измеряется в битах – единицах информации. Эта величина зависит не только от числа видов, встречающихся в данном сообществе, но и от распределения численности по отдельным видам (обилия видов). Величина индекса уменьшается в биоценозах с повышенной биомассой и в случае резкого преобладания какого-либо одного или немногих видов в этом биоценозе. Это наиболее характерно для неустойчивых сообществ, испытывающих большую антропогенную нагрузку. Так, в зоне

загрязнения малых рек сточными водами, содержащими большое количество органических веществ, происходит значительный рост численности трубочников и мотыля, а другие виды практически не встречаются.

Величины индекса разнообразия Шеннона обычно укладываются в интервал от 1,5 до 3,5 и очень редко превышают 4,5. Чем выше значение индекса Шеннона, тем выше биоразнообразие водоема, тем устойчивее экосистема.

Индекс Шеннона можно использовать для оценки состояния водных сообществ, почвенных ценозов или для их сравнения в зависимости от степени антропогенного прессинга.

### ***Биоиндикация загрязнения почв по изменению видового разнообразия***

Наряду с индексом Шеннона широко используется индекс Симпсона. При вычислении индекса используют численность организмов  $i$ -го вида  $n_i$ , найденных наблюдателем на площадке биоиндикации, и общую численность всех видов  $N$  на площадке биоиндикации. Методика обеспечивает выявление зон экологических отклонений на местности с вероятной ошибкой не более 20 %.

Для проведения данной оценки необязательно использовать данные по всей фауне, можно ограничиться анализом характерных групп видов, по которым имеется надежная информация, например, почвенных клещей, дождевых червей, многоножек, жуков-герпетобионтов. Пробы в нескольких повторностях следует брать на изучаемой площадке и контрольной, находящейся в условиях, близких к естественным, с минимальным антропогенным воздействием, находящейся в аналогичных природных условиях.

В данной методике индекс Симпсона рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{[n_1(n_1 - 1) + n_2(n_2 - 1) + \dots]}{[N(N - 1)]}$$

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

Или:

$$C_i = 1/(p_1^2 + \dots + p_i^2)$$

где  $C_i$  – индекс Симпсона, рассчитанный для каждой площадки биоиндикации;  $p_1 \dots p_i$  – доля каждого вида в суммарном обилии, взятом за единицу.

$P_i$  рассчитывают следующим образом:

$$p_i = n_i / N$$

где  $n_i$  – численность  $i$ -го вида на площадке биоиндикации;  
 $N$  – общая численность всех видов на площадке биоиндикации.

Относительный показатель видового биоразнообразия на площадке биоиндикации исследуемой территории рассчитывают по формуле:

$$C = C_i / C_{\text{контр}} \cdot 100$$

Сравнив полученное значение с критериальными (табл. 21), получаем оценку состояния почв в районе исследования.

Таблица 21. Критерии изменения экологического состояния почвенного покрова

Показатель	Параметр		
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная экологическая ситуация
Индекс Симпсона	Менее 25%	25-50%	Более 50%

***Оценка устойчивости водоёма к антропогенному загрязнению по видовому составу гидробиоценоза***

Устойчивость любой экосистемы зависит от её способности к самоочищению и самовосстановлению. Естественное самоочищение водоёма – это непрерывный процесс физико-химической и биохимической утилизации и обезвреживания веществ, загрязняющих водный объект.

Физико-химическое самоочищение осуществляется путём осаждения взвешенных частиц и окисления растворённых соединений кислородом воды.

Сущность процессов биохимического самоочищения сводится к постепенной минерализации поступающего органического вещества до стабильных соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3$  и др.). Биогенные элементы (N, P, C, S, K и др.), образующиеся в результате минерализации, вновь включаются в круговорот веществ водоёма. В

биологическом самоочищении участвуют все живые организмы водоёма: микроорганизмы, водоросли, высшая растительность, беспозвоночные и позвоночные животные.

Устойчивость экосистемы (гидробиоценоза) определяется количеством видов, обитающих в ней. Наибольшей устойчивостью обладают водоёмы с высоким индексом биоразнообразия.

Индекс биоразнообразия  $K_6$  вычисляют по формуле:

$$K_6 = 1,44 \cdot N / (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n)$$

где  $N$  – число видов на исследуемом участке водоёма;

$n_1, n_2, n_3, n_n$  – среднее количество особей каждого вида в последней пробе (4 мл).

Степень деградации водоёма можно оценить по величине коэффициента биологического сходства  $P$ . Жаккара. Этот коэффициент показывает степень оскуднения биоценоза загрязнённого водоёма по сравнению с контрольным, относительно чистым и ненарушенным. Коэффициент  $P$ . Жаккара рассчитывают по формуле

$$K_J = c / (a + b - c)$$

где  $a$  – число видов в исследуемом водоёме;  $b$  – число видов в контрольном водоёме,  $c$  – количество видов, общих для обоих водоёмов.

Количество видов устанавливают с помощью определителей водных растений и беспозвоночных. Чем выше  $K_J$ , тем чище водоём.

