МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

В. А. Сенкевич, Т. Г. Стойко

ГИДРОЭКОЛОГИЯ: МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Учебно-методическое пособие

Пенза
Издательство ПГУ
2021

УДК 592
С31

Р е ц е н з е н т
кандидат биологических наук,
начальник сектора контроля почв, отходов
и донных отложений Испытательной лаборатории
Филиала «ЦЛАТИ по Пензенской области»
ФГБУ «ЦЛАТИ по ПФО»
Г. Ф. Пашкова

Сенкевич, Виктория Александровна.

С31 Гидроэкология: материалы к практическим занятиям : учеб.-метод. пособие / В. А. Сенкевич, Т. Г. Стойко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. – 72 с.

Приведены задания для практических занятий, которые позволяют лучше освоить некоторые теоретические темы курса. На примере ветвистоусых ракообразных рассматриваются особенности адаптации к водной среде, цикломорфоз, биоразнообразие этих гидробионтов, приемы и методы изучения их биомассы, продукции, а также структуры сообщества. Иллюстрации в заданиях необходимы для лучшей ориентации при выполнении поставленных задач.

Издание подготовлено на кафедре «Зоология и экология» ПГУ и предназначено для обучающихся по направлению подготовки 06.03.01 «Биология» (профиль подготовки «Биоэкология»).

УДК 592

© Пензенский государственный
университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Занятие 1. Распределение температуры воды в озере по вертикали 5

Занятие 2. Адаптация гидробионтов к водно-солевым условиям среды 9

Занятие 3. Изучение строения и биологии представителей ветвистоусых ракообразных на примере дафнии 15

Занятие 4. Цикломорфоз ветвистоусых ракообразных 22

Занятие 5. Разнообразие ветвистоусых ракообразных 25

Занятие 6. Изучение сообщества ветвистоусых ракообразных 30

Занятие 7. Определение биомассы зоопланктона по номограммам 35

Занятие 8. Определение продукции зоопланктона 39

Занятие 9. Изучение экосистем пресных водоемов на примере Бентоса 50

Занятие 10. Изучение сообщества активного ила аэротенков 54

Приложение 1. Основные виды эпюр 59

Приложение 2. Таблица для определения групп пресноводных беспозвоночных, наиболее часто встречающихся в сборах Бентоса (длина тела не менее 3 мм) (Определитель…, 2016) 60

Приложение 3. Атлас фауны аэротенков городских очистных сооружений 63

Список литературы 69

Введение

Курс «Гидроэкология» является одним из фундаментальных, базовых в системе биологического образования. Он призван помочь студентам изучить некоторые вопросы этой дисциплины, углубленно исследовать одно из сообществ гидробионтов на примере ветвистоусых ракообразных, отработать навыки практических исследований этих и других беспозвоночных, особенности организации разных видов, биологию и основные направления функционирования в экосистемах. Полученные знания необходимы студентам для успешного усвоения материалов одного из курсов по специализации и выработке практических навыков изучения и наблюдения за природными системами.

Прохождение курса «Гидроэкология» невозможно без соответствующих лабораторно-практических занятий. Параллельно с теоретическим изучением основных проблем науки, необходимыми являются лабораторные занятия, на которых происходит знакомство с объектами изучения. На этих занятиях предполагается также приобретение навыков наблюдения, препарирования, постановки опытов, анализа лабораторного и полевого материала, биоиндикации различных водных объектов. Для изучения гидробионтов необходим живой и фиксированный материал.

Разбор и изучение объектов совершается не на основе объяснений преподавателя, а в результате самостоятельного изучения основной и дополнительной литературы. Поэтому прохождение практических занятий чрезвычайно расширяет круг знаний студента. Одна из задач преподавателя – стимулировать занимающегося к самостоятельному чтению, просматривать его конспекты, разъяснять непонятные места и т.п.

По ходу проработки лабораторных занятий приобретается также умение производить зарисовку анатомических и микроскопических препаратов, определение организмов, обрабатывать результаты опытов, что очень важно для исследовательской и практической работы.

Занятие 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ПО ВЕРТИКАЛИ

Цель: изучить сезонную динамику распределения температур по вертикали в озерах димиктического типа.

Контрольные вопросы:

1. Классификация озер по Д. Хатчинсону.
2. Дать характеристику эпилимниона, металимниона и термоклина.
3. Что такое температурный градиент?
4. От каких факторов зависит положение термоклина в озере?
5. В какие сезоны года в озерах умеренной полосы наблюдаются конвективные и инверсионные условия? Каковы их причины?
6. Что такое температурная гомотермия, дихотомия, прямая и обратная температурная стратификация?

