

**Н.Л. Измайлова
О.А. Ляшенко
И.В. Антонов**

БИОТЕСТИРОВАНИЕ И БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам
по прохождению учебной (ознакомительной)
практики**

**Санкт-Петербург
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»**

Н.Л. Измайлова, О.А. Ляшенко, И.В. Антонов

Биотестирование и биоиндикация состояния водных объектов

**Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам
по прохождению учебной (ознакомительной) практики**

**Санкт-Петербург
2014**

УДК 628 (075)
И 370
ББК 38.93я7

Измайлова Н.Л., Ляшенко О.А., Антонов И.В. Биотестирование и биоиндикация состояния водных объектов: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по прохождению учебной (ознакомительной) практики/ СПбГТУРП. - СПб., 2014. – 52 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание процедуры определения токсичности проб вод по хемотаксической реакции инфузорий, знакомит с гидробиологическими индексами, применяемыми для оценки степени загрязнения водного объекта.

Предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» для подготовки по профилю «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», а также для слушателей в системе дополнительного профессионального образования.

Рецензенты:

Шишкин А.И., кандидат технических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПб ГТУРП.

Рижинашвили А.Л., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и оценки воздействия на водные биоресурсы ФГБНУ "ГосНИОРХ".

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПбГТУРП (протокол № 7 от 15 мая 2014 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией инженерно-экологического факультета СПбГТУРП (протокол № 1 от 26.09.2014 г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом в качестве учебно-методического пособия.

© Измайлова Н.Л., Ляшенко О.А.,
Антонов И.В., 2014

© Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных
полимеров, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Биотестирование проб воды на основании хемотаксической реакции инфузорий.....	4
1.1. Методика отбора проб для проведения биотестирования.....	5
1.2. Подготовка к выполнению измерений.....	8
1.3. Проведение анализа.....	10
1.4. Работа с биотестером.....	11
1.5. Обработка и оформление результатов	12
2. Оценка качества среды обитания гидробионтов методами биоиндикации.....	13
2.1. Система сапробности.....	13
2.2. Метод крупных таксонов.....	15
2.2.1 Олигохетные индексы	15
2.2.2. Биотический индекс Вудивисса.....	17
3. Отбор и обработка проб бентоса	18
4. Водные беспозвоночные животные, используемые в целях биоиндикации и в качестве тест-объектов при биотестировании.....	19
Библиографический список.....	38
Приложения	
Приложение 1. Каталог-определитель водных беспозвоночных животных...	39
Приложение 2. Общие правила по охране труда и технике безопасности при работе в лаборатории при проведении биотестирования.....	51

Введение

Изучение последствий антропогенного воздействия на окружающую среду невозможно без применения методов биологической индикации, которая дает прямую информацию о реакции организмов на стрессовые факторы.

Биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ, что в полной мере относится ко всем видам антропогенных загрязнений. Применение биологических методов для оценки качества среды подразумевает выделение видов животных или растений, чутко реагирующих на тот или иной тип воздействия. Существует два основных метода биоиндикации: пассивный и активный.

Пассивная биоиндикация – исследование у свободноживущих организмов или их сообществ повреждений и отклонений от нормы, являющихся признаками неблагоприятного воздействия.

Активная индикация, или биотестирование – исследование последствий неблагоприятных воздействий в стандартных условиях на наиболее чувствительных к данному фактору организмах - тест-организмах.

Методы биоиндикации и биотестирования позволяют определить присутствие загрязняющего вещества (веществ) или другого стрессового фактора по наличию или состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки, и осуществить оценку их воздействия на окружающую среду.

1. Биотестирование проб воды на основании хемотаксической реакции инфузорий

Для оперативного контроля острой токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод применяется методика биотестирования с использованием в качестве тест-объекта инфузорий *Paramecium caudatum* (в дальнейшем инфузории), основанная на их поведенческой реакции (хемотаксисе). Количественные показатели хемотаксической реакции инфузорий определяются с помощью приборов серии «Биотестер».

Метод определения токсичности вод основан на способности тест-объектов реагировать на присутствие в водной среде веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций этих веществ, избегая их вредного воздействия.

Хемотаксическая реакция реализуется при условии наличия стабильного во времени градиента концентраций химических веществ. Подобный градиент создается путем наложения в вертикальной кювете на взвесь

инфузорий в загустителе испытуемой жидкости. При этом в измерительной кювете образуется стабильная граница раздела, сохраняемая в течение всего времени биотестирования. Эта граница не препятствует свободному перемещению инфузорий в предпочтительном для них направлении и при этом предотвращает перемешивание жидкостей из нижней и верхней зон. После создания в кювете двух зон в течение 30 мин происходит перераспределение инфузорий по зонам. Важная особенность поведенческой реакции инфузорий — массовое перемещение организмов в верхние слои жидкости. В случае, если исследуемая проба не содержит токсических веществ, в кювете будет наблюдаться концентрирование клеток инфузорий в верхней зоне. Наличие в анализируемой пробе токсических веществ приводит к иному характеру перераспределения инфузорий в кювете, а именно: чем выше токсичность пробы, тем меньшая доля инфузорий перемещается в верхнюю зону кюветы.

Критерием токсического действия является значимое различие в числе клеток инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы в пробе, не содержащей токсических веществ (контрольная проба), по сравнению с этим показателем, наблюдаемым в анализируемой пробе.

Количественная оценка параметра тест-реакции, характеризующего токсическое действие, производится путем расчета соотношения числа клеток инфузорий, наблюдаемых в контрольной и анализируемой пробах, и выражается в виде безразмерной величины — индекса токсичности (Т).

1.1. Методика отбора проб для проведения биотестирования

Для отбора проб и выполнения биотестирования необходимо подготовить посуду, пробоотборники, места хранения отобранных проб, а также рабочее место для обработки доставленных в лабораторию проб и исследования их на токсичность. Все процедуры предварительной подготовки должны исключить попадание токсичных, органических и каких-либо других веществ в исследуемую воду.

Обычно используется посуда из стекла, а при наличии в воде нефтепродуктов, моющих средств и пестицидов используются банки из темного стекла.

Посуда для отбора проб и биотестирования должна быть чистой. Она промывается смесью бихромата калия и серной кислоты (хромовой смесью). Стенки посуды осторожно смачиваются хромовой смесью, после чего на 2-3 ч посуда оставляется, затем она тщательно промывается водопроводной водой, нейтрализуется раствором пищевой соды и промывается 3 - 4 раза дистиллированной водой. Для мытья посуды не разрешается пользоваться синтетическими поверхностно-активными веществами и органическими растворителями. Посуду для отбора проб сушат на воздухе, а используемую для биотестирования - в сушильном шкафу при 105 °С в течение 1 ч.

Посуда для биотестирования должна храниться с закрытыми стеклянными притертыми пробками или закручивающимися крышками в

защищенных от пыли ящиках лабораторного стола или на закрытых полках, стеллажах и т.п.

Объем пробы воды для определения острого токсического действия составляет 10 мл. Отбор проб, транспортировка и хранение грунтовых вод осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 51592 - 2000 "Общие требования к отбору проб". Отбор проб в поверхностных проточных и непроточных водоемах осуществляется в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 "Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков". Отбор проб питьевых вод осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 51593-2000 "Вода питьевая. Отбор проб".

Пробы питьевой воды в источнике водоснабжения и сточной воды с глубины менее 0,5 м отбираются пробоотборником любого типа объемом 10 - 50 мл.

Водопроводную воду отбирают из-под крана после 5-минутного слива, кран антисептической обработке не подвергается.

Отбор сточных вод осуществляется в соответствии с требованиями НВН 33-5.3.01-85 "Инструкция по отбору проб для анализа сточных вод". Отбор природных и сточных вод следует проводить в местах наибольшего перемешивания. Сточные воды отбираются на средней глубине потока, где твердые частицы распределены равномерно.

При исследовании сточных вод на токсичность не допускается отбор разовой пробы. Количество необходимых порций выбирают на основе опыта проведения анализа. Предпочтительно отбирать среднесуточную пробу каждый час в течение 24 ч, после тщательного перемешивания всего объема отобранной пробы для исследования берется необходимое количество воды.

Допустимое минимальное количество отбираемых единичных проб для последующего смешения - три, с интервалом между отборами не менее часа.

Не допускается консервирование проб, предназначенных для исследования на токсичность.

При отборе пробы составляется протокол, в котором указываются цель пробоотбора, дата, время, место отбора пробы, температура воды, номер пробы, Ф.И.О. отбравшего. На бутылку или флакон наклеивается этикетка с указанием номера пробы, места и даты отбора.

Биотестирование проб воды проводят не позднее 6 ч после их отбора. При невозможности проведения анализа в указанный срок пробы воды охлаждают (+2...+4 °С). Хранить пробы следует не более 24 ч после отбора. В исключительных случаях допускается замораживание проб (-18 °С) и их хранение до двух недель, однако следует помнить, что после размораживания токсичность воды может измениться. В случае предполагаемого замораживания пробы при ее оттаивании не следует заполнять сосуды полностью, чтобы избежать их разрыва. Если пробы требуется оттаивать или фильтровать, то фильтрация и оттаивание должны предшествовать замораживанию.

Перед биотестированием предварительно охлажденные или замороженные пробы доводят до температуры приблизительно 20 °С. При наличии в сточных водах крупнодисперсных включений (с диаметром частиц более 3,5 мкм) необходима фильтрация пробы через пористые обеззоленные фильтры («белая» или «красная» лента).

Природные воды фильтруют через фильтр с диаметром пор 3,5 мкм. Проба воды, подлежащая биотестированию, должна иметь рН 6,0 ч 8,0, если рН пробы выходит за указанные пределы, подкисление осуществляют 10 %-м раствором HCl, подщелачивание – 10%-м раствором NaOH. При исследовании грунтовых или других вод с повышенным содержанием двухвалентного железа необходимо предварительное отстаивание проб не менее 24 ч при температуре +2...+4 °С. Образцы атмосферных осадков в виде снега и воды в форме льда перед анализом нагреваются до комнатной температуры.

Для проведения биотестирования необходимы следующие реактивы и материалы:

- Дистиллированная вода;
- Натрий хлористый (NaCl);
- Калий хлористый (KCl);
- Кальций хлористый двуводный ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- Магний сернокислый (MgSO_4);
- Натрий углекислый кислый (NaHCO_3);
- Медь сернокислая пятиводная ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$);
- Поливиниловый спирт ПВС (порошок) – марка 11/2, высший сорт;
- Фильтры бумажные обеззоленные («белая» лента);
- Дрожжи хлебопекарные (в брикетах).

Все используемые реактивы должны быть квалификации х.ч. или ч.д.а.

Необходимые посуда и оборудование:

- Колбы мерные на 100 мл;
- Банка стеклянная с закручивающейся крышкой (с делениями);
- Пипетки (пластмассовые) на 1 мл;
- Микроскоп бинокулярный марки МБС-9 или лупа;
- Весы лабораторные общего назначения;
- Прибор серии БИОТЕСТЕР - специализированный импульсный фотометр с набором фотометрических кювет;
- Водяная баня;
- Термометр для измерения температуры воды.

1.2. Подготовка к выполнению измерений

Условия культивирования (хранения) инфузорий

Взвесь инфузорий хранят при комнатной температуре, при обычной освещённости, в стеклянных мерных колбах (бутылках) с закручивающимися пластмассовыми крышками. В крышках делают несколько отверстий для обеспечения инфузорий кислородом.

Кормят инфузорий сухими хлебопекарными дрожжами с периодичностью 7-10 дней, для этого 40 мг дрожжей помещают в стеклянную мерную колбу с 60 мл взвеси инфузорий, находящихся в среде Лозина-Лозинского (Л-Л).

Необходимо устраивать перерыв в кормлении - 1 раз в полгода на 14 дней.

Через 7-10 дней после питания, перед следующим кормлением, взвесь инфузорий отмывают от продуктов метаболизма и корма.

Процедура отмывания:

Содержимое стеклянной банки (60 мл) переливают в колбу на 100 мл. Доводят до верха колбы средой Л-Л. Через 20-40 мин (наблюдают визуально) инфузории всплывают в верхнюю часть колбы.

После всплытия инфузорий сливают верхнюю часть содержимого колбы в колбу на 100 мл и далее доверху доводят средой Л – Л. Затем снова ждут всплытия инфузорий 20-40 мин. Отмывание производят 2-3 раза. После отмывания среда не должна содержать остатки плавающих дрожжей (определяют визуально) и должна быть прозрачной.

Далее взвесь инфузорий используют для биотестирования или снова кормят и оставляют на 7-10 дней. На банку со взвесью инфузорий ставят дату кормления.

Для проведения биотестирования инфузории должны быть покормлены. Проведение анализа проводят через 4 дня после кормления и отмывки.

Часть взвеси с инфузориями (резерв) необходимо хранить в холодильнике. При низкой температуре инфузории можно не кормить 14 дней.

Приготовление среды для культивирования и разбавления

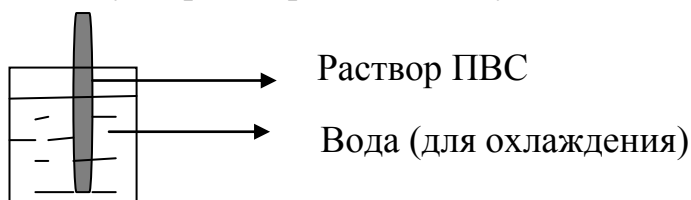
Для приготовления рабочего раствора Лозина – Лозинского (Л – Л) растворяют следующие соли:

✓ 100 мг NaCl	}	на 1000 мл дистиллированной воды
✓ 10 мг KCl		
✓ 10 мг MgSO ₄		
✓ 10 мг CaCl ₂ ·2H ₂ O		
✓ 20 мг NaHCO ₃		

Раствор Л–Л не хранится, используется сразу после приготовления.

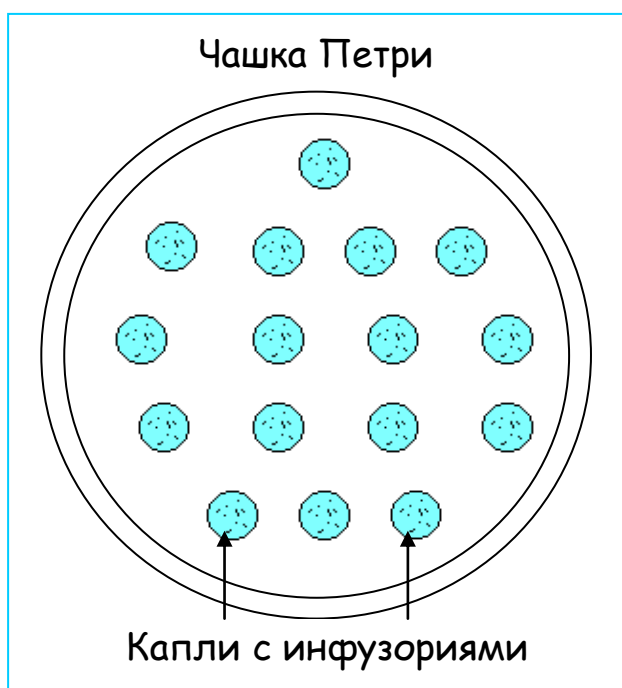
Приготовление раствора поливинилового спирта 5%-го (ПВС)

Для приготовления раствора ПВС 0,5 г порошка ПВС смешивают с 9,5 см³ среды Л – Л. Смесь нагревают на водяной бане до растворения порошка. Используют раствор в течение суток.



Приготовление взвеси клеток инфузорий (рабочий раствор) с концентрацией 1000 ± 500 клеток/см³

Для приготовления рабочего раствора инфузорий взвесь инфузорий через 4 дня со дня последнего кормления отмывают от продуктов метаболизма и корма. Далее производят подсчёт клеток в растворе взвеси инфузорий. Для этого в колбу на 50 мл помещают 10 мл среды Л – Л. На лабораторных весах взвешивают 100 мг NaCl и переносят в колбу. Содержимое тщательно перемешивают. Далее отбирают 1 мл смеси и вместо него добавляют 1 мл рабочей взвеси инфузорий. Содержимое перемешивают. Отбирают 1 мл и переносят его в чашку Петри. Для этого пипеткой на 1 мл капают (отдельными каплями, чтобы они не сливались) в чашку Петри, как показано на рисунке.