Методика выполнения работы:

1. С помощью драги отбирают 250 – 300 мл природного грунта в стеклянные банки или пластмассовые ведерки. Крупных беспозвоночных помещают во флакончики с 4%-ным раствором формальдегида.
2. Отбирают пробы воды с водной растительностью и помещают в стеклянные банки или пластмассовые ведерки.
3. С помощью определителей устанавливают видовой состав макробионтов.
4. Определяют по определителю крупных беспозвоночных.
5. Подсчитывают общее количество видов (таксонов) зообентоса в 4 мл отобранной пробы с помощью рисунков и определителей для исследуемого и контрольного водоёма.

6. Определяют количество особей каждого вида в нескольких пробах исследуемого образца и устанавливают  $n_1, n_2, n_3$  и  $n_n$ . Рассчитывают индекс биоразнообразия и коэффициент эвтрофикации.

7. Данные заносят в таблицу (табл.22).

Таблица 22. Индекс биоразнообразия водоема

Водоем	Таксоны (отряд, тип)	Количе- ство так- сонов	Количество особей каждого таксона (в 4 мл)						Индекс био- разнообразия $K_b$
			$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_3$	$n_3$	$n_n$	

8. Рассчитывают коэффициент Жаккара для обследованных и контрольного водоемов.

9. Дают комплексную оценку состояния исследуемого водоёма.



## **ПРИМЕРНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ НА ПЕРИОД ПРАКТИКИ**

Предлагаемые задания, в зависимости от уровня сложности, могут выполняться как индивидуально, так и группой из 3-5 человек. В последнем случае пишется общий отчет, во введении к которому указывается вклад каждого участника группы.

1. Оценка состояния воздуха города Бийска методами лишеноиндикации.
2. Оценка состояния озера Канонерского методом Майера.
3. Оценка влияния промышленного предприятия на состояние почв.
4. Изучение морфометрических показателей и физиологического состояния рыб двух изолированных водоемов.
5. Оценка состояния среды по уровню флуктуирующей асимметрии (береза повислая).
6. Интегрированная оценка состояния воздушной среды города Бийска методами фитоиндикации.
7. Влияние антропогенной нагрузки на структуру комплекса педобионтов.
8. Методы определения качества воды в озере Ковалевском с помощью ряски.
9. Определение состояния окружающей среды в районе ТЭЦ по комплексу признаков у хвойных.
10. Индикация состояния окружающей среды городских скверов по частотам встречаемости различных фенов клевера белого.
11. Определение загрязненности атмосферы в районе Чуйского тракта по хвое сосны обыкновенной.
12. Оценка качества среды заречного бора по индексу Шеннона
13. Оценка качества воды ручья с помощью индекса Вудивисса.
14. Оценка устойчивости лесопарковой зоны к антропогенному загрязнению по видовому составу древесной и кустарниковой растительности.
15. Биоиндикация загрязнения почв по изменению видового состава герпетобионтных членистоногих.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – М. : Гидрометеиздат, 1984 – 560 с.
2. Вайнерт, Э. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Э. Вайнерт [и др.]. – М. : Мир, 1988 – 350 с.
3. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2002 – 220 с. – ISBN 5-94219-030-5.
4. Загрязнения воздуха и жизнь растений / под ред. М. Трешоу. – Л. : Гидрометеиздат, 1998 – 380 с.
5. Гюнтер, Л. И. Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод / Л. И. Гюнтер [и др.]. – М. : Наука, 1980. – 241 с.
6. Биоиндикация и биомониторинг / под ред. Д. А. Криволицкого. – М.: Наука, 1991. – 288 с. – ISBN 5-02-005419-4.
7. Методы экологических исследований : практикум / Иванов Е.С., Авдеева Н.В., Кременецкая Т.В., Золотов Г.В. ; Ряз. гос. ун-т имени С.А. Есенина. – Рязань, 2011. – 404 с. ISBN 978-5-88006-693-3.
8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
9. Тарарина, Л. Ф. Экологический практикум для студентов и школьников (биоиндикация загрязнений среды) / Л. Ф. Тарарина. – М. : Аргус, 1997. – 80 с. – ISBN 5-85549-163-3.
10. Фёдорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Фёдорова, А. Н. Никольская. – М. : Гумманит, ВЛАДОС, 2001. – 288 с. – ISBN 5-691-00309-7.
11. Маннинг, У. Дж. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Дж. Маннинг, У. А. Федер. – М. : Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
12. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберга. – М. : Мир, 1988. – 348 с.

*Учебно-практическое издание*

**Псарев Александр Михайлович**

**Руководство к учебной практике по экологии:  
биоиндикация**

*Методические указания*

Сдано в набор \_\_\_\_\_ г. Подписано к печати \_\_\_\_\_ г.  
Формат 60х90х16. Гарнитура Times. Бумага офсетная. Печать оперативная.  
Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Тираж 300 экз.

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет  
им. В. М. Шукшина –  
659333, г. Бийск, ул. Короленко, 53.  
ООО «Издательский Дом "Бия"»  
659333, Алтайский край г.Бийск, пер. Муровцевский, 2