Распределение температуры воды по глубине в пресных замерзающих озерах зоны умеренного климата обусловлено рядом закономерностей термического режима и его характерными особенностями, связанными, в первую очередь, с сезонными колебаниями теплообмена в озере и перемешиванием водной массы. Нагревание водоема происходит в основном от поступающей на поверхность воды солнечной радиации, в соответствии с годовым ходом которой изменяется и температура водной массы. Тепло проникает в глубину в результате *конвекции,* т.е. путем вертикального перемещения частиц воды в связи с их различной плотностью, а также в результате динамических явлений (волнения, течений). Нагревание и охлаждение глубинных слоев воды в озере путем конвекции происходит в пресных водоемах только в том случае, когда температура верхних слоев воды ниже или выше 4 °С (температура наибольшей плотности). При нагревании (в пределах от 0 до 4 °С) или охлаждении (при температуре выше 4 °С) верхних слоев воды увеличивается их плотность, что приводит к погружению слоев на глубину и замещению более легкими (менее плотными) глубинными слоями воды. Таким образом, возникающая вертикальная конвективная циркуляция обусловливается разной плотностью воды на различных глубинах. Конвективное перемешивание прекращается, когда вся вода в озере принимает однород-

ную температуру, равную температуре придонного слоя воды, а для неглубоких озер температура равна 4 °С, такое состояние в озере называется *гомотермией* (рис. 1, кривая 2) и характерно для переходных периодов термического режима – весны и осени.

При охлаждении воды до температуры ниже 4 °С поверхностные слои ее становятся легче нижележащих, более теплых и плотных слоев. В зимний период температура поверхностного слоя воды близка к 0 °С, с глубиной она увеличивается и у дна большинства водоемов находится в пределах 1,5–4,0 °С, иногда даже несколько выше 4 °С. Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рис. 1, кривая 1).

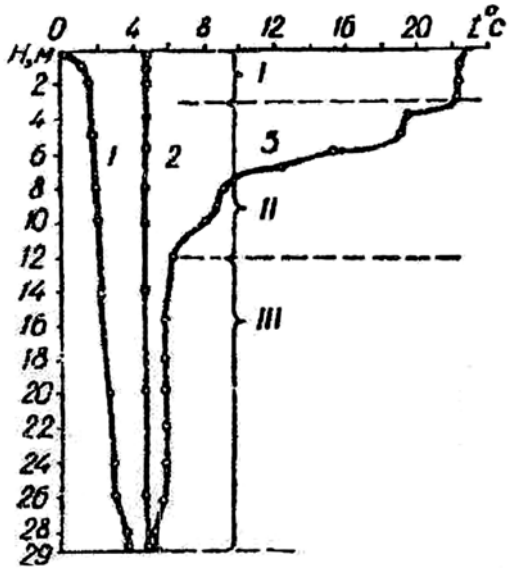


Рис. 1. Изменение температуры воды с глубиной 1 – в оз. Кривом 1 марта 1972 г.; 2 – 25 ноября 1971 г.; 3 – 29 июня 1970 г.; I – эпилимнион; II – металимнион; III – гиполимнион (Литвенкова, 2007)

После наступления весенней гомотермии при дальнейшем накоплении тепла в процессе весеннего и летнего нагревания озера верхние его слои становятся все более теплыми и легкими, а в нижерасположенных слоях вода будет холоднее и плотнее. Такое убывание температуры с глубиной называется *прямой термической стратификацией* (рис. 1, кривая 3). В глубоких пресных озерах зоны умеренного климата летом, при прямой термической стратификации, сильно и равномерно нагретый верхний слой воды – эпилимнион – подстилается более холодным глубинным слоем – гиполимнионом. Между эпилимнионом и гиполимнионом располагается слой температурного

скачка – металимнион (термоклин), в котором температура резко понижается с глубиной (см. рис. 1). В эпилимнионе создаются наиболее благоприятные условия жизни (обилие света, тепла, преобладание окислительных процессов), способствующие интенсивному развитию планктона. В металимнионе при резком падении температуры меняется газовый режим; нередко здесь отмечается массовая гибель микроорганизмов. В слое гиполимниона при отсутствии освещения погибают живые растительные организмы, уменьшается (нередко до нуля) содержание кислорода, иногда образуется, губительный для всего живого, сероводород. Положение слоя температурного скачка в озере и вертикальный градиент температуры в нем зависят от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гиполимниона.