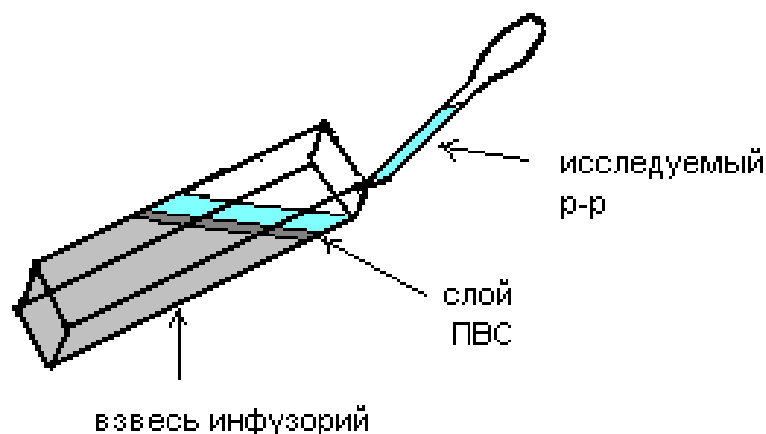
С помощью микроскопа МБС-9 или лупы считают в каждой капле количество инфузорий. После подсчета инфузорий результат умножают на разведение (*10).

1.3.Проведение анализа

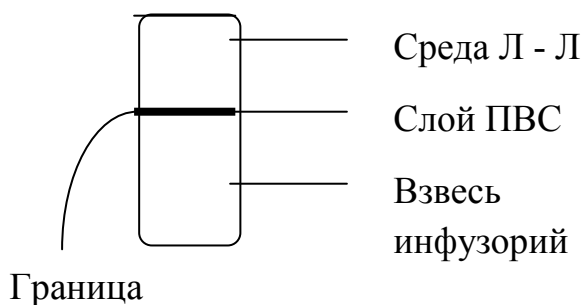
Для проведения анализа одновременно готовят контрольные и анализируемые пробы в количестве трёх штук.

Проведение наслаивания контрольной пробы

- 1.В кювету вносят 2,0 мл взвеси инфузорий рабочей концентрации.
- 2.Добавляют 0,4 мл 5%-го раствора ПВС.
- 3.Перемешивают (закрыв пальцем отверстие кюветы, осторожно переворачивая ее).
4. В кювету вносят 1,6 мл среды Л – Л (пипеткой медленно по каплям). При этом стенки кюветы должны быть увлажнены (после перемешивания). Кончик пипетки касается верхней части кюветы (не касаясь слоя жидкости). При этом жидкость с пипетки должна медленно стекать по стеклу кюветы. Кювету необходимо держать в наклонном положении, пока не введён нужный объём среды Л – Л.



После наслаивания должна быть видна чёткая граница. Если граница не видна, процедуру наслаивания необходимо повторить.

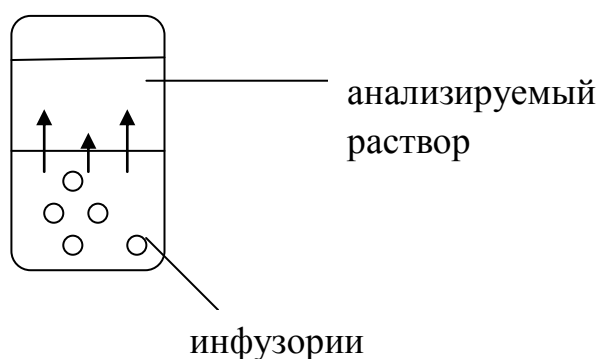


Проведение наслаивания анализируемой пробы

Анализируемая проба готовится аналогично контрольной, но вместо среды Л – Л добавляется (наслаивается) анализируемая жидкость.

Через 30 мин (продолжительность тест-реакции) последовательно производится определение концентрации инфузорий в верхней зоне кюветы в контрольных и анализируемых пробах (30 мин - это время, за которое инфузории перемещаются в верхнюю часть кюветы). Чем меньше концентрация инфузорий в верхней части кюветы, тем больше токсичность данной анализируемой жидкости.

По истечении заданного времени (30 мин) кюветы последовательно помещают в БИОТЕСТЕР.



1.4.Работа с биотестером

Прибор «Биотестер – 2м» предназначен для определения концентрации взвеси подвижных микроорганизмов при их перераспределении в объеме пробы в процессе их развития или гибели.



Внешний вид прибора «БИОТЕСТЕР -2м»

Принцип действия прибора состоит в определении изменения коэффициента пропускания, обусловленного перемещением микроорганизмов во взвеси.

Порядок работы

Прибор включить в сеть кнопкой «СЕТЬ», при этом должен загореться индикатор на лицевой панели. Необходимо прогреть прибор во включенном состоянии в течение 15 мин.

Поставить заполненную кювету в кюветный модуль, закрыть крышку, выбрать режим работы с помощью кнопочного переключателя (x1) и нажать кнопку «ПУСК». Индикация на табло ЦОУ гаснет, разряд «N» (номер измерения) обнуляется, в течении 2-5 с производится подготовка к измерению, после чего загорается индикатор «ОТСЧЕТ». Через 14 с он завершается, и начинается непосредственно цикл измерения. Через 20 с он завершается, о чем сигнализирует звуковой сигнал, разряд «N» (номер измерения) увеличивается на 1, и на табло ЦОУ выводится результат измерения (значение концентрации в условных единицах). Выдача отсчета сопровождается световым и звуковым сигналами. Затем автоматически запускается следующий цикл измерения.

ЗАПОМНИТЕ: во время работы прибора в режиме измерения кнопка «Тест» должна находиться в **НЕ нажатом** состоянии.

Для каждой пробы записывают 6 показаний прибора. Рассчитывают среднее значение из 3 кювет (контрольных и анализируемых). По усредненным результатам рассчитывают индекс токсичности.

1.5.Обработка и оформление результатов

1. Оценку токсичности пробы производят по относительной разнице количества клеток, наблюдаемых в зоне измерения контрольных и анализируемых проб.

Индекс токсичности определяется по формуле:

$$T = \frac{I_{ср.к} - I_{ср.а}}{I_{ср.к}}, \quad (1.1)$$

где $I_{ср.к}$, $I_{ср.а}$ – средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб, соответственно.

T – индекс токсичности – величина безразмерная и может принимать значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы.

Анализируемые пробы классифицируются по степени их токсичности на 4 группы:

- I. Проба нетоксична ($T=0,00$);
- II. Допустимая степень токсичности ($0,00 < T < 0,40$);
- III. Умеренная степень токсичности ($0,41 < T < 0,70$);
- IV. Высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

2. В случае очень токсичных проб, когда T принимает значение 1 (т.е. когда в верхней зоне кюветы с анализируемой пробой подвижные инфузории не обнаруживаются), индекс токсичности не может однозначно характеризовать истинный уровень токсичности пробы. Пробу следует разбавить до такой степени, чтобы значение индекса токсичности не достигало 1, и полученное значение T умножить на коэффициент разбавления.

3. Некоторые пробы могут содержать безопасные, но привлекательные для инфузорий вещества. В таких случаях $I_{\text{ср.а}}$ может даже несколько превышать $I_{\text{ср.к}}$. Полученные при формальном расчете отрицательные значения индекса токсичности T свидетельствуют об отсутствии токсичности и могут быть оценены как нулевые.

2. Оценка качества среды обитания гидробионтов методами биоиндикации

2.1. Система сапробности

Под сапробностью понимают способность организмов жить при большом содержании органических веществ в среде. Сапробность является функцией потребностей организма в органических веществах и устойчивости к возникающим при разложении органических соединений ядовитым веществам: H_2S , NH_3 , органическим кислотам. При нарастании органического загрязнения водоема в толще воды и, особенно, на дне параллельно возрастает содержание мертвого органического вещества (как правило, легко разлагаемого) и понижается содержание кислорода (именно из-за гниения органики); т.е. изменяется баланс содержания органических веществ и растворённого кислорода. Сапробность и есть мера этого баланса. Повышение сапробности угнетает одни организмы (из-за недостатка кислорода), но благоприятно для других (требовательных к большому количеству пищи), т.е. вызывает смену состава водных сообществ.

В природе, даже при отсутствии антропогенного воздействия, водные объекты имеют разный естественный уровень сапробности, и их обитатели также приспособлены к разным условиям. Так, горные и северные озера, горные реки и ручьи несут очень мало органических веществ и всегда

насыщены кислородом – олигосапробны. Большинство равнинных рек и озер характеризуются умеренным содержанием органического вещества (мезосапробны). Наконец, многие мелкие стоячие водоемы (в частности, пруды и болота), особенно в теплых и засушливых районах, перенасыщены разлагающейся органикой и почти лишены растворенного кислорода (полисапробны). Соответственно, организмы, обитающие в этих зонах, называются олиго-, мезо- и полисапробами. Было замечено также, что полисапробные организмы обычно лучше переносят химические загрязнения, а также повышенную температуру и минерализацию воды. Фактически, в ряду олигосапробы – мезосапробы – полисапробы возрастают не только специфическая стойкость к повышенному содержанию органических веществ и сопровождающему его дефициту кислорода, но и эврибионтность. Это дает возможность применять сапробность в том числе для ориентировочной оценки промышленных загрязнений водоемов.

Строгого соответствия между сапробностью и гидрохимическими показателями воды нет, химические градации сапробности характеризуются следующим образом.

Олигосапробная зона – чистые воды, насыщены кислородом; углекислоты в воде мало, сероводорода нет. Соединения азота – преимущественно в форме нитратов.

β-мезосапробная зона – соединения азота в форме солей аммония, нитритов и нитратов; кислорода обычно много, но возможны заморы у дна и ночью из-за прекращения фотосинтеза, сероводород иногда в небольшом количестве, характер биохимических процессов окислительный.

α-мезосапробная зона – присутствуют аминокислоты, условия среды полуанаэробные, характер биохимических процессов восстановительно-окислительный; присутствует сероводород.

Полисапробная зона – в воде разлагающиеся белки, условия среды анаэробные, характер биохимических процессов восстановительный, в воде много сероводорода.

В системе Роскомгидромета для оценки сапробности воды рекомендуется применять метод индикаторных организмов Пантле и Букка в модификации Сладечека. Данный метод учитывает относительную частоту встречаемости (обилие) гидробионтов h и их индикаторную значимость s (сапробную валентность). Индикаторную значимость s и зону сапробности определяют для каждого вида по спискам сапробных организмов.

Обе величины (h и s) входят в формулу для вычисления индекса сапробности:

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h},$$

Таким образом, сам индекс – это среднее значение сапробности всех найденных видов, с учетом их обилия. Индекс сапробности указывают с

точностью до 0,01. Для ксеносапробной зоны он находится в пределах 0–0,50 – очень чистые; олигосапробной – 0,51-1,50 – чистые; бета-мезосапробной – 1,51-2,50 – умеренно-загрязненные; альфа-мезосапробной – 2,51-3,50 – тяжело загрязненные; полисапробной – 3,51-4,00 – очень загрязненные.

2.2. Метод крупных таксонов

Метод крупных таксонов широко применяется на практике гидробиологического мониторинга благодаря простоте вычислений, отсутствию трудоемких таксономических определений. Теоретическим обоснованием и условием универсальности метода является повсеместное распространение используемых таксонов в водоемах разных типов с разным уровнем загрязнения.

На практике часто применяются методы, в основе которых лежит сравнение количественных характеристик крупных таксонов макробентоса – малощетинковых червей (целый ряд олигохетных индексов), личинок комаров-звонцов (хируномидный индекс Балушкиной). В отдельную группу выделяют методы, основанные на определении соотношения количеств видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению. Таковы, например, биотические индексы, самый известный из которых - индекс Вудивисса.

Наиболее показательны для оценки загрязнения водоема бентос и перифитон как сообщества прикрепленных или перемещающихся на незначительные расстояния организмов, наилучшим образом отражающих качество воды в месте их обитания. В состав бентоса входят все формы растений и животных, которые своей жизнью тесно связаны с дном водоема. Организмы обрастаний (перифитон) прикрепляются к водным растениям, камням, днищам судов, железным и бетонным арматурам мостов.

2.2.1. Олигохетные индексы

Индекс Гуднайта-Уотля равен отношению (в процентах), численности малощетинковых червей (олигохет) к численности всего макробентоса. Считается, что доля олигохет тем больше, чем сильнее загрязнены вода и дно органическими веществами. Индекс удовлетворительно работает лишь на мягких грунтах (илах и песках), где могут жить олигохеты, и чувствителен к типу грунта.

Олигохетные индексы Пареле.

Первый рассчитывается как отношение численности олигохет к общей численности организмов макробентоса в пробе:

$$D_1 = N_o / N_b, \quad (2.1)$$

где N_o – численность олигохет;

N_b – численность бентоса.

Затем по рассчитанному значению D_1 согласно табл. 2.1 определяется класс качества воды и зона самоочищения.

Таблица 2.1

Класс качества и зоны самоочищения

Класс качества воды	1	2		3	4	5	6
Зоны самоочищения	Ксеноса-пробная	Бета- Альфа-олигосапробная		Бета- Альфа-мезосапробная		Полисапробная	
Значение индекса D ₁	0	1-20	21-35	36-50	51-65	66-85	>85

Класс качества и характеристика воды:

1. Очень чистая.
2. Чистая.
3. Умеренно грязная.
4. Загрязненная.
5. Грязная.
6. Очень грязная

В группе олигохет (малощетинковых червей) выделяют отдельное семейство – тубифициды, представители которого наиболее устойчивы к органическому загрязнению, поэтому второй индекс рассчитывается как отношение численности олигохет семейства Tubificidae к численности всех олигохет:

$$D_2 = N_T / N_o, \quad (2.2)$$

где N_T – плотность поселений тубифицид.

Затем по рассчитанному значению D_2 , согласно табл. 2.2, определяются класс качества воды и зоны самоочищения.

Таблица 2.2

Класс качества и характеристика воды

Класс качества	Степень	Индекс D_2
1	Очень чистая	0,01-0,16
2	Чистая	0,17-0,33
3	Умеренно грязная	0,34-0,50
4	Загрязненная	0,51-0,67
5	Грязная	0,68-0,84
6	Очень грязная	0,85-1,00

Коэффициент D_1 предложен для оценки качества воды в быстро

текущих реках с хорошей аэрацией, где развивается разнообразная донная фауна; коэффициент D_2 рекомендован для медленно текущих рек с неудовлетворительным кислородным режимом, где донная фауна однообразна и состоит почти полностью из олигохет.

2.2.2. Биотический индекс Вудивисса

Используется для определения качества воды в водотоках по структурным характеристикам зообентоса (донных организмов). Индекс учитывает общее разнообразие населяющих водоем донных беспозвоночных и наличие в нем организмов, принадлежащих к индикаторным группам. Он основан на том, что по мере увеличения интенсивности загрязнения сначала из состава донной фауны выпадают наиболее чувствительные группы животных – веснянки, поденки, затем ручейники и т.д. В конце концов, остаются только олигохеты и личинки красного мотыля, исчезающие только при очень сильном загрязнении.

Возможные степени загрязнения разбиты на 10 классов, которые определяются при помощи специальной таблицы по наличию или отсутствию отдельных видов гидробионтов (так называемых групп Вудивисса) с учетом общего количества таких групп на изучаемом участке.

Выясняют, какие индикаторные группы есть в водоеме. К индикаторным относятся: личинки веснянок, поденок, ручейников, рачки бокоплав, равноногие раки (в частности, водяные ослики), трубочники, личинки хирономид.

Оценивают общее разнообразие донных беспозвоночных, подсчитывают число групп. Выделяют следующие группы:

- I. Любой вид плоских червей.
- II. Класс малощетинковых червей (кроме рода *Nais*).
- III. Род *Nais*.
- IV. Любой вид моллюсков, пиявок, ракообразных, водных клещей.
- V. Любой вид веснянок, перепончатокрылых жуков.
- VI. Любой вид поденок, кроме *Baetis rhodani*.
- VII. Поденки вида *Baetis rhodani*.
- VIII. Любое семейство ручейников.
- IX. Семейство комаров звонцов, кроме видов рода *Chironomus sp.*
- X. *Chironomus sp.*
- XI. Личинки мошек (*Simuliidae*).
- XII. Каждый известный вид личинок других летающих насекомых.

Значение индекса находят по табл. 2.3 на пересечении столбца, включающего подсчитанное количество групп, и строки, содержащей первую из отмеченных в пробе индикаторных групп, начиная сверху. По табл. 2.4 определяют степень загрязнения водоема.

Таблица 2.3

Определительная таблица расчета индекса Вудивисса

Индикаторные группы		Общее количество групп									
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	>40
Plecoptera Личинки веснянок	> 1 вида 1 вид	- -	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11	13 12	14 13	15 14
Ephemeroptera Личинки поденок	> 1 вида 1 вид	- -	6 5	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11	13 12	14 13
Trichoptera Личинки ручейников	> 1 вида 1 вид	- 4	5 4	6 5	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11	13 12
Gammarus Бокоплавы		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Isopoda Равноногие раки		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Только трубочник (Tubifex) или личинки комаров (Chironomidae)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Все данные группы отсутствуют		0	1	2	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.4

Класс качества и характеристика воды

Класс качества	Степень загрязнения	Биотический индекс
1	Очень чистая	10
2	Чистая	8-9
3	Умеренно грязная	6-7
4	Загрязненная	5
5	Грязная	3-4
6	Очень грязная	0-2

3. Отбор и обработка проб бентоса

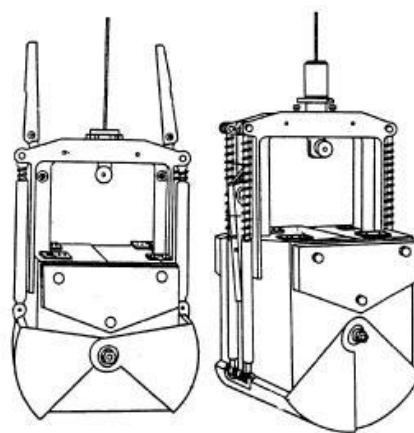
1. Используя карту или схему реки, выбирают места отборов проб (станции). Для оценки состояния экосистемы реки станции отбора проб должны закладываться в одинаковых биотопах с учетом характера грунта (каменистый, песчаный, глинистый и т.д.).

2. В намеченных станциях при помощи гидробиологического сачка или дночерпателя Экмана-Берджа отбирают пробы зообентоса. Для более точной оценки качества воды на каждой станции отбираются несколько проб. Затем в течение 15-20 мин на каждой станции осуществляется дополнительный

сбор всех бентосных животных, которые попадут в поле зрения исследователей.



Гидробиологический сачок



Дночерпатель Экмана-Берджа в раскрытом и закрытом виде

3. Проба отжимается и переносится в пластиковый контейнер.
4. Проба транспортируется до места (лаборатории), где производится разбор организмов.
5. Содержимое контейнера порционно переносится в поддон и при необходимости заливается водой для упрощения работы.
6. Обнаруженные организмы переносятся в чашку Петри при помощи игл и пинцетов.
7. В связи с тем, что одни организмы могут поедать других, в чашку Петри добавляют формалин, что позволяет зафиксировать организмы.
8. Определяется видовой состав зообентоса (см. Приложение 1).
9. Производится расчет гидробиологических индексов.
10. В соответствии с определенным классом качества воды, дается характеристика степени загрязнения исследуемого водного объекта.

4. Водные беспозвоночные животные, используемые в целях биоиндикации и в качестве тест-объектов при биотестировании

Тип Простейшие (Protozoa)

Инфузория туфелька (*Paramecium caudatum*) широко распространена в пресных водоемах, представляет собой одноклеточный организм (рис. 1).

Имеет постоянную эллипсоидную форму благодаря наличию тонкой эластичной оболочки. На поверхности клетки, в основном продольными рядами расположены реснички, число которых — от 10 до 15 тыс. Имеет два ядра-полиплоидный макронуклеус и диплоидный микронуклеус, специальные органеллы для осуществления пищеварения и других функций. Туфелька дышит всей поверхностью клетки. У одного из концов туфельки расположен рот, ведущий в глотку, куда пища направляется с помощью ресничек, расположенных вокруг рта. Переваривание пищи происходит в

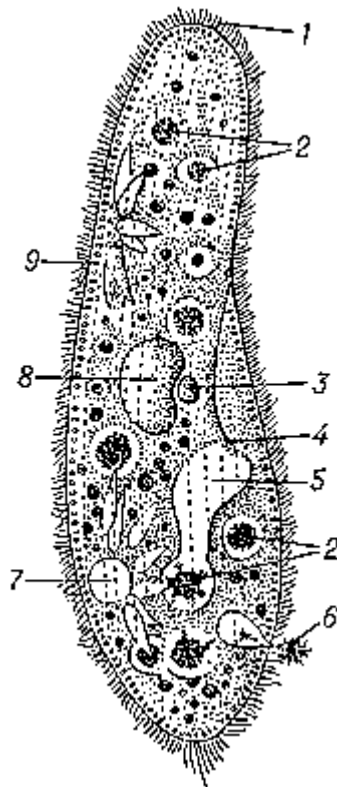


Рис. 1. Инфузория - туфелька (*Paramecium caudatum*): 1 — реснички; 2 — пищеварительные вакуоли; 3 — микронуклеус; 4 — ротовое отверстие; 5 — глотка; 6 — содержимое анальной вакуоли; 7 — резервуар сократительной вакуоли; 8 — макронуклеус; 9 — трихоцисты

пищеварительных вакуолях, а непереваренные остатки выбрасываются через порошицу (анальную пору), содержимое сократительных вакуолей изливается через выделительные поры. Длина — около 200 мкм, ширина — около 40 мкм.

Инфузория находится в непрерывном движении, скорость которого при комнатной температуре — 2,0-2,5 мм/с. Траектория движения сложная: она движется вперед, вращаясь вдоль продольной оси тела с помощью ресничек. Изменения внешних условий (температура, химический состав среды и другие факторы) воспринимаются клеткой, и первая ответная реакция — изменение характера движения: уменьшение или увеличение скорости, частоты остановок и разворотов, разнообразные таксисы, например, гео-, магнито-, аэро-, хемотаксис. Основную пищу инфузории составляют бактерии и дрожжи.

Размножаются инфузории бесполым (поперечное деление) и половым путём (конъюгация, при которой микроорганизмы сливаются попарно и обмениваются наследственным материалом). При хорошем питании парамеции делятся 2-3 раза в сутки.

Универсальная реакция *Paramecium caudatum* на всякое внешнее раздражение – двигательная активность, которая чаще всего проявляется в изменении направления движения. Инфузория реагирует на прикосновение, высокие концентрации в среде различных химических веществ, содержание кислорода и углекислого газа, изменение интенсивности освещения. Если перед инфузорией неожиданно возникает препятствие или она попадает в зону неблагоприятных воздействий, работа ресничек моментально прекращается и возобновляется в противоположном направлении.

Тип Плоские черви (Plathelminthes)

Класс Турбеллярии (Turbellaria)

Среди разнообразных групп плоских червей (Plathelminthes) только турбеллярии, или ресничные черви (Turbellaria), представлены в основном свободноживущими формами. В водоёмах РФ часто встречается молочно-белая планария (*Dendrocoelum lacteum*), самая крупная среди других (до 3 см), с совершенно белым телом, сквозь которое ясно просвечивает темный ветвистый кишечник. На голове можно различить пару глаз. В стоячих водоемах встречается гораздо более мелкая бурая планария (*Planaria torva*) бурой окраски с закругленным головным концом, на котором также имеются два глаза. Часто встречается черная планария (*Polycelis nigra*) с закругленным головным концом, по краю которого находится ряд глаз. В текучих водах живет траурная планария (*Planaria lugubris*), также темного цвета, но отличающаяся своим характерным головным концом, который имеет вид тупого треугольника.

Тело планарий - уплощенное в спинно-брюшном направлении. Это значительно облегчает поступление в организм (путем диффузии) воды и растворенных в ней солей и других веществ. Передняя часть тела планарий, на которой расположены глаза, расширена по сравнению с задней, заостренной, близ которой находится ротовое отверстие. Пищеварительная система состоит из передней и средней кишок. Анальное отверстие отсутствует, а переваренные частицы пищи выбрасываются наружу через ротовое отверстие. Все планарии — гермафродиты.

Планарии - хищники. Они наиболее активны ночью, а днем прячутся под камнями или находят другие укрытия. Основными объектами питания планарий являются мелкие ракообразные, черви и другие организмы, которые по своим размерам могут значительно превосходить планарий.

Тип Кольчатые черви (Annelida)

Класс Олигохеты (Oligochaeta), или малощетинковые черви – бентосные организмы, обитают в основном в пресноводных водоемах и в почвах. Они предпочитают мелководные зоны с достаточным уровнем насыщения воды кислородом, но встречаются и формы, которые могут жить на

значительных глубинах, где преобладают анаэробные условия. Большинство водных олигохет имеет размеры от нескольких миллиметров до 10 — 15 см.

На переднем конце тела находится головная, или предротовая, лопасть. У некоторых водных видов она бывает вытянута в более или менее длинный щупальцевидный придаток («хоботок»), у немногих — почти исчезла, у большинства же представляет небольшой округленный выступ впереди рта. Далее следует первый, или ротовой, сегмент, никогда не несущий щетинок, на его нижней передней стороне находится рот. Все остальные сегменты, начиная со второго, как правило, снабжены четырьмя пучками щетинок каждый: двумя спинными (справа и слева) и двумя брюшными. У некоторых видов спинные пучки начинаются не вместе с брюшными, со второго сегмента, а несколько отступя от переднего конца тела — с четвертого, пятого, шестого и даже двадцатого сегмента. Как исключение, имеются виды лишь с брюшными щетинками и даже вовсе без них.

Олигохеты - гермафродиты, могут размножаться также бесполом способом. В этом случае их тело делится на две части или больше, из которых образуются вполне сформировавшиеся особи. Разнообразие способов размножения, а также высокая способность олигохет к регенерации способствуют массовому развитию этих организмов в водоемах разного типа.

Олигохеты играют важную роль как компоненты естественной кормовой базы рыб. С их деятельностью связано формирование донных отложений. Пропуская через свой кишечник детрит, остатки растительной биомассы, олигохеты существенным образом влияют на физико-химические свойства донных грунтов. Кроме того, роясь в иле, олигохеты способствуют процессам обмена воды и неорганических веществ между его поверхностными и более глубокими слоями.

Семейство Наидиды, или Водяные змейки (Naididae), включает очень мелкие, длиной всего в 1-2 мм организмы, но большинство из них крупнее, 10—20 мм, и хорошо заметны простым глазом, а самые крупные достигают длины 35—50 мм. Сегментация выражена хорошо, число сегментов в пределах от 10—15 до 30—40, но есть виды, имеющие до 100 сегментов. По форме тела, внешнему виду, окраске наидиды очень разнообразны. Головная лопасть округлая или удлинённая, но у некоторых вытянута в более или менее длинный щупальцевидный придаток («хоботок»), а у других укорочена и практически не развита. Наидиды — единственное семейство олигохет, у большинства представителей которого имеются глаза. Щетинки, как правило, расположены на каждом сегменте четырьмя пучками (2 спинных и 2 брюшных), причем форма щетинок очень разнообразна. Спинные щетинки, начинаются с шестого сегмента. Большинство видов этого рода — беловатые прозрачные червячки длиной около 10—15 мм, с торчащими в стороны пучками тонких щетинок и парой темных глаз на округло-удлинённой головной лопасти. Они подвижны, многие виды этого рода хорошо плавают. У наидид тоже имеются две формы

размножения: половое, обычно приуроченное к определенным сезонам, и вегетативное, которое преобладает; поэтому чаще встречаются не одиночные черви, а «цепочки», состоящие из двух — пяти особей.

Большинство представителей рода встречается в прибрежной зоне как различных стоячих водоемов, так и рек (*Nais variabilis*, *N. pseudoobtusa* и др.). Преимущественно в реках - *Nais behningi*.

Виды рода *Nais* представляют наиболее лабильную группу в составе олигохет, реагирующую, в основном, на изменение концентрации органического вещества в воде, но не меняющую показателей своего обилия при загрязнении другими токсическими ингредиентами.

Семейство Трубочники (Tubificidae) включает около 130 видов олигохет подавляющее большинство которых обитает на дне пресных водоёмов. Трубочники крупнее наидид; их тонкое нитевидное тело достигает у некоторых видов длины 100 -180 мм, большинство же имеет длину 30-60 мм, а самые мелкие – всего 5-10 мм. Тело нитевидное, красное или розовое, глаза отсутствуют. Обитают в основном на дне пресноводных водоёмов, иногда образуют на илистых грунтах массовые скопления из тысяч особей. Передний конец тубифицид обычно погружён в ил, задний выставлен наружу над поверхностью грунта и находится в постоянном движении. Его колебания обеспечивают приток свежей воды, содержащей кислород. Такой способ дыхания и наличие гемоглобина указывают на способность тубифицид к обитанию в водоёмах с малым количеством кислорода. Многие виды вокруг заднего конца тела сооружают короткую трубку из частиц ила, склеенных выделениями кожных желёз, отсюда название. Потревоженные тубифициды прячутся в трубке, через некоторое время вновь выставляют задний конец над поверхностью ила. Размножаются половым путём, откладывая коконы, в каждом из которых содержится несколько яиц.

Класс Пиявки (Hirudinea) распространен в пресноводных водоемах - реках, озерах, ручьях и болотах. Пиявки - свободноживущие черви, они могут как паразитировать на моллюсках, ракообразных, рыбах, так и питаться червями, маленькими моллюсками, личинками водных насекомых. Тело пиявок (длина 1-200 мм) покрыто плотной кутикулой, под которой находится эпителий, слизистые и пигментные клетки. Хорошо развитая мускулатура (кольцевые, диагональные и продольные волокна) обеспечивает им быстрое передвижение в воде или по поверхности дна водоемов. У них хорошо развита пищеварительная система.

Класс пиявок подразделяют на три отряда: щетинконосные, хоботные и челюстные.

Из немногочисленного отряда щетинконосных лишь один вид — щетинконоска лососевая - известен как опасный паразит лососевых рыб. У хоботных очень развита ротовая трубка, которая может выдвигаться наружу как хобот и обеспечивать засасывание крови. Фактически такую же функцию

выполняет и челюстной аппарат челюстных пиявок. Он сформирован тремя продольными мускулистыми валиками, на которых расположен ряд хитиновых зубов. С их помощью пиявка прокалывает кожу животного или человека и высасывает кровь. При этом слюнные железы пиявок выделяют секрет, содержащий гемофилии или гирудин, препятствующий свертыванию крови. Благодаря этому свойству медицинских пиявок (*Hirudo medicinalis*) издавна применяют в качестве кровеизвлекающего и антикоагулянтного средства. К челюстным относятся ложноконские пиявки: малая (*Erpobdella octoculata*) и большая (*Haemopsis sanguisuga*).

Среди хоботных пиявок есть свободноживущие виды, паразитирующие на рыбах и других животных, к ним относятся улитковая и рыба пиявки.

Пиявки размножаются подобно другим червям-гермафродитам, питаются моллюсками, червями, мальками рыб, головастиками, личинками насекомых.

Тип Членистоногие (*Arthropoda*) - самый многочисленный тип беспозвоночных животных. В водной среде наиболее распространены представители ракообразных (*Crustacea*) и насекомых (*Insecta*).

Класс Ракообразные (*Crustacea*)

Надотряд Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*) - мелкие беспозвоночные, тело которых длиной 1-5 мм состоит из небольшого количества сегментов. Типичными представителями ветвистоусых являются представители родов дафния (*Daphnia*), моина (*Moina*), босмина (*Bosminia*). Размножаются дафнии и другие ветвистоусые рачки половым способом, который чередуется с его партеногенетической формой. Из отложенных поздней осенью яиц весной выходят самки, которые откладывают партеногенетические яйца. Из них также выходят самки. При достаточном количестве пищи и благоприятных экологических условиях ветвистоусые рачки размножаются, как правило, партеногенетически. В неблагоприятных условиях, в частности при снижении температуры воды, появляются самцы (по размеру меньше самок), происходит копуляция и оплодотворение, и самки откладывают «зимние» яйца, которые зимуют в донных отложениях. Весной из этих яиц опять выходят партеногенетические особи. В зависимости от условий существования у дафний, моин и других ветвистоусых на протяжении вегетационного периода могут чередоваться половой способ размножения и его партеногенетическая форма.