Практическая работа

1. По данным наблюдений за температурой воды в озере на миллиметровой бумаге построить график распределения температуры воды по вертикали для периодов прямой и обратной термической стратификации и гомотермии (табл. 1). По оси ординат откладываются глубины (в метрах), по оси абсцисс – температура (°С). На график наносятся точки, соответствующие температуре воды на разных горизонтах измерения. Полученные точки соединяют плавной линией, которая характеризует распределение температуры воды от поверхности до дна водоема.

2. Выделить горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион, гиполимнион. Определить вертикальный градиент температуры ($\Theta = dt/dh$) (изменение температуры на 1 м глубины) в слое температурного скачка и его наибольшее значение $\Theta_{наиб}$.

3. Вычислить среднюю температуру ($t_{ср}$,°С) воды по вертикали для периода прямой термической стратификации от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гиполимниона. Она может быть вычислена с помощью графика распределения температуры воды по глубине; определяется как частное от деления площади эпюры (прил. 1), ограниченной на графике координатными осями, кривой распределения температуры воды и линией дна, на полную глубину вертикали:

$$t_{ср},°С = S / H, °С,$$

где S – площадь эпюры (см), H – глубина вертикали (м).

Таблица 1

Распределение температур воды с глубиной в оз. Кривом (Ушачская группа озер, Республика Беларусь)

Глубина (м)	01.03.1972	25.09.1971	29.06.1970
Поверхностная	0,2	4,8	23,1
1	1,2	4,8	22,6
2	1,5	4,8	22,6
3	–	–	22,6
4	–	4,8	19,6
5	1,7	–	19,4
6	–	4,8	15,4
7	–	–	12,4
8	1,9	4,8	9,3
9	–	–	8,9
10	2,0	4,8	8,2
12	–	–	6,2
14	2,2	4,8	6,2
16	–	–	5,9
18	–	–	5,9
20	2,7	4,8	5,9
22	–	–	5,9
24	3,0	–	5,9
26	3,1	4,8	5,6
28	3,7	–	5,2
29	3,8	4,8	5,2

Таким образом, на рис. 1 (кривая 3) слой температурного скачка расположен между глубинами 3 и 12 м, выше и ниже его – слои с относительно однородной, малоизменяющейся по глубине температурой воды. Изменение температуры в слое металимниона составляет 16,4 °С (от 22,6 до 6,2 °С) на 9 м глубины (12–3 м), а вертикальный градиент Ѳ = 1,8 °С на 1 м (16,4 / 9). Для определения наибольшего градиента температуры выбираем отрезок кривой в слое скачка с наибольшим перепадом температуры. В нашем примере $Ѳ_{нояб}$ = 4 °С на 1 м в слое 5–6 м.

Занятие 2

АДАПТАЦИЯ ГИДРОБИОНТОВ К ВОДНО-СОЛЕВЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

Цель: изучить особенности адаптаций гидробионтов к водно-солевым условиям среды; рассмотреть основных представителей стено- и эвригалинных организмов.

Контрольные вопросы:

1. Классификация вод по солености.
2. Особенности адаптации гидробионтов к водно-солевым условиям среды: пойкилосмотические гидробионты, гомойосмотические гидробионты.

Стеногалинные организмы. Типичные морские стеногалинные организмы отмечены почти во всех группах растений и животных. В пресноводных водоемах большинство растений и животных относится к стеногалинным организмам. Многие виды из жаброногих, ветвистоусых и веслоногих раков, коловраток, малощетинковых червей, водяных клещей, земноводных, моллюсков, рыб и многих других встречаются преимущественно или исключительно в пресной воде.

Солоноватоводные организмы. Сравнительно небольшое количество видов можно считать типичными мезогалинными, обитающими только в солоноватоводных водоемах. В качестве примера рассмотрим некоторых коловраток, обитающих в слабосоленых морях, Азовском и Каспийском (рис. 2).

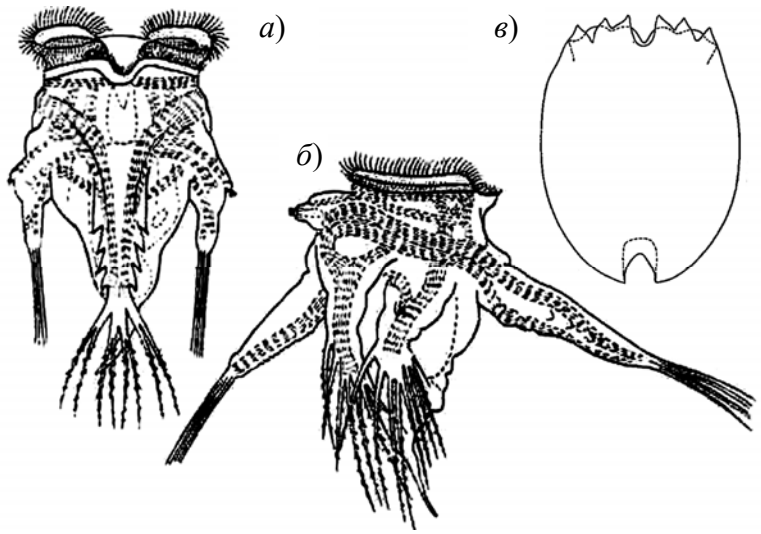


Рис. 2. Солоноватоводные организмы:
а – Hexarthra oxyuris с брюшной стороны, *б – Hexarthra oxyuris* сбоку;
в – панцирь *Brachionus plicatilis* (Кутикова, 1970)

Тело *Hexarthra oxyuris* имеет необычный для коловраток вид благодаря присутствию шести длинных рукообразных придатков, из которых брюшной (самый длинный) и спинной – одиночные, а боковые – парные. Эти придатки, при помощи которых *Hexarthra* делает большие прыжки, снабжены сильной мускулатурой, оканчиваются длинными перистыми плавательными щетинками. Тело имеет коническую форму, на заднем конце находится остроконечный вырост; по этому признаку *Hexarthra oxyuris* отличается от других видов *Hexarthra*, у которых задний конец тела закруглен. Имеется два глазка. Нога отсутствует.

Панцирь *Brachionus plicatilis* гладкий, сравнительно тонкий. На переднем конце панциря находится шесть зубцов; промежуток между средними зубцами глубже других. Основания зубцов вздутые, широкие, сами зубцы небольшие, острые. Брюшной край панциря подразделен на четыре округлые лопасти. На конце панциря находится отверстие для ноги, по бокам с варьирующими по длине отростками. Нога длинная, кольчатая (у фиксированных экземпляров часто втянута внутрь панциря), на конце с двумя небольшими пальцами. Имеется глаз. Мастакс большой, широкий. *Brachionus plicatilis* отличается от других видов *Brachionus* по форме передних зубцов и по отсутствию на панцире задних шипов.

Ультрагалинные организмы. Число типичных ультрагалинных видов (галобионтов) очень невелико. Чем больше концентрация солей в воде, тем меньшее количество видов может в ней жить. При очень большой степени концентрации в соленых озерах живут из водорослей *Dunaliella salina* и *Asteromonas gracilis* (оба вида относятся к Vovocaceae), а из животных только *Artemia salina* (рис. 3).

Артемии широко распространены в различных соленых озерах Европы, Азии и других частях света. Относятся к подотряду *Anostraca* отряда *Branchiopoda*. Тело вытянуто в длину, членистое. Голова небольшая; парные глаза стебельчатые; антеннулы нитевидные; антенны самок небольшие, а у самцов превращены в хватательный орган, конечные членики, которого несут большие плоские придатки. Грудные ноги, в числе одиннадцати пар, имеют вид широкой пластины (протоподит), внутренний край которой подразделен на эндиты; по наружному краю расположены эксоподит, эпиподит и преэпиподит. Брюшко образовано восемью сегментами. К последнему брюшному сегменту причленяются две плоские ветви фурки, вооруженные по краям щетинками.

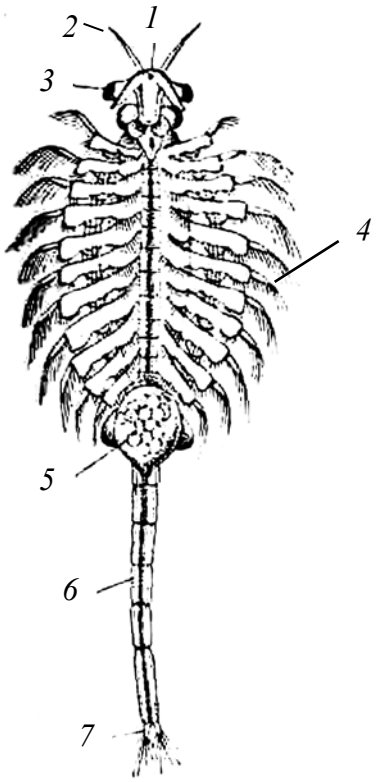


Рис. 3. *Artemia salina* с брюшной стороны:
1 – непарный глаз; *2* – первые антенны; *3* – непарный сложный глаз;
4 – грудные конечности; *5* – яйцевой мешок;
6 – брюшко; *7* – фурка (Иванов и др., 1946)

Число щетинок и размеры фурки варьируют в зависимости от количества растворенных в воде солей (рис. 4). В концентрированных растворах она почти не выражена. По мере ослабления концентрации солей обе ветви развиты все сильнее.

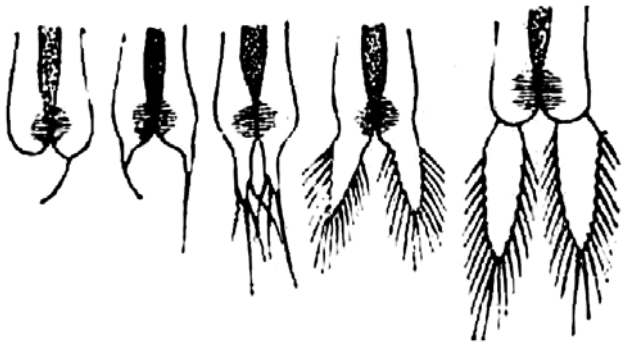


Рис. 4. *Artemia salina*. Конец абдомена с фуркой
в зависимости от концентрации солей
(Иванов и др., 1946)

Артемия обитает в соленых озерах, содержащих хлориды, карбонаты и сульфаты в различной концентрации вплоть до насыщенно-

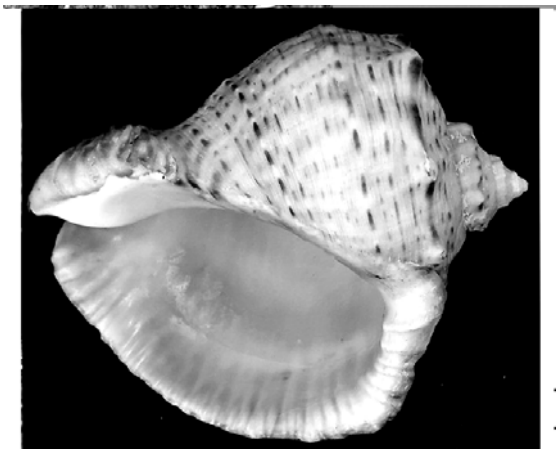
го состояния. Во многих водоемах, благодаря притоку пресных вод или испарению, концентрация солей может колебаться в широких пределах. Артемии представляют пример пластического организма, легкоизменяющегося под воздействием условий среды. Соответственно количеству растворенных в воде солей форма тела артемии претерпевает сильные изменения. Прежде всего, варьирует общая длина тела – от 20–30 мм при небольшой солености до 6–10 мм при значительной концентрации солей; относительная длина брюшка по отношению к длине груди возрастает параллельно увеличению количества растворенных солей; восьмой брюшной сегмент при незначительной солености более или менее ясно разделяется на два сегмента; таким образом, брюшко становится девятичленистым, в то время как в большинстве случаев оно имеет восемь сегментов; варьируют также по форме и размерам эпиподиты ног (жаберные придатки) и выросты антенн самцов. Однако наибольшими изменениями подвергается фурка (см. рис. 4). Как показали экспериментальные исследования, изменение концентрации солей влечет за собой соответствующие изменения морфологии организмов в течение двух-трех генераций.

Эвригалинные организмы. В качестве типичных представителей эвригалинных организмов рассматриваются виды бурых водорослей (*Fucus* и *Ascophyllum*), брюхоногих моллюсков (*Nucella* и *Littorina, Acmaea, Patella*), двустворчатых моллюсков *(Mytilus*), полихет (*Arenicola*), раков *(Gammarus*, *Pachygrapsus*). Эти организмы обитают на литорали северных морей или псевдолиторали южных морей, где наблюдаются резко выраженные изменения солености воды; некоторые из этих видов встречаются в массовых количествах в морях пониженной солености, например, в Балтийском и Азовском морях. Некоторые организмы проникли в прошлом веке в новые для них водоемы пониженной солености – Балтийское, Черное, Азовское и Каспийское моря (рис. 5).

Китайский мохнаторукий краб *(Eriocheir sinensis*) относится к семейству прибрежных крабов (Varunidae), представители которого распространены в тропических и умеренных водах Тихого океана. Карапакс краба округло-квадратной формы, его боковые почти параллельные края несут острые зубцы. Лобный край с четырьмя острыми выступами (лопастями). Обе клешни самцов густо покрыты длинными мягкими волосками, образующими род муфты; у самок волосяной покров клешней развит значительно слабее. Длина карапакса – до 7 см.

а)

б)



б)

Рис. 5. Эвригалинные иммигранты:
а – китайский мохнаторукий краб *Eriocheir sinensis;*
б – голландский пресноводный краб *Rhithropanopeus harrisi tridentatus*;
в – Rapana thomasiana

Китайский краб распространен по азиатскому побережью Желтого и Восточно-Китайского морей к югу от Кореи до широты Тайваня, проникает также в реки, в которых поднимается на значительное расстояние. Вместе с балластной водой океанских судов краб был завезен в начале прошлого века (вероятно, около 1912 г.) в устьевые участки Эльбы и Везера. Отсюда он распространился на юг до Бельгии и на север до Финского и Ботнического заливов. В европейских реках краб поднялся на расстояние десятков и даже сотен километров от моря. Типичный представитель эвригалинных крабов. Относится к числу вредителей, разрушает берега, дамбы и плотины своими норами, портит рыболовные сети. В бассейне р. Волга китайский мохнаторукий краб впервые был обнаружен в 1970-е гг., а затем в 1995

и 1996 гг. в районе г. Саратов (Аникин, 2002, Золотухин, Назаренко, 2002), в 1995 г. в Рыбинском водохранилище (Slynko et al., 2002).

Краб *Ryithropanopeus harrisi tridentatus* относится к семейству Panopeidae и отличается следующими признаками. Лобный край карапакса широкий, гладкий, с небольшой срединной выемкой. Рострум отсутствует. Боковые края карапакса вооружены тремя зубцами. Клешни короткие, мощно развитые, правая клешня обычно больше левой, но встречаются и обратные соотношения. Абдомен самки состоит из семи свободных сегментов, у самцов третий, четвертый и пятый сегменты слиты в один большой. Длина карапакса – 1,7–2,0 см. Основная форма – *Rh. harrisi* – обитает в солоноватых и пресных водах атлантического побережья Северной Америки. В 1970-х гг. прошлого столетия краб на судах был пассивно перевезен в Европу, в залив Зейдерзее, где образовал подвид *Rh. harrisi tridentatus.* В 1930-х гг. краб был перевезен также судами из Зейдерзее в Черное море, где впервые был обнаружен в Днепровском лимане. В последующие годы он распространился на восток, проник в Азовское море и, после открытия Волго-Донского канала, в Каспийское море. Этот краб известен также из слабосоленых водоемов Болгарии и Румынии. В Европе краб встречается исключительно в солоноватых водах, в настоящее время широко распространился по берегам Северного и Балтийского (до Вислинского залива) морей.

Дальневосточная рапана, *Rapana thomasiana,* относится к семейству пурпурных моллюсков *Muricidae*, обладает крупной толстостенной раковиной, с большим последним оборотом и тупозубчатыми спиральными ребрами. Внутренняя поверхность раковины окрашена в красивый оранжево-розовый цвет. Высота раковины достигает 12 см. Основное местообитание рапаны находится в Японском море, где она встречается в прибрежных заливах и бухтах в воде пониженной солености. В послевоенные годы океанскими судами рапана была пассивно завезена в Черное море. Впервые была обнаружена в 1947 г. в Новороссийской бухте. В течение нескольких лет моллюск широко распространился по кавказскому и крымскому побережью. Хищник, в Черном море рапаной уничтожены почти все устричные банки.

Практическая работа

Изучить типичных представителей стено- и эвригалинных организмов в водоемах с различной соленостью. Зарисовать внешнее строение, отметить адаптивные особенности морфологии.

Занятие 3

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И БИОЛОГИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ НА ПРИМЕРЕ ДАФНИИ

Цель: изучить особенности строения и биологии дафнии. Познакомиться с образом жизни.

Контрольные вопросы:

1. Особенности строения ветвистоусых ракообразных.
2. Строение грудных конечностей.
3. Размножение ветвистоусых ракообразных.
4. Что такое эфиппиумы? Как они образуются? Их значение.

Отряд *Anomopoda* (=*Cladocera*) – Ветвистоусые раки. Свое название отряд получил благодаря наличию у этих ракообразных длинных двуветвистых антенн, служащих для передвижения. К ветвистоусым относятся мелкие планктонные рачки, тело которых покрыто карапаксом в виде двустворчатой раковины. Обитают они в основном в пресных водоемах, реже – в морях.

Строение дафнии. Тело дафнии, кроме головного отдела, заключено в карапакс, имеющий вид двустворчатой хитиновой раковины (рис. 6).

Ее поверхность мелко скульптурирована. Между створками на брюшной стороне имеется небольшая продольная щель, через которую внутрь раковины попадает вода. Задний конец карапакса вытянут в острый каудальный шип. Он увеличивает общую площадь поверхности тела рачка, что, помимо прочего, способствует парению в толще воды, а также служит для защиты, затрудняя проглатывание дафний хищниками.

Голова дафнии вытянута в клювообразный вырост – рострум. На голове расположен непарный фасеточный глаз, образовавшийся в результате слияния двух глаз. Он находится в постоянном движении благодаря специальным мышцам. Это хорошо заметно у живых дафний. Ниже лежит непарный науплиальный глазок. Под рострумом прикрепляются едва заметные антеннулы. Антенны по сравнению с ними мощные, двуветвистые. Каждая антенна состоит из протоподита, к которому причленяются четырехчленистый экзоподит (наружная ветвь) и трехчленистый эндоподит (внутренняя ветвь), не-

сущие плавательные щетинки. Мандибулы дафнии имеют вид мощных нерасчлененных пластинок. Максиллы развиты слабо.

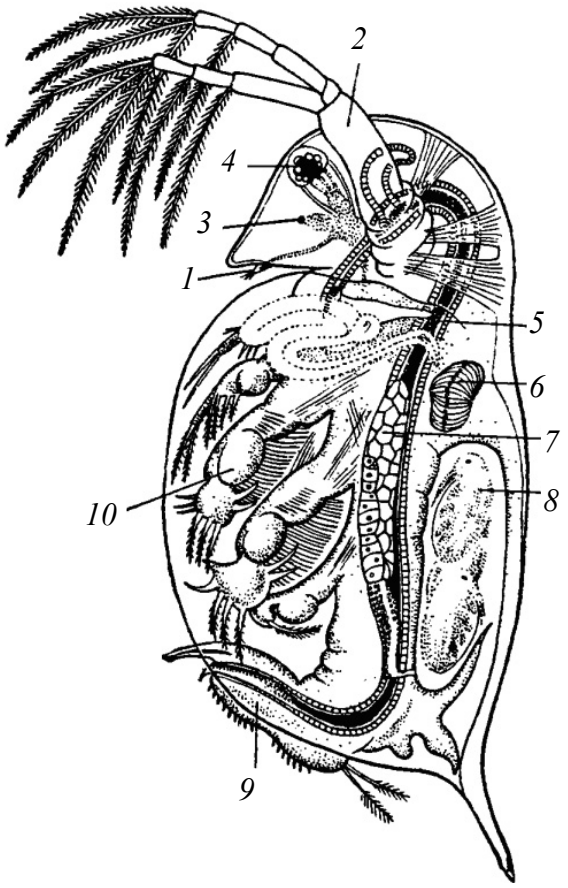


Рис. 6. Строение дафнии:
1 – передняя антенна; *2* – задняя антенна; *3* – науплиальный глаз; *4* – фасеточный глаз; *5* – кишечник; *6* – сердце; *7* – яичник; *8* – эмбрионы в выводковой сумке; *9* – постабдомен; *10* – грудная ножка (Ebert, 2005, с изменениями)

Грудной отдел дафнии не имеет следов сегментации и о числе входящих в его состав сегментов можно судить по количеству грудных конечностей. У дафнии их пять пар (см. рис. 6). Они имеют листовидную форму, но отличаются по строению в связи со специализацией в выполнении разных функций (рис. 7). Грудные конечности работают в непрерывном режиме, обеспечивая процесс питания и дыхания. Все конечности несут наружные (экзиты) и внутренние (эндиты) выросты. Ближайшие к основанию экзиты – эпиподиты – выполняют функцию жабр. Наименьшие размеры имеет первая пара грудных ножек. Они несут длинные перистые волоски. Вторая пара конечностей имеет в основании особый максиллярный вырост с щетинками. Эти ножки являются хватательными. Третья и четвертая пары конечностей отличаются наиболее крупными размерами и имеют

вид пластинок, несущих с внутренней стороны множество щетинок. Прилегая друг к другу, эти щетинки образуют фильтрующий аппарат, удерживающий взвешенные в воде частицы. Пятая пара ножек отличается наличием длинной крючковидной щетинки, загнутой назад. Вода попадает внутрь раковины сквозь щель между створками, фильтруется через фильтр, образованный щетинками третьей и четвертой пар ножек. Пищевые частицы поступают в брюшной желобок и склеиваются в пищевой комок. С помощью максиллярных выростов второй пары конечностей он продвигается к головному отделу, где измельчается при помощи мандибул. Пятая пара ног ограничивает фильтрующую камеру и вместе с четвертой парой направляет ток воды из раковины.

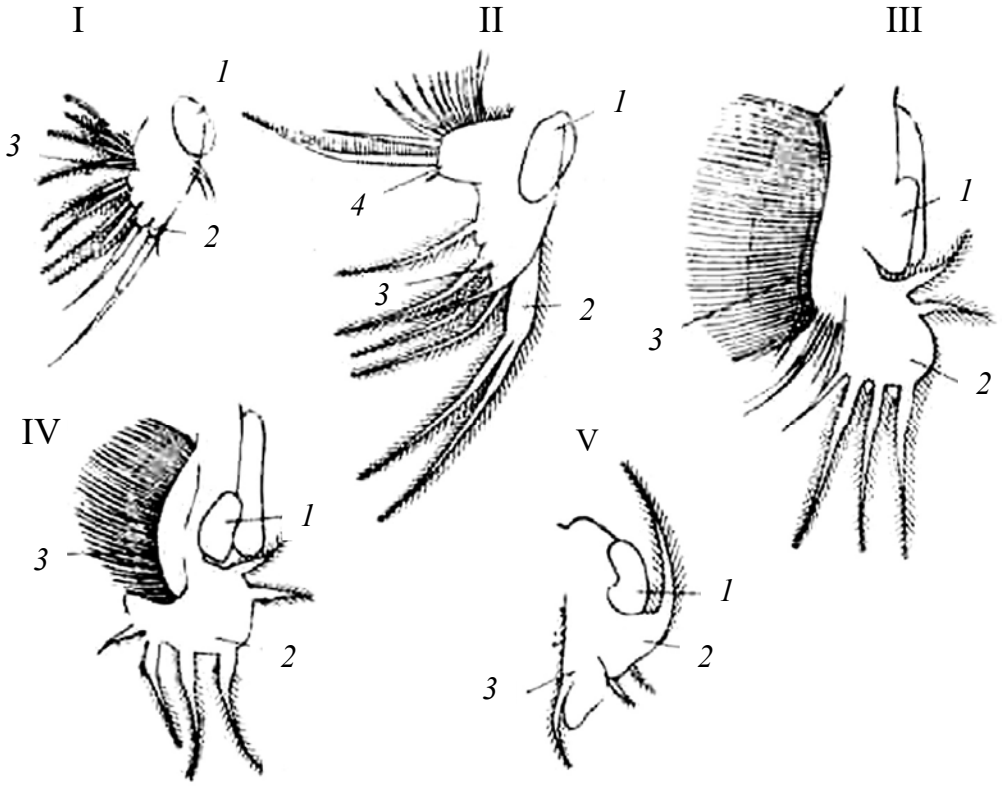


Рис. 7. *Daphnia pulex*. Грудные конечности I – V (вид сбоку):
1 – эпиподиты: *2* – экзиты; *3* – эндиты;
4 – максиллярный вырост 2-й пары грудных конечностей
(Иванов и др., 1946)

Брюшной отдел тела дафнии короткий, не разделен на сегменты и лишен конечностей. Он загибается на брюшную сторону и заканчивается двумя коготками. На спинной стороне брюшко несет две длинные щетинки. Между спинным краем раковины и спинной поверхностью тела самок дафний имеется особая полость. Сюда поступают

яйца и здесь же происходит развитие эмбрионов. Эта полость носит название выводковая камера. Она замыкается на заднем конце особыми спинными выростами. При подгибании брюшка спинные выросты открывают выход из камеры, и молодые дафнии, готовые к самостоятельной жизни, покидают материнский организм.

Пищеварительная система дафний хорошо заметна благодаря пище, заполняющей кишечник. Кишечник имеет вид трубки, тянущейся через все тело. В месте соединения энтодермальной средней кишки с эктодермальным пищеводом открываются два печеночных выроста. Анальное отверстие находится на конце брюшка между каудальными коготками.

На спинной стороне тела расположено сердце, имеющее вид небольшого мешочка. Под микроскопом хорошо заметны отдельные клетки, из которых состоит стенка сердца, они прилегают друг к другу, как дольки апельсина. Сердце несет пару остий по бокам и отверстие на переднем конце. Настоящие кровеносные сосуды отсутствуют. Благодаря пульсации сердца, которая хорошо заметна при малом увеличении микроскопа на живых объектах, гемолимфа циркулирует по лакунам тела. Гемолимфа бесцветна, но содержит растворенный гемоглобин. При недостатке кислорода в водоемах, в которых живут дафнии, их гемолимфа приобретает розовую окраску вследствие увеличения содержания гемоглобина. Выделительная система