Дафнии, или водяные блохи - сравнительно мелкие, но различимые невооруженным глазом организмы. Тело у большинства видов заключено в прозрачную двустворчатую хитиновую раковину, обе половинки которой скреплены на спинной стороне и полураскрыты на брюшной. Голова остается свободной. От головы отходят ветвистые гребные усики, или антенны; отсюда и название «ветвистоусые». На брюшной стороне, под

защитой раковинки, находится несколько пар (от 4 до 6) коротких расширенных грудных ножек. На голове хорошо заметен большой глаз черного цвета. Из внутренних органов невооруженным глазом довольно хорошо заметен пищеварительный канал, изогнутый в виде крючка.

В пресноводных водоемах часто встречаются также прозрачные микроскопические рачки с шестью парами конечностей, это сида прозрачная (*Sida crystallina*). Выделяются вытянутой передней частью головы, напоминающей хоботок, босмина длинноносая (*Bosminia longirostris*) и утонченной формой тела лептодора хищная (*Leptodora kindti*)

Ветвистоусые рачки играют важную роль в процессах самоочищения природных вод. Фильтруя воду и удаляя из нее взвешенные органические и минеральные частицы, они тем самым способствуют ее осветлению. Эти рачки - важнейший компонент естественной кормовой базы рыб, в том числе их мальков.

Отряд Веслоногие ракообразные (Copepoda)

Веслоногие - мелкие организмы, длина их тела колеблется от 0,2 до 5 мм. Наиболее известные представители веслоногих ракообразных - циклопы (*Cyclops*). Их тело ясно разграничено на головогрудь и брюшко. Эти рачки раздельнополые, самки носят у основания брюшка близ половых отверстий прикрепленные яйцевые мешочки, в которых находятся склеенные специальным секретом яйца. Самцы имеют семенники бобовидной формы. Большинство циклопов - хищники. Они поедают олигохет, коловраток, хирономид, мелких рачков, а также личинок паразитических червей, вследствие чего могут быть переносчиками паразитарных заболеваний. Растительноядные циклопы питаются в основном водорослями.

Отряд Ракушковые ракообразные (Ostracoda)

Небольшие по размеру организмы, тело которых полностью заключено в двустворчатую хитиновую раковину. Между двумя створками можно увидеть антенны, иногда - концы одной или двух пар ножек. У некоторых видов они отсутствуют. Ракушковые обитают в основном на дне и стеблях водных растений. Значительно меньшее количество видов ведет планктонный образ жизни.

Ракушковые рачки питаются преимущественно водорослями, детритом и органическими веществами донных грунтов. Некоторые являются хищниками и нападают на мизид, полихет и других мелких беспозвоночных. Все ракушковые раздельнополые. У некоторых пресноводных остракод самцы могут отсутствовать, и размножение происходит партеногенетически.

Подкласс Высшие раки (Malacostraca)

Отряд Равноногие (Isopoda)

Изоподы формой тела напоминают мокрицу. Основным способом передвижения всех равноногих ракообразных, за исключением паразитических, является ползание по дну, почве или растениям при помощи грудных конечностей.

В континентальных водоемах обитает представитель равноногих - водяной ослик (*Asellus aquaticus*). У него четко выделяются голова, к которой прикрепляются две пары одноветвистых антенн, грудной отдел, расчлененный на семь сегментов, и задняя часть тела, покрытая хитиновым щитком. Ослики держатся на дне водоемов, где ползают между отмершими частями растений, поедаются рыбами и хищными насекомыми, им свойственна автотомия: будучи схваченным, животное легко отбрасывает конечности, которые впоследствии отрастают (регенерируют).

Другие рачки из семейства водяных осликов живут преимущественно в стоячих водах и представлены хищными, растительноядными и грунтоядными формами.

Отряд Бокоплавы (Amphipoda) - большая группа морских и пресноводных ракообразных. Их тело сжатое с боков. Когда они перемещаются по дну неглубоких водоемов, создается впечатление, что они двигаются, лежа на боку. Бокоплавы - подвижные рачки: они быстро передвигаются не только по дну, но и по стеблям водных растений, могут прыгать. Длина их тела составляет в среднем 1-2 см, но встречаются и более крупные экземпляры.

Большинство бокоплавов - это донные организмы, которые некоторое время могут плавать в толще воды. Они всеядны: потребляют водоросли, детрит, остатки отмерших животных, а иногда и мелких беспозвоночных. Бокоплавы, участвуя в фильтрации воды, играют важную роль в самоочищении водоемов. Кроме того, бокоплавы служат пищей для многих видов рыб. Наиболее известный представитель бокоплавов - гаммарус (*Gammarus*) имеет сплюснутое тело, шесть пар ног, пару глаз, две пары усиков. Дышит жабрами, которые находятся на грудных ножках. Питается преимущественно растительностью, поедает падаль, иногда хищничает.

Класс Насекомые (Insecta)

Насекомые характеризуются трахейным дыханием, имеют три пары ног, расположенных в грудной части. Их тело разделено на три отдела: голову, грудь, состоящую из трех сегментов, и брюшко. На голове имеется одна пара усиков (антенн).

Насекомые, живущие в воде, - это вторичноводные организмы, т. е. такие, которые в отдаленное время произошли от водных животных,

приспособились к наземному образу жизни, но в процессе эволюции снова перешли к водному.

К пресноводным формам насекомых относятся такие отряды: стрекозы (Odonata), поденки (Ephemeroptera), полужесткокрылые, или водяные клопы (Heteroptera), жесткокрылые жуки (Coleoptera), ручейники (Trichoptera), двукрылые (Diptera).

Отряд Стрекозы (Odonata)

Крылатые воздушные хищники с удлинённым телом и четырьмя длинными крыльями, ловят насекомых на лету. Продолжительность жизни взрослых форм составляет несколько недель, и за это время они истребляют множество насекомых, среди которых комары и мошки. Пойманная жертва пожирается при помощи сильного грызущего ротового аппарата. Присаживаясь, стрекозы не складывают свои крылья по длине, но держат их горизонтально или поднимают вверх. Из равнокрылых стрекоз наиболее известны стрекозы коромысло большое (*Aeschna grandis*), коромысло зеленое (*A. viridis*), дедка обыкновенный (*Gomphus vulgatissimus*), к отдельной систематической группе относятся настоящие стрекозы: стрекоза плоская (*Libellula depressa*), стрекоза бронзовая бабка (*Cordulia aenea*) и др. Яйца откладывают в воду или в ткани водных растений. Личинки коромысла, как и настоящих стрекоз, - донные организмы, все стадии развития которых проходят в воде, преимущественно среди водных растений или на дне прудов, озер, в заводях рек и даже в заполненных водой канавах. Личинки стрекоз встречаются всюду в стоячей и медленно текущей воде. Чаще всего они находятся на водных растениях или же на дне, где сидят неподвижно, иногда медленно передвигаются. Есть виды, которые зарываются в ил. На протяжении большей части жизни личинки стрекоз дышат, наполняя заднюю кишку водой, из которой кислород поступает в кровеносные капилляры. Личинки коромысла поедают большое количество растительноядных животных, в кишечнике которых всегда содержится хлорофилл. Именно он и придает телу личинок зеленоватую или коричневатую окраску. Личинки настоящих стрекоз питаются преимущественно органическими веществами, входящими в состав донного ила. Поэтому они имеют темно-серую окраску, похожую на цвет того грунта, на котором они живут. В группу равнокрылых стрекоз входят лютки (*Lestes*), стрелки (*Coenagrion*), красотки (*Calopteryx*), эритромы (*Erythromma*). Личинки стрекоз этой группы значительно меньших размеров, а продолжительность их водной жизни - не 2-3 года, как у неравнокрылых, а всего 10-12 месяцев. Питаются личинки дафниями, циклопами, личинками комаров, иногда мальками рыб.

Отряд Поденки (*Ephemeroptera*)

Некоторые виды подёнок живут в стадии имаго всего один день, а то и меньше (отчего и произошло их название). Во время массовых вылетов происходит спаривание, после которого самцы гибнут, а самки откладывают в воду кучками или рассеивают оплодотворенные яйца и также заканчивают жизненный цикл. Взрослые поденки не питаются, их кишечник превращен в пузырек, заполненный воздухом, что обеспечивает этим насекомым уменьшение удельного веса и возможность легкого парения.

Из отложенных в воду яиц выходят личинки, которые в течение трех лет (у разных видов - различные сроки) проходят ряд стадий развития в воде. Их личинки имеют ряд характерных признаков: наличие трех (реже двух) длинных хвостовых нитей и расположение трахейных жабр разной формы - от простых пластин с бахромой до отростков в виде пучков на первых семи брюшных сегментах.

Личинок поденок можно найти в слабопроточных водоемах.

В зависимости от условий среды обитания строение их тела приобретает некоторые характерные черты. Так, в прибрежной зоне прудов в зарослях живут личинки прозописомы листовидной (*Prosopistoma foliaceum*), которые имеют жукообразную форму тела, крепкие ноги и три отдельные хвостовые нити. Здесь же в зарослях обитают личинки цениса одночасового (*Caenis horaria*), эфемеры обыкновенной (*Ephemerella vulgata*), клеона двукрылого (*Cloeon dipterum*). Все они ведут донный образ жизни. Наряду с этими личинками отмечены плавающие в толще воды. К ним, в частности, относятся центроптила (*Centroptilum*) и сифлонура (*Siphonurus*).

Личинки поденок играют важную роль как кормовая база многих видов рыб. Сами же они питаются водорослями, растительным детритом, мелкими беспозвоночными и личинками других водных насекомых.

Отряд Веснянки (*Plecoptera*)

Семейство Веснянки (*Perlidae*)

Взрослые насекомые ведут наземный образ жизни и встречаются, главным образом, весной, откуда и их название. Удлиненное мягкое тело несет четыре прозрачных крыла, которые в спокойном состоянии насекомое плоско складывает на спинной стороне. На заднем конце тела имеется большей частью пара длинных хвостовых нитей. Насекомые держатся преимущественно около воды, где сидят на окружающих предметах, редко взлетая.

Личинки веснянок живут преимущественно в текущих водах, они хорошо приспособлены к жизни в быстро текущей воде на дне водотока. У веснянок, как и других насекомых, тело подразделяется на три отдела. На голове имеется пара длинных многочлениковых антенн, ротовые органы, пара сложных глаз и два или три глазка, расположенных треугольником на

лбу между сложными глазами. Морфологические особенности строения ротовых органов отражают пищевое предпочтение личинок, которые могут быть как хищниками (сем. Perlidae, Perlodidae, Chloroperlidae), так и растительноядными (сем. Pteronarcyidae, Nemouridae, Capniidae, Leuctridae). Нередко питание бывает смешанным. Личинки многих видов имеют трахейные жаберы, представляющие собой разветвленные выросты кожи. Ноги веснянок заканчиваются двумя сильно изогнутыми коготками, что является простым признаком, отличающим личинок веснянок от личинок поденок.

От личинок подёнок личинки веснянок отличаются, в первую очередь, наличием только двух хвостовых нитей, длинных усиков, отсутствием по бокам тела характерных жаберных пластинок и наличием двух коготков на лапках.

Отряд Ручейники (Trichoptera)

В ручьях с быстрым течением, в прудах с хорошо развитой высшей водной растительностью встречаются организмы, живущие в трубчатых домиках, сооруженных из мелких донных частиц. Это личинки насекомых отряда ручейников (Trichoptera). Вместе с домиками они медленно передвигаются по дну водоемов. В таких укрытиях можно обнаружить личинок стенофила звездчатого (*Stenophylax stellatus*), лимнофила желтоусого (*Limnophilus flavicornis*), лимнофила мраморного (*L. tamaratus*), ручейник большой (*Phryganea grandis*) и др.

Взрослые ручейники ведут наземный образ жизни и выглядят, как настоящие бабочки. Наземный период их жизни очень короткий (несколько дней), и в это время они ничего не едят. Личинки могут жить в водоемах от 1 до 3 лет, питаясь растительным и животным кормом.

Среди ручейников есть представители ряда родов, которые живут в прозрачных сплетенных из паутины укрытиях или строят сети для захвата мелких ракообразных, личинок поденок и других насекомых.

К жизни в текущих водах приспособились личинки апатании (*Apatania*). В прибрежных зонах озер на песчаных побережьях обитают личинки моланны суженной (*Molanna angustata*), которые могут выдерживать лишь слабый прибой волн. Они держатся на некотором расстоянии от берега - в сублиторальной зоне, где на поверхности песчаной отмели образуется тонкий слой ила.

Отряд Сетчатокрылые (Neuroptera)

Семейство Вислокрылки (Sialidae)

Малоподвижные тёмноокрашенные насекомые. Две пары перепончатых крыльев (в размахе 20—40 мм) в покое складываются крышеобразно, скрывая брюшко. Широко распространена обыкновенная

вислокрылка (*Sialis lutaria*) длиной до 12 мм с чёрными крыльями. Яйца откладывают на листья тростника и других водных растений. Населяют иловато-песчанистые грунты озёр, прудов и водоёмов речной поймы. Местами встречаются массами; служат пищей для рыб. Личинка вислокрылки держится, главным образом, на дне водоемов, среди ила, или передвигается по водным растениям. На поверхность воды никогда не поднимается. Для передвижения ей служат три пары цепких ног, снабженных двумя коготками. Личинка хорошо плавает, изгибая при этом свое вытянутое брюшко. Главной особенностью личинки, которая бросается в глаза, являются длинные беловатые членистые придатки, которые сидят в числе семи пар по обеим сторонам брюшка и представляют собой трахейные жаберы. Внутри каждой жаберы проходит тонкая ветвящаяся воздухоносная трубочка, видимая в лупу. Жаберные придатки густо опушены волосками. Тело заканчивается длинным тонким выростом.

Личинка вислокрылки — хищник. Она питается мелкими водными животными, преимущественно личинками подёнок, пожирая их своим сильным жевательным аппаратом. Для окукливания личинки выходят из воды. Вылет взрослых насекомых происходит весной или в начале лета.

Отряд Жуки, или жесткокрылые (Coleoptera)

Жуки-плавунцы. Наиболее типичные представители: плавунец окаймленный (*Dytiscus marginalis*), плавунец широкий (*D. latissimus*), плавунец скоморох (*Cybister laterimarginalis*). Взрослые жуки плавунца окаймленного дышат трахеями, открывающимися на каждом брюшном сегменте.

Главным орудием плавания служит пара задних ног, которые расширены наподобие весел и густо усажены волосками, что в совокупности дает весьма значительную гребную поверхность.

У самцов плавунцов есть на передней паре ног по тарелкообразному расширению, которое служит им для прикрепления к гладким поверхностям (камню, стеклу аквариума). Кроме того, эти диски имеют значение при копуляции, давая возможность самцу прикрепиться к самке. Эти расширения представляют собою сложно устроенный присасывательный аппарат, состоящий из множества отдельных круглых дисков. Самки, у которых отсутствуют присасывательные диски, отличаются от самцов своими сильно бороздчатыми надкрыльями, причем иногда встречаются самки и с гладкими надкрыльями, как у самцов. Всплывая на поверхностную пленку воды, плавунцы пополняют запас воздуха, который поступает через стигмы в трахеальную полость. Набранного за один раз воздуха хватает на 10 мин пребывания под водой. Зимой, когда при пониженной температуре метаболические процессы замедляются, жук может находиться под водой, не поднимаясь на поверхность, на протяжении нескольких зимних месяцев. В теплый период года плавунцы могут некоторое время летать. В это время их

трахейное дыхание осуществляется за счет двух пар стигм, открывающихся на грудной части тела. Размножаются водяные жуки половым способом, спаривание происходит не весной, как у многих насекомых, а осенью. Яйца самки откладывают после зимовки на стеблях и листьях водных растений. За время развития личинки дважды линяют и в конце года выходят на берег, где зарываются во влажную землю или прячутся под затопленными деревьями или камнями, образуя куколки, из которых выходит взрослый жук. Личинки, окуклившиеся осенью, зимуют в стадии куколки и дают половозрелое насекомое на следующую весну. Как взрослые особи, так и личинки жуков-плавунцов - хищники. Личинки поедают червей, мелких рыб, моллюсков, головастиков и личинок других насекомых. Взрослые плавунцы нападают на головастиков, лягушек, мальков рыб, моллюсков, рачков и других животных. Они могут выделять в воду секрет белого цвета, снижающий подвижность жертвы и способствующий растворению ее тканей. Жуки-плавунцы хватают таких животных передними ногами, подносят ко рту и разрывают на куски крепкими челюстями.

Плавунчик или полоскун (*Acilius sulcatus*), — водный жук, который относится к семейству плавунцов (Dytiscidae), встречается в прудах, канавах, даже в лужах и ямах, наполненных водой, особенно часто там, где много головастиков, которыми питается он и его личинка. В водах встречаются два вида плавунчика: самый обычный — *Acilius sulcatus* (первый членик брюшка темный) и *A. canaliculatus* (меньше размерами, первый членик брюшка желтый). Самцы отличаются от самок отсутствием бороздок на надкрыльях и присутствием круглых, похожих на тарелки расширений на передних ногах, играющих роль присосок.

Ноги у плавунчика длинные и покрыты густыми волосками, образующими их плавательную поверхность. Пищей плавунчику и его личинке служат мелкие водные животные. Плавунчик дышит, увлекая с собой под воду между надкрыльями и концом брюшка пузырек воздуха. Запас воздуха в пузырьке постоянно обновляется: жук то и дело поднимается на поверхность, выставляя из воды заднюю часть тела и захватывая атмосферный воздух. Плавунчик весной откладывает яйца в стебли водных растений, личинки похожи на личинок плавунца. Как и у взрослых жуков, дыхание у них не водное, а воздушное.

Кроме плавунца, в пресных водах России встречаются и другие мелкие представители плавунцовых:

Прудовик (*Colymbetes*) — темно-бурый продолговато-яйцевидный жук, величиною с полоскуна или немного больше (*C. raykulli* — 19 мм), с надкрыльями, покрытыми тонкими поперечными насечками или морщинками. Встречается в сильно заросших прудах.

Тинник (*Ilybius*) — яйцевидный, сильно выпуклый жук, повсюду очень часто встречается (*I. ater*, совершенно черный-14 мм; *I. Fuliginosus* — 10-11 мм, темно-красно-бурый, с желтоватой каймой по бокам надкрылий).

Ильник (*Rhantus*) — ржаво-желтый жучок, 11 — 12 мм, покрытый мелкими черными точками, обыкновенный обитатель прудов.

Водяник (*Hydaticus*) — темно-оливкового, почти черного цвета, края грудного щита и надкрылья окружены широкой желтой каймой; встречается реже предыдущих.

Гребец (*Platambus*) — пестрый жук со светлыми пятнами на надкрыльях (*Pl. maculatus* - 7 мм). В отличие от других плавунцов, встречается в чистой быстротекущей воде — в речках, около водоскатов и т. п.

Пузанчик (*Hyphidrus ferrutigneus*) — небольшой (5,5 мм) ржаво-красный жучок, почти шаровидной формы. Интересен по способу ношения пузырька воздуха на заднем конце тела, причем пузырек имеет правильную сферическую форму. Встречается довольно часто, даже в мелких водоемах, особенно весной. Имеет очень характерную веретенообразную личинку с желтой перевязкой поперек тела и длинным выростом на голове.

Пеструшка (*Hygrotus*) — ржаво-желтый пестроокрашенный небольшой жучок (*H. versicolor* — 3 мм). Встречается весной в прудах и канавах.

Нырляка (*Hydroporus*) — мелкие жучки (3-5 мм), многие с полосками или пятнышками на надкрыльях. Встречаются в канавах, мелких лужах и т. п.

Желтушка (*Haliphus ruficollis*) — ржаво-желтый небольшой жучок (3,5 мм) с желтыми продольными полосами на надкрыльях. Встречается весной и осенью в стоячих заросших водоемах. Желтушка отличается от других плавунцов тем, что плавает, ударяя по воде попеременно то левой, то правой ножкой, в то время как остальные плавунцы выбрасывают ножки одновременно.

Жуки-вертячки (*Gyrinus*) - маленькие блестящие жучки, быстро перемещающиеся по поверхности воды, описывая круги и спирали. При плавании жучок выставляет на поверхность свою выпуклую спинную сторону, а ноги остаются под водой. Обе задние пары ножек сильно укорочены и расширены наподобие плавников или ластов. Покрывающая тело жировая смазка уменьшает трение о воду и способствует быстроте передвижения. Нижняя часть их глаз приспособлена к видению под водой, верхняя - к воздушному зрению. Взрослые особи этих жуков поедают личинок комаров, а личинки - червей, насекомых и их личинок. По характеру развития они напоминают жуков-плавунцов.

От большинства других личинок жуков личинки вертячек отличаются тем, что несут на сегментах тела парные трахейные жабры. Благодаря водному дыханию эти личинки никогда не поднимаются на поверхность воды.

Отряд Двукрылые (*Diptera*)

К обитающим в водной среде двукрылым относятся настоящие комары семейства Culicidae, в частности рода комаров: обыкновенный (*Culex*), малярийный (*Anopheles*) и лесной (*Aedes*), семейство мошек (Simuliidae).

Комары-дергуны, или звонцы (семейство Chironomidae) получили такое название благодаря тому, что во время роения издают тонкий, мелодичный, напоминающий звон звук. Их передние ноги удлинены и служат чувствительным органом осязания. Ротовые органы не развиты, так как взрослые насекомые не питаются и их самки не являются кровососами. В озерах, прудах, реках и даже в лужах на илистом дне, водных растениях и погруженных в воду частях деревьев часто встречаются их личинки. Хорошо известны рыбакам личинки мотыля (*Chironomus plumosus*), которые имеют червеобразную форму и ярко-красную окраску. Личинки хирономид живут на дне водоемов в донных отложениях (иле) и питаются микроорганизмами ила. Они хорошо выдерживают снижение содержания кислорода в воде благодаря тому, что поглощение кислорода и выделение углекислого газа у них происходит не только через трахейные жабры, но и через всю поверхность тела, а также высокому содержанию гемоглобина в гемолимфе, что также способствует использованию кислорода в условиях его пониженной концентрации в окружающей среде. Благодаря таким свойствам крови и дыхательной системы личинки хирономид могут выдерживать зимнее промерзание ила, а также жить на больших глубинах, где насыщенность воды кислородом резко снижена.

Семейство Мошки (Simuliidae) включает двукрылых, самки которых в большинстве случаев являются компонентом комплекса гнуса. Как и у всех прочих двукрылых насекомых, у мошек четыре фазы развития: яйцо, личинка, куколка, имаго. При этом все фазы, кроме имаго, живут в водоёмах, преимущественно проточных. Личинки мошек — фильтраторы или отскребыватели - питаются водными микроорганизмами и органическими остатками. В кишечнике личинок мошек обитают симбиотические бактерии, помогающие им усваивать целлюлозу. При этом большую часть времени личинки прикреплены к субстрату (камням, водным растениям, мусору) специальным образованием — задним прикрепительным органом, состоящим из множества рядов крючьев. Второе подобное образование располагается на грудной «ноге» и служит для переползания по субстрату. Личинки и куколки некоторых видов мошек используют в качестве субстрата других водных членистоногих — крабов и личинок поденок. Поступление пищи для личинок - фильтраторов напрямую связано с количеством отфильтрованной воды, поэтому они обитают преимущественно в водотоках с быстрым течением. В стоячих водах, особенно содержащих большое количество органических гниющих остатков, личинки испытывают недостаток кислорода. Самки большинства мошек пьют кровь теплокровных животных: млекопитающих и птиц; в то же время самцы всех видов мошек питаются нектаром цветковых растений.

Класс Паукообразные (Arachnidae)

Отряд Клеши (Acarina)

Семейство Водяные клеши (Hydrachnidae) широко распространены, встречаются в больших водоемах (род *Hydrochoreutes*), в прудах, густо заросших растительностью (роды *Limnesia*, *Frontipoda*, *Limnochares*), даже в небольших канавах, наполненных водой, ямах лужах и т. п., особенно весной (*Acercus torris*, *Hydrachna globosa*, род *Hydryphantes*).

Водяные клеши имеют округлое или вытянутое тело, часто ярко окрашенное (преобладает красный цвет), 2 или 4 глаза, снабжены четырьмя парами шестичленистых ножек, которые обыкновенно заканчиваются двумя коготками. Ротовые органы вытянуты в «клювик», приспособленный для сосания. Дыхание осуществляется через систему трахей, либо через особые структуры (пузыри, каналы) на спинной поверхности тела (род *Atax*). Развитие проходит с метаморфозом. Шестиногие личинки живут паразитами на водяных насекомых или двустворчатых моллюсках. Водные клеши выделяют из своих кожных желез ядовитую или неприятную на вкус жидкость, которая и отпугивает врагов.

Тип Моллюски (Mollusca) - беспозвоночные животные, которые распространены в водной среде. Они играют важную роль в формировании качества воды и биопродуктивности водных экосистем за счет высокой биомассы.

Как малоподвижные организмы, моллюски имеют ряд особенностей строения, тело двусторонне-симметричное (билатеральная симметрия). Тело некоторых моллюсков асимметрично вследствие смещения органов. Оно состоит из головы, туловища, ноги и внутренних органов и покрыто особым эпителиальным покровом - мантией. На спинной стороне тела, как правило, находится сформированная мантией защитная раковина - цельная или двустворчатая. Внутренняя поверхность мантии образует полость, в которой размещены мантийные органы: жабры, анальное отверстие и отверстия выделительных и половых желез.

Класс Брюхоногие моллюски (Gastropoda)

Характерным признаком большинства видов брюхоногих является наличие раковины, закрученной в спиральные витки, лежащие в разных плоскостях. Их тело асимметричное, разделено на туловище, к которому относится внутримантийный мешок с внутренними органами и нога, и хорошо развитую голову, которая может втягиваться в раковину. На голове четко выделяются 1-2 пары щупалец, орган зрения и ротовое отверстие, в котором насчитывается от 2 до 18 тыс. зубов. Непосредственно над головой или сбоку от нее открывается анальное отверстие. Брюхоногие моллюски раздельнополые, но среди них есть и гермафродиты. Эмбриональное развитие может быть прямым или включать стадию планктонной личинки.

Прудовик обыкновенный (*Lymnaea stagnalis*) распространен преимущественно в небольших прудах, озерах или заливах рек, где он активно перемещается по дну или по прибрежным водным растениям. Периодически прудовики выходят из воды и, прикрепившись снизу к растениям с помощью ноги, удерживаются в таком положении некоторое время. В рацион прудовика, кроме растительной пищи и мелких беспозвоночных, могут входить также трупы водных животных. Прудовики - гермафродиты. Во время размножения партнеры взаимно оплодотворяют друг друга. Оплодотворенная икра приклеивается к твердым предметам, покрытым водой, где она и развивается.

Лужанка настоящая (*Viviparus viviparus*) обитает в медленно текущих реках и озёрах. Раковина имеет вид тупого конуса желтовато-бурой окраски, длиной до 4 см имеет от 5,5 до 6 оборотов. Обороты закруглены и разделены друг от друга отчётливым швом. Вершина раковины тупая, а пупок узкий.

Питается преимущественно детритом, а также высшими растениями и зелёными водорослями. С помощью нитей слизи, которые образуются у основания жабр, может фильтровать частицы питания и планктон из воды. Затем нити слизи поедаются вместе с детритом. Лужанка – живородка, она рождает живых детенышей, вынашивая икру и молодь в своем теле, чем и отличается от других пресноводных брюхоногих. Молодые лужанки отличаются от взрослых не только размерами, но и формой раковины.

Катушки (*Planorbis*) можно отличить от других моллюсков по характерной раковине, завитой в одной плоскости в виде спирального шнура.

Самая крупная - **Роговая катушка (*P. corneus*)**, красновато-коричневого цвета, диаметр раковины - 30 мм, высота - 12 мм. Эта катушка встречается повсюду как в прудовых, так и в озерных водах. Ползая, улитки выставляют свое темное мягкое тело далеко из раковины и передвигаются по подводным предметам при помощи своей широкой плоской ноги. На голове имеется пара тонких щупалец, у основания которых помещаются глаза. Катушки, как и прудовики, могут перемещаться по поверхности водоемов, подвешиваясь к пленке поверхностного натяжения жидкости. Дышат катушки атмосферным воздухом, вбирая его в легочную полость, образованную стенками мантии. Питаются преимущественно растительной пищей, поедая части растений, которые соскабливают при помощи терки. Катушки – гермафродиты, размножаются при помощи яиц, которые откладывают на листья водных растений и других подводных предметов.

Битиния щупальцевая (*Bithynia tentaculata*) - небольшая, но хорошо заметная улитка с башнеобразной, заостряющейся к вершине раковиной (высотой 10—12 мм), которая может закрываться известковой крышечкой. Битинии живут в реках, озерах, прудах, часто образуют большие скопления на прибрежных камнях, в иле или на водных растениях, распространены по всей территории России. Встречается на прибрежных подводных предметах – ветках, камнях, в пазухах высших водных растений, в иле. Имеет толстостенную раковину высотой 10-12 мм, шириной 6-7 мм. Оборотов – 5-6.

Устье раковины остроугольное. Малоподвижные. Размножаются в мае – июне. Как и у других пресноводных улиток, в развитии битинии выпадает стадия свободноплавающей личинки.

В отличие от прудовика и катушки, лужанка и битиния принадлежат к жаберным улиткам, которые извлекают кислород из воды при помощи жаберного аппарата, скрытого под раковиной. У лужанки имеется хорошо развитая гребневидная жабра с многочисленными жаберными выростами, которые несколько напоминают жабры рыб. Благодаря водному дыханию лужанки и битинии очень чувствительны к качеству воды и при неблагоприятных условиях погибают гораздо скорее, чем прудовики и катушки, наличие крышечки позволяет отличить лужанку и битинию от других похожих на них моллюсков.

Класс Двустворчатые моллюски (Bivalvia)

Малоподвижные моллюски, тело которых уплощено с боков и заключено в раковину из двух створок. Большинство представителей класса имеют сильно развитые пластинчатые жабры, выполняющие не только дыхательную функцию, но и роль фильтров для отсеживания пищевых частиц из воды, поэтому по типу питания двустворчатые - преимущественно фильтраторы. Раковины двустворчатых моллюсков состоят из карбоната кальция и представляют собой две обычно равные по величине створки, скреплённые друг с другом с одного края, возле макушки, упругой белковой связкой — лигаментом. Кроме того, их соединение обеспечивают чередующиеся выступы (зубы) и выемки, расположенные на каждой створке раковины и составляющие замок. Такое устройство раковины позволяет открывать створки для питания или передвижения и плотно закрывать их в случае опасности. Внутри раковины находится собственно тело моллюска, покрытое мантией, которая свободно свешивается с боков в виде двух больших складок. Особенности внешнего и внутреннего строения двустворчатых отражают их приспособленность к малоподвижному или неподвижному образу жизни.¹ Моллюски передвигаются по дну с помощью ноги, в случае опасности втягивают ее и захлопывают раковину.

Беззубка (*Anodonta*) обитает преимущественно в стоячих водоемах, типичный представитель – Беззубка обыкновенная (*Anodonta cygnea*), имеет удлиненно-овальную раковину, серого или зеленовато-серого цвета, более светлую в передней части, более темную - в задней, внутри - белая. Длина раковины до 120 мм, редко больше, высота до 60 и выпуклость до 35 мм. Беззубка передвигается, ползая по дну и оставляя в илистом грунте глубокие борозды. Питается путем отфильтровывания пищи (мелкие организмы и частички детрита), за счет чего в значительной мере происходит биологическое очищение воды.

Перловица (*Unio*) обитает в основном в проточных водоёмах, раковина продолговатая и суживающаяся к заднему концу, более толстостенная, чем у беззубки, близ замочной связки присутствуют зубцы (отсутствующие у

беззубки). Представители - Перловица обыкновенная (*Unio pictorum*), перловица толстая (*Unio crassus*) и перловица вздутая (*Unio tumidus*).

Шаровки (*Sphaerium*) обитают в лужах, болотах, прудах, озёрах и реках, где зарываются в поверхностные слои ила и песка. Питаются как фильтраторы и детритофаги. Шаровки живородящие: их яйца развиваются в выводковых камерах, имеющихся на внутренних жабрах, и из материнской особи выходят вполне сформированные маленькие моллюски. В России чаще всего встречаются: Речная шаровка (*S. rivicola*) с тонкостенной раковиной, которая имеет посередине у замка сильно вздутую верхушку (длина 1,5 см, ширина 1,1 см), в северной части России - Роговая шаровка (*S. corneum*).

Горошинки (*Pisidium*) по образу жизни и особенностям строения напоминают шаровок, но гораздо мельче (3-5 мм).

Дрейссена (*Dreissena polymorpha*) имеет раковину в виде равнобедренного треугольника со сглаженными углами. Общий фон раковины имеет зеленоватый или желтоватый оттенок с яркими зигзагообразными поперечными полосами, длина – 4-5 см. Взрослые моллюски питаются и дышат, пропуская воду через жабры в мантийной полости. Этот вид двустворчатых моллюсков считается одним из самых активных фильтраторов. Предпочитает грунт, обогащенный кальцием, что способствует крепкому строению и развитию раковины. Селятся дрейссены большими плотными семьями. Является видом-интродуцентом, активно расширяющим свой ареал.

Библиографический список

РД 118-02-90. Методическое руководство по биотестированию воды. - М.: Госкомприрода СССР, 1991. - 48 с.

Биоиндикация и биомониторинг / отв. ред. проф. Д.А. Криволуцкий. - М.: Наука, 1991.- 288 с.

Жмур Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. - М.: Международный Дом сотрудничества, 1997. - 117 с.

Николаев А.Н., Нилова И.В. Основы микробиологии и биотехнологии: учебное пособие / СПбГТУРП. - СПб., 2002. - 111 с.

Основы биотехнологии: методические указания к лабораторным работам/ сост. А.В. Буров, Р.Г. Алиев, З.П. Ельницкая, Е.А. Павлова, Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко; СПбГТУРП. - СПб. Ч. I. 2005. – 38 с.

ГОСТ Р 51592 – 2000. Общие требования к отбору проб.

ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.

ГОСТ Р 51593 -2000. Вода питьевая. Отбор проб.

НВН 33-5.3.01-85. Инструкция по отбору проб для анализа сточных вод.

Мелихова О.П., Егорова Е.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений.- М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 511 с.

Полоскин А., Хаитов В. Полевой определитель пресноводных беспозвоночных. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 16 с.

Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. - Киев.: Генеза, 2004. - 664 с.

Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования водных экосистем/ под ред. В.В. Куриленко. - СПб: Изд-во СПбГУ, 2004.- 480 с.

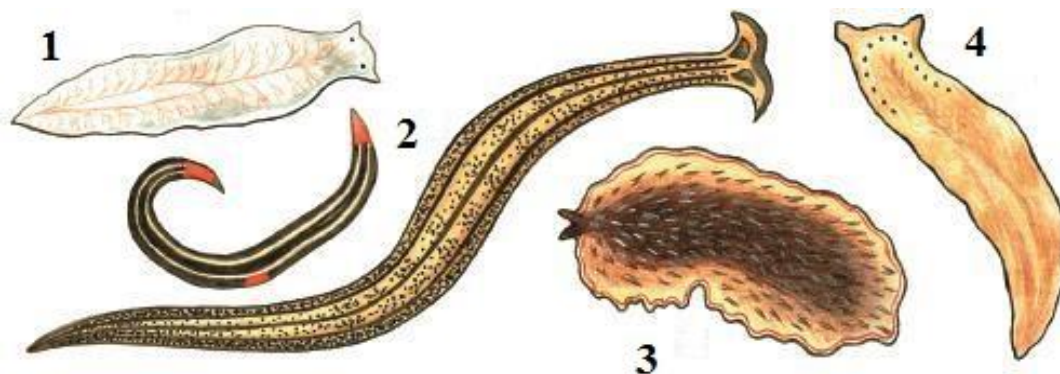
Гальцева В.В., Дмитриев В.В.. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем. – СПб.: Наука, 2007. - 364 с.

Приложения

Приложение 1

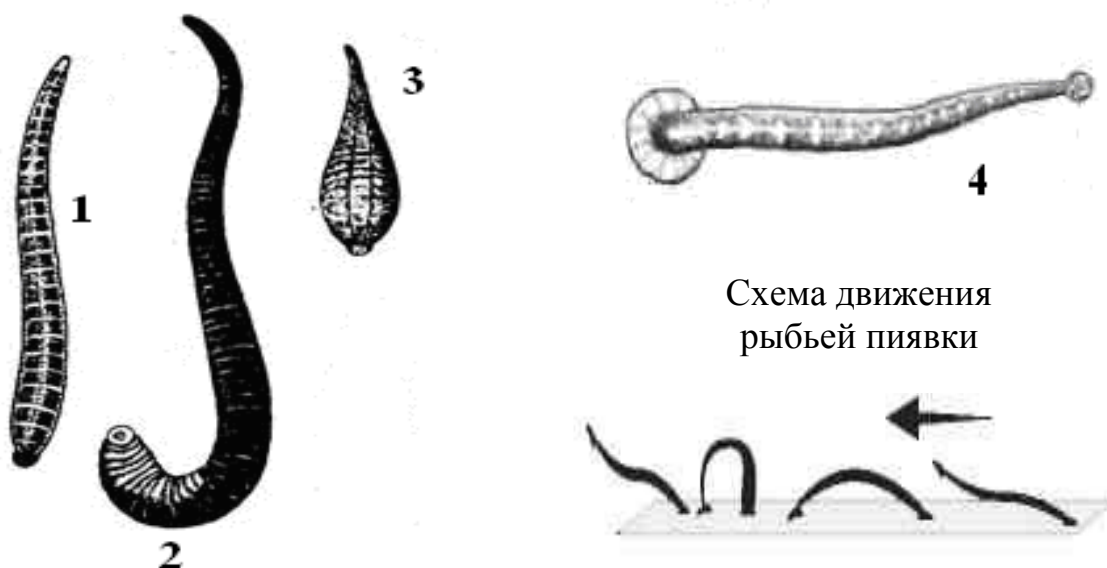
Каталог-определитель водных беспозвоночных животных

Плоские черви (Plathelminthes)



1 - Молочно-белая планария (*Dendrocoelum lacteum*); 2- Наземная планария (*Rynchodesmus terrestris*); 3- Морская планария (Sea planaria); 4- Многоглазка (*Polycelis laerigola*)

Пиявки (Hirudinea)

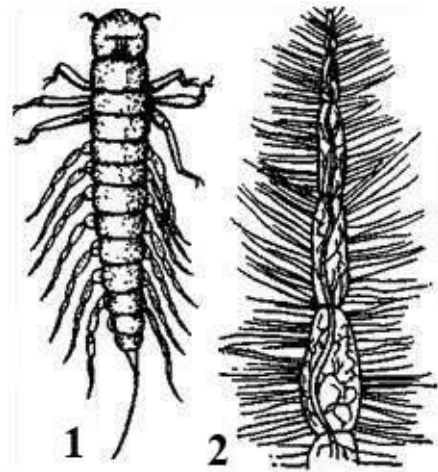


1 — Малая ложноконская пиявка (*Erpobdella octoculata*); 2 — Большая ложноконская пиявка (*Haemopsis sanguisuga*); 3 — Улитковая пиявка (*Glossosiphonia complanata*); 4- Рыбья пиявка (*Piscicola geometra*)

Вислокрылки (Megaloptera)



Вислокрылка (*Sialis flavilatera*)

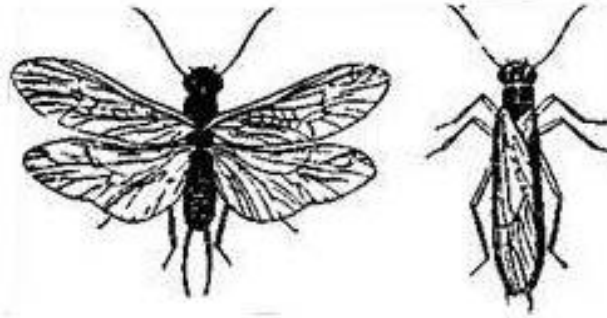


Вислокрылка (*Sialis flavilatera*):

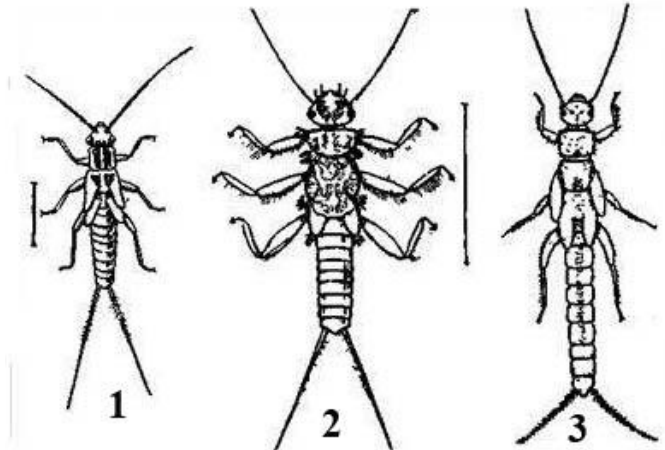
1 — Личинка вислокрылки с трахейными жабрами;

2 — Отдельная трахейная жабра

Веснянки и их личинки (Plecoptera)

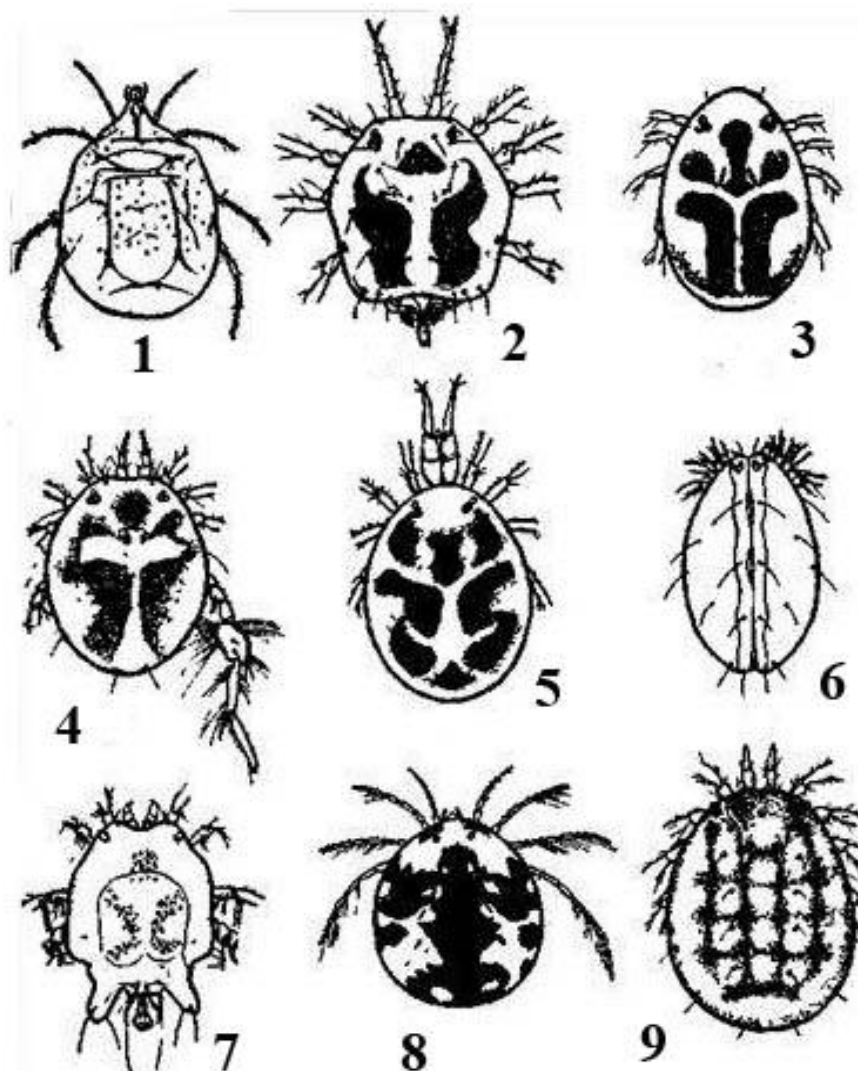


Веснянка *Dictiopterix microcephala*.



Личинки веснянок: 1 - *Nemura variegata*; 2 - *Perla marginta*; 3 - *Capnia nigra*

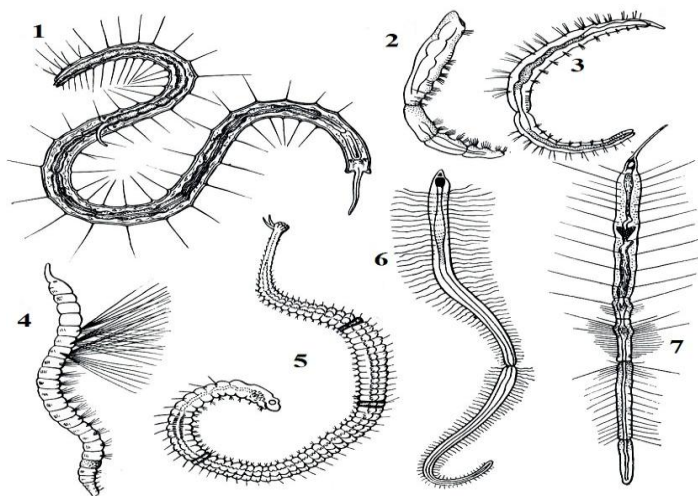
Водные клещи (Hydrochoreutes)



Водные клещи:

1 — *Limnochares aquatica*; 2 — *Hydrochoreutes unguatus* самец; 3 — *Piona nodata*; 4 — *Acercus torris* самец; 5 — *Limnesia undulata* самка; 6 — *Frontipoda musculus* самка; 7 — *Arrhenurus neumani*; 8 — *Hydrachna globosa*; 9 — *Hydryphantes ruber* самка

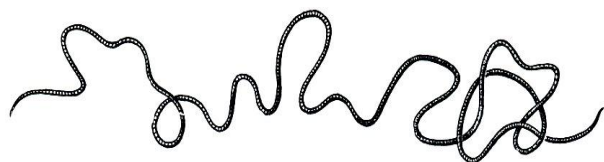
Малощетинковые черви (Oligochaeta)



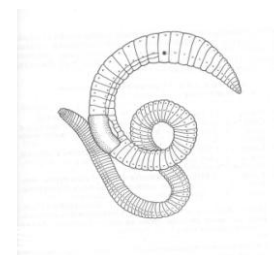
Представители семейства Naididae:
 1 - Stylarialacustris; 2 – Chaetogaster limnaei;
 3 – Nais pseudobtusa; 4 – Ripister parasita;
 5 - Aulophorus; 6 - Branchiodrilus;
 7 - Pristina longiseta



Трубочники,
или Тубифициды
(Tubificidae)



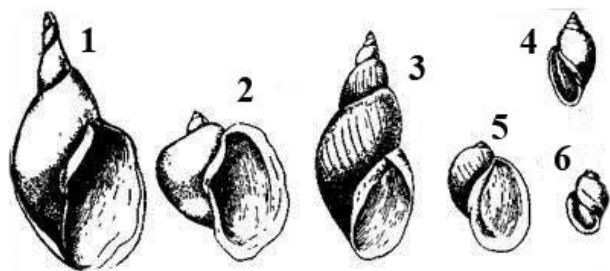
Haplotaxis gordioides



Lumbricidae

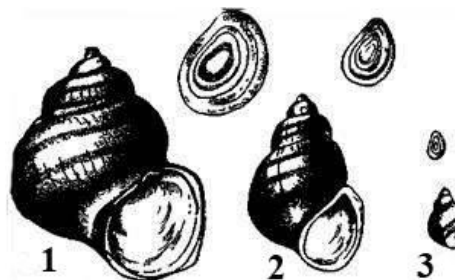
Моллюски (Mollusca)

Брюхоногие моллюски (Gastropoda)



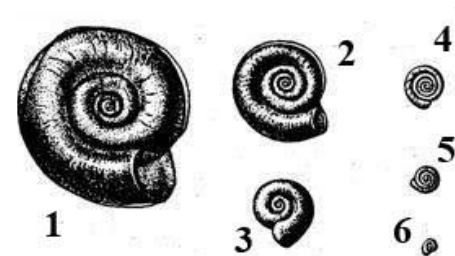
Прудовики:

- 1 — Обыкновенный прудовик (*Limnaea stagnalis*);
- 2 — Ушковый прудовик (*Limnaea auricularia*);
- 3 — Болотный прудовик (*Limnaea glabra*);
- 4 — Физа заостренная (*Physa acuta*);
- 5 — Яйцевидный прудовик (*Limnaea ovata*);
- 6 — Физа ключевая (*Physa fontinalis*)

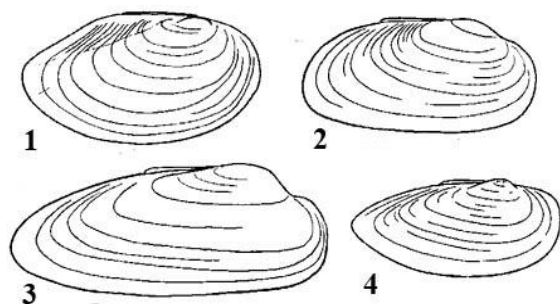


Лужанки и битиния:

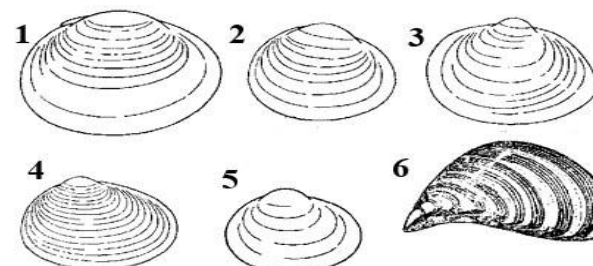
- 1 — Лужанка настоящая (*Viviparus viviparus*);
- 2 — Лужанка полосатая (*V. fasciata*);
- 3 — Битиния щупальцевая (*Bithynia tentaculata*)



1-6-Катушки: (*Planorbis*)

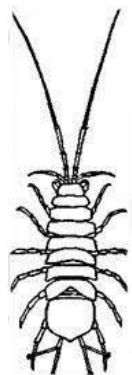


- 1 — Беззубка (*Anodonta piscinalis*) (60-130 мм);
- Перловицы: 2 - *Unio crassus* (60-80 мм); 3 — *Unio pictorum* (90-120 мм); 4 — *Unio tumidus* (50-110 мм)



- 1-3 — Шаровки (*Sphaerium*) (5-25 мм);
- 4-5 - Горошинки (*Pisidium*) (2-10 мм);
- 6 — Дрейссена (*Dreissena polymorpha*) (10-30 мм)

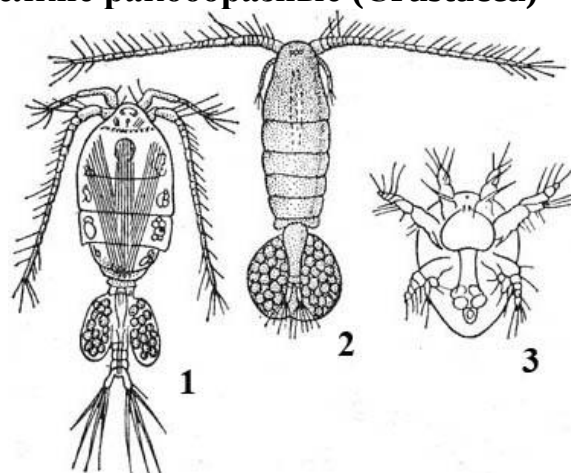
Мелкие ракообразные (Crustacea)



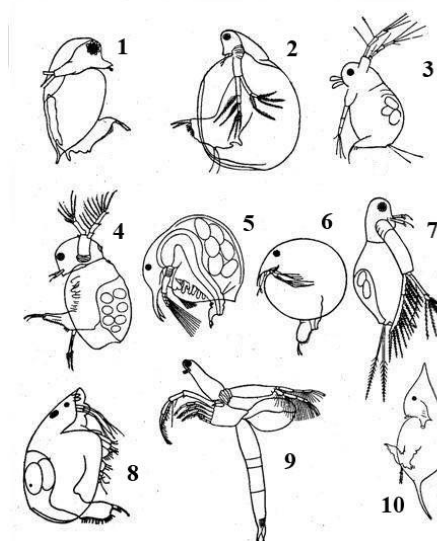
Водяной ослик
(*Asellus aquaticus*)



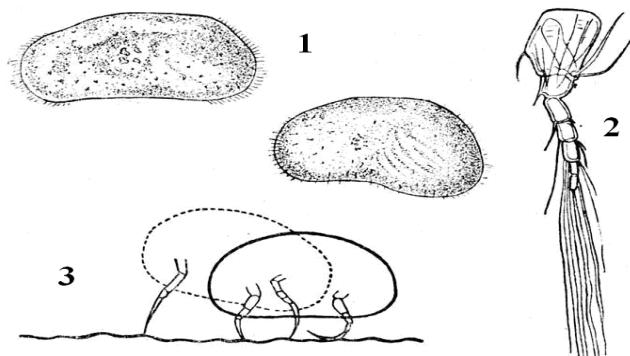
Бокоплав
(*Gammarus*)



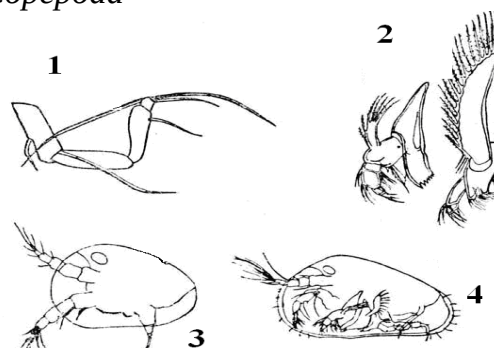
Веслоногие рачки (Copepoda):
1 — Циклоп; 2 — Диаптолиус; 3 — Молодь
Copepoda



Дафнии (Водные блохи):
1 — Дафния (*Daphnia pulex*);
2 — Симоцефалус (*Simocephalus vetulus*);
3 — Моина (*Moina*);
4 — Сиды (*Sida crystallina*);
5 — Босмина (*Bosminia longirostris*);
6 — Хидорус (*Chydorus sphaericus*);
7 — Диафанозома (*Diaphanosoma*);
8 — Линцеус (*Lynceus affis*);
9 — Лептодора (*Leptodora kindti*);
10 — Гиалодафния (*Hyalodaphnia cucullata*)

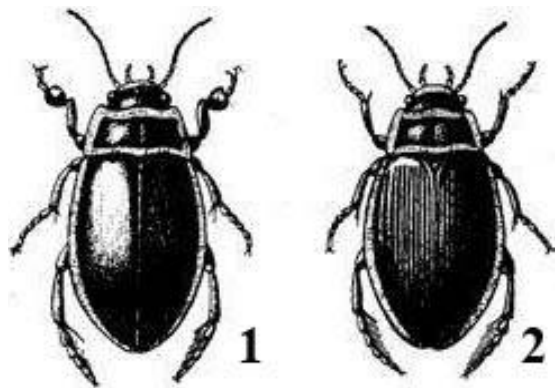


1 — Ракушковые рачки циприс (*Cypris reptans*) и кандона (*Candona candida*) (справа);
2 — Первая и вторая антенны ракушкового рачка (*Cypris acuteata*);
3 — Функция антенны и 2-й грудной ножки при ходьбе

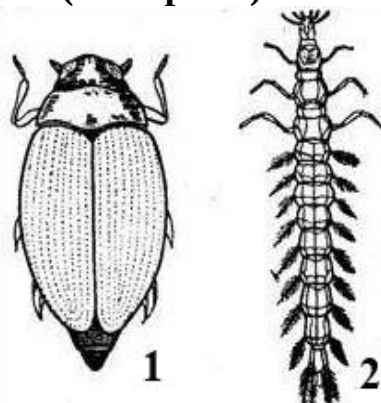


1 — Чистильная (3-я) ножка ракушкового рачка *Candona brevicornis*; 2 — Жвала и максима кандоны (*Candona*); 3 — Личинка первой стадии циприноотуса (*Cyprinotus incognens*); 4 — Личинка второй стадии циприноотуса

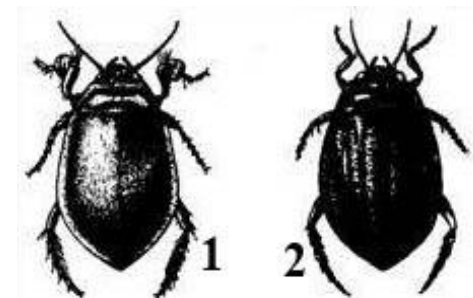
Жуки (Coleoptera) и их личинки



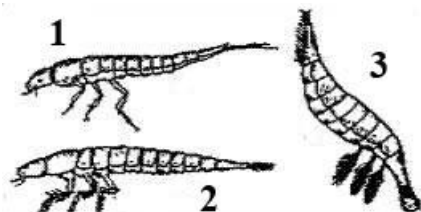
Плавунец окаймленный
(*Dytiscus marginalis*):
1 — Самец; 2 — Самка



Вертячка (*Gyrinus*):
1 — Взрослый жук; 2 — Личинка

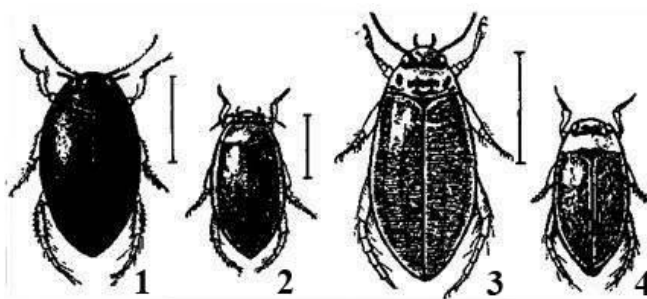


Плавунчик, или полоскун
(*Acilius sulcatus* L.):
1 — Самец; 2 — Самка



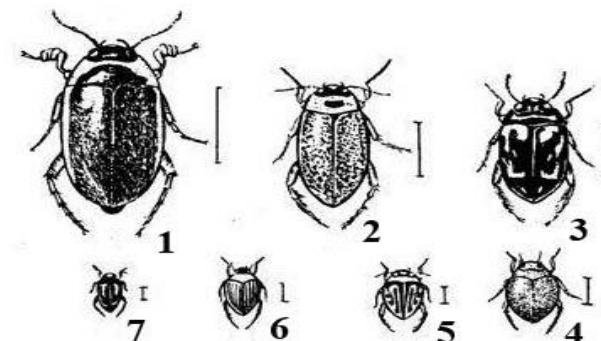
Личинки плавунчика и других
водных жуков:

- 1 — Гребца (*Agabus*);
- 2 — Прудовика (*Colymbetes fucus*);
- 3 — Плавунчика (*Acilius sulcatus*)



Мелкие плавунцы:

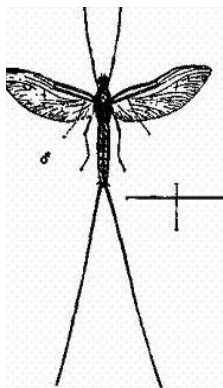
- 1 — Тинник черный (*Ilybius ater*);
- 2 — Тинник желтобокий (*Ilybius fuliginosus*);
- 3 — Прудовик полосатый (*Colymbetes striatus*);
- 4 — Ильник точечный (*Rhantus punctatus*)



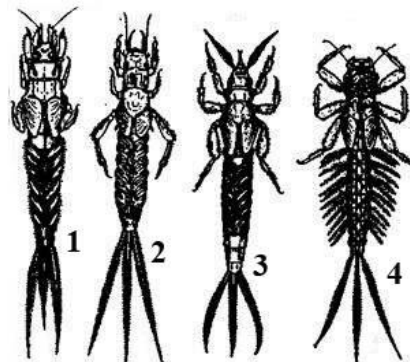
Мелкие плавунцы:

- 1 — Водяник (*Hydaticus transversalis*);
- 2 — Ильник (*Rhantus notatus*);
- 3 — Гребец (*Platambus maculatus*);
- 4 — Пузанчик (*Hyphydrus ferrugineus*);
- 5 — Пеструшка (*Hygrotus versicolor*);
- 6 — Желтушка (*Haliplus ruficollis*);
- 7 — Нырляка (*Hydroporus granularis*)

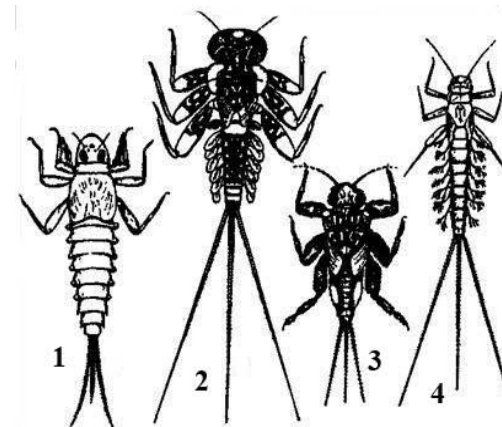
Подёнки (Ephemeroptera) и их личинки



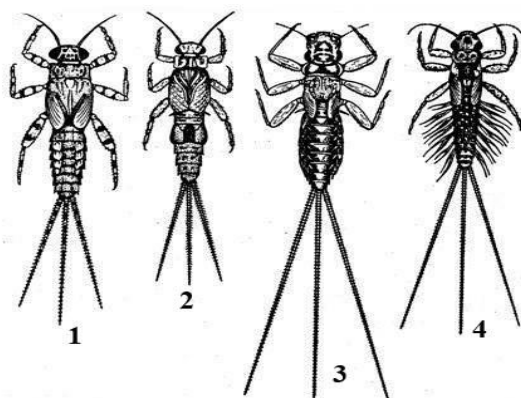
Самец двукрылой подёнки
(*Cloeon dipterum*)



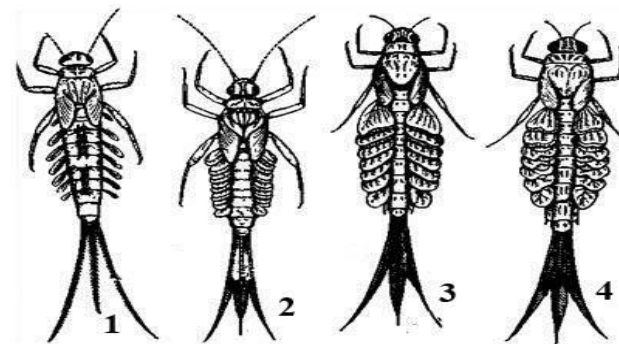
Роющие личинки подёнок:
1 — *Palingenia longicauda*; 2 —
Polymitarcis virgo; 3 — *Ephemerella vulgata*;
4 — *Potamanthus luteus*



Личинки подёнок из быстротекущих вод:
1 — *Oligoneuriella rhenana*; 2 —
Ecdyonurus forcipula; 3 — *Torleya belgica*;
4 — *Habrophlebia lauta*

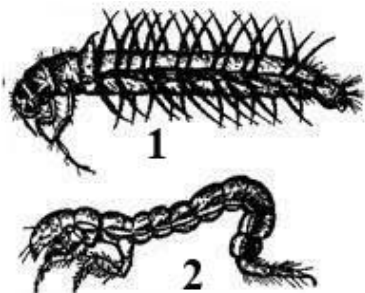


Ползающие личинки подёнок:
1 — *Ephemerella ignita*; 2 — *Caenis macrura*; 3 —
Choroterpes picteti; 4 — *Paraleptophlebia submarginata*



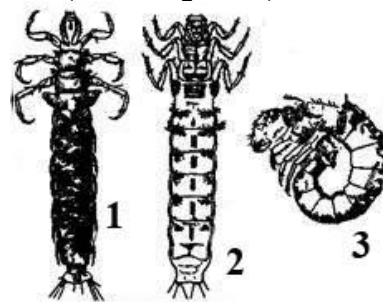
Плавающие личинки подёнок:
1 — *Baetis Rodani*; 2 — *Cloeon dipterum*; 3 — *Siphonurus*
aestivalis, 4 — *Siphurella linneana*

Ручейники (Trichoptera) и их личинки



Два типа личинок ручейников:

1 — Ручейник большой (*Phryganea grandis*), жабры личинки в приподнятом состоянии — у живой личинки они прижаты к телу;
2 — Личинка, не строящая чехликов, камподеовидной формы (*Holocentropus diiblus*)



Личинки ручейников, вынутые из чехликов:

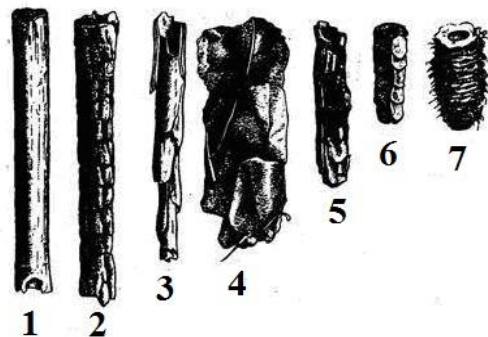
1 — *Phryganea*;
2 — *Odontocerum albicorne*;
3 — *Helicopsyche sperata*



Взрослый ручейник (*Glyphotaelius punctatoimeatus*)

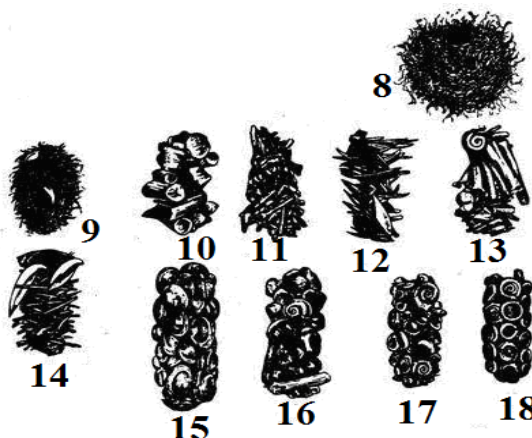


Куколка ручейника *Limnophilus*



Чехлики различных ручейников:

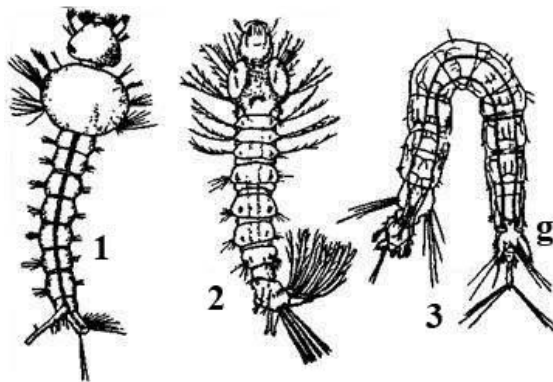
1 — Агрипния (*Agrypnia pagetana*); 2 — ручейник большой (*Phryganea grandis*); 3 — *Grammotaelius nitidus*; 4, 5 — *Glyphotaelius pellucidus*; 6 — *Platypteryx brevipennis*; 7 — *Limnophilus stigma*;



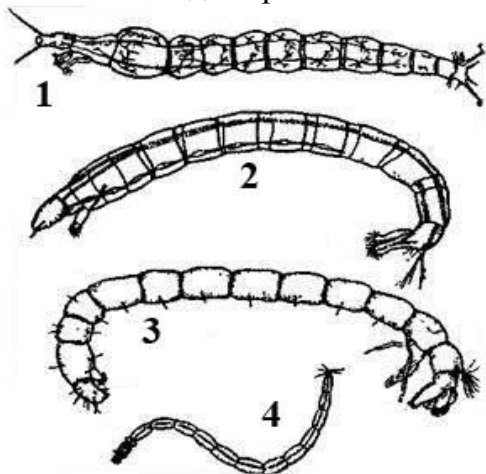
8-18 — *Limnophilus rhombicus* и *L. flavicornis*;



19 — Анаболия (*Anabolia nervosa*);
20 — *Stenophylax stellatus*;
21 — *Stenophylax rotundipennis*;
22 — Колчанка (*Limnophilus vitattus*);
23 — Моланна (*Molanna angustata*);
24 — Гоера (*Goera pilosa*)

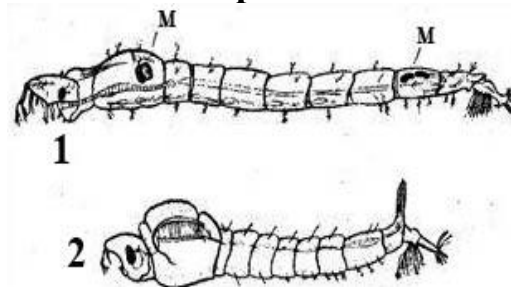


- 1 — Личинка обыкновенного комара (*Culex pipiens*);
 2 — Личинка малярийного комара (*Anopheles maculipennis*);
 3 — Личинка земноводного комарика (*Dixa amphibia*);
 g — Дыхательные отверстия, от которых начинаются два трахейных ствола



- Личинки комаров-звонцов, или хирономид (*Chironomidae*):
 1 — Личинка комара-толкунчика (*Tanypus monilis*); 2 — Личинка комара-толкунчика другого вида (*T. varlus*);
 3 — Личинка комара-дергуна (мотыль) (*Chironomus plumosus*);
 4 — Личинка бородатого комарика (*Ceratopogon*)

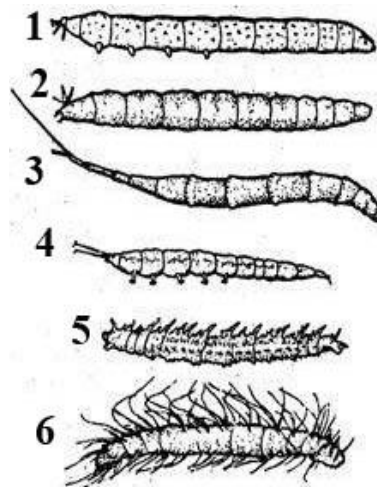
Личинки комаров



- 1 — Личинка коретры, или перистоусого комара (*Corethra plumicornis*);
 М — Воздушные мешки;
 2 — Личинка мохлоники, или комаровидного комарика (*Mochlonyx culiciformis*)

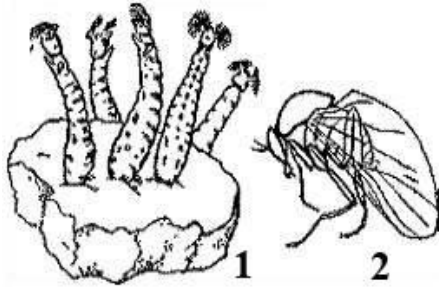


- Личинки и куколки комаров:
 1 — обыкновенный комар;
 2 — малярийный комар



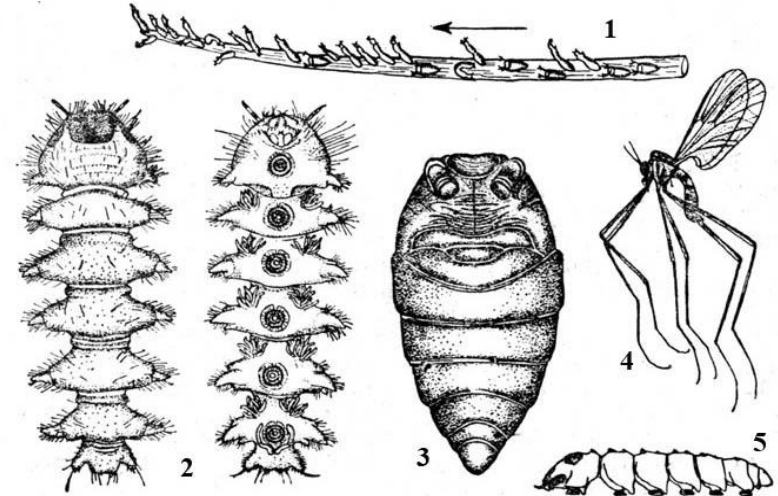
- Личинки комаров-долгоножек:
 1 — Педиция (*Pedicia rivosa*);
 2 — Карамора, или Типула максима (*Tipula maxima*);
 3 — Птихоптера (*Ptychoptera* sp.);
 4 — Дикранота (*Dicranota bimaculata*);
 5 — Диогма (*Diogma glabrata*);
 6 — Фалакроцера (*Phalacrocerata replicata*)

Мошки (Simuliidae) и их личинки

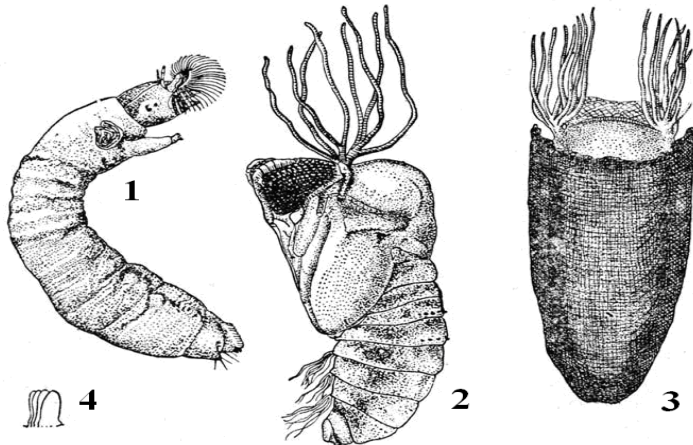


Мошкара (Simuliidae):

- 1 — Личинки на камне;
2 — Взрослое насекомое

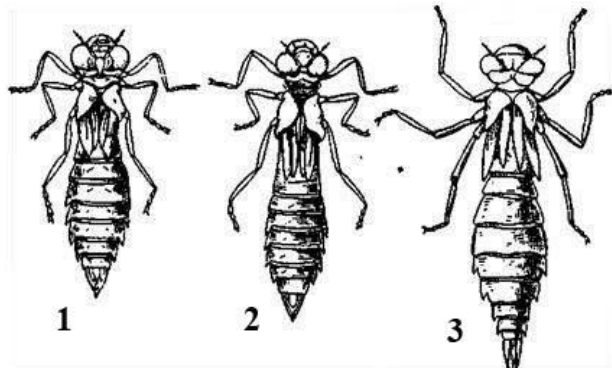


- 1 — Личинки мошек в воде на листе растения;
2 — Блефароцера (*Blepharocera*) личинка дорзально и вентрально;
3 — Блефароцера (*Blepharocera*) куколка;
4 — Imago блефароцеры (*Blepharocera fasciata*);
5 — Личинка блефароцеры (*Blepharocera*) сбоку



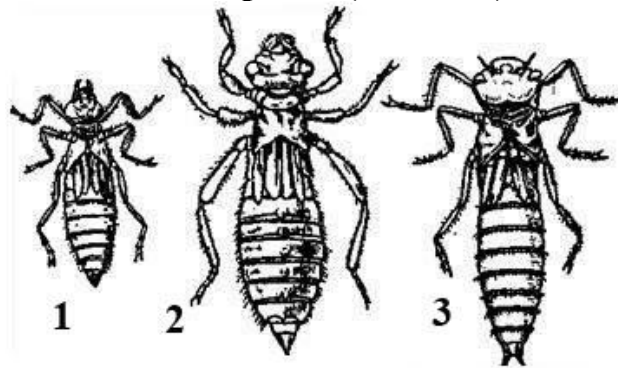
- 1 — Личинка мошки (*Simulium*);
2 — Куколка мошки;
3 — Куколка мошки в кармашке (*Simulium ornatum*);
4 — Дыхательные пластинки куколки *Bibioserphala*

Личинки стрекоз (Odonata)



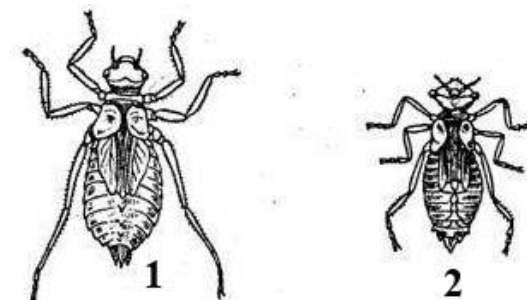
Личинки стрекоз типа стрекозы коромысла:

- 1-Коромысло большое (*Aeschna grandis*);
- 2- Коромысло голубое (*Aeschna cyanea*);
- 3- Коромысло зеленое (*Aeschna viridis*)



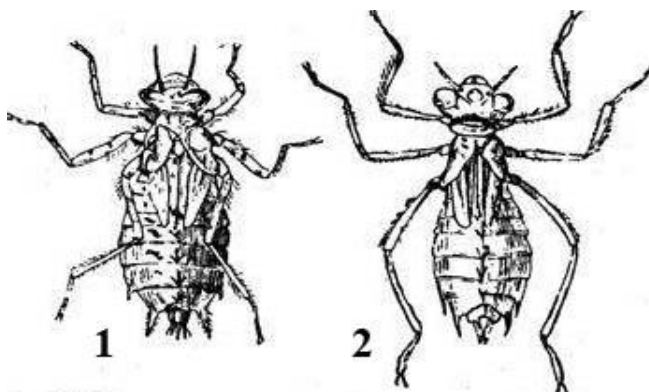
Личинки стрекоз типа стрекозы коромысла:

- 1 - Дедка (*Gomphus vulgipes*);
- 2 - *Onychogomphus uncatus*;
- 3- *Cordulegaster bidentatus*



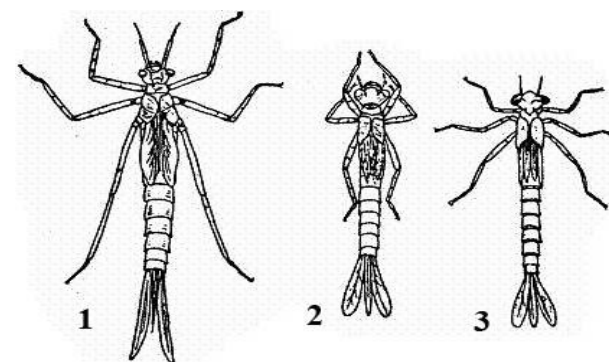
Личинки стрекоз типа настоящей стрекозы:

- 1- Настоящая стрекоза (*Libellula*);
- 2- Бронзовая Бабка (*Cordulia aenea*)



Личинки стрекоз типа настоящей стрекозы:

- 1 - Эпитека (*Epiptera bimaculata*);
- 2 - Леукокориния (*Leucorrhinia caudalis*)



Личинки стрекоз типа лютки:

- 1-Красотка (*Calopteryx*);
- 2-Стрелка (*Agrion*);
- 3-Эритромма (*Erythromma*)

Приложение 2

Общие правила по охране труда и технике безопасности при работе в лаборатории при проведении биотестирования

К работе в лаборатории студенты допускаются только после ознакомления с организацией её работы и правилами техники безопасности. Работать одному в лаборатории запрещается. Приступать к работе можно только в присутствии преподавателя или лаборанта. Работы выполняются строго в соответствии с методикой эксперимента. Следует бережно и аккуратно обращаться с посудой, приборами и предметами оборудования; разумно экономить реактивы, воду, газ и электричество.

Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать тишину, чистоту и порядок на своем рабочем месте и в лаборатории. Нельзя отвлекаться от работы и отвлекать других студентов. Запрещается держать на лабораторном столе портфель, сумку и другие посторонние предметы. Для них должно быть отведено специальное место. В лаборатории запрещается пить воду, принимать и хранить пищу, курить. В качестве рабочей одежды необходимо иметь хлопчатобумажный халат.

По завершении работы необходимо привести в порядок рабочее место. Не разрешается бросать в раковины бумагу, вату, стекло от разбитой химической посуды. Двери лаборатории держат закрытыми.

При эксплуатации биотестера запрещается:

- ставить прибор на мокрую поверхность и размещать заполненные пробамы кюветы на верхней крышке прибора;
- подключать прибор к источникам питания, параметры которых не соответствуют следующим параметрам (напряжение – 220 ± 22 В, частота – 50 ± 1 Гц).

Определение токсичности с помощью биотестера выполняется инженером, техником, лаборантом, освоившими технику работы с прибором и основные приемы биотестирования.

Условия выполнения измерений:

Измерения проводятся в нормальных лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 15150.

Температура окружающего воздуха, °С	- от +18° до +25°;
Относительная влажность воздуха, %	- не более 80 (при 25 °С);
Атмосферное давление, кПа	- от 84 до 106,7;
Инфузории тестируются в интервале температур	15-30 °С.

Учебное издание

Измайлова Надежда Леонидовна

Ляшенко Оксана Александровна

Антонов Иван Владимирович

Биотестирование и биоиндикация состояния водных объектов

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам
по прохождению учебной (ознакомительной) практики

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2014 г., поз. 59

Подп. к печати 26.05.14. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.

Печать офсетная 3,25 уч. – изд. л., 3,25. усл. печ. л. Тираж 100 экз. Изд. № 59.

Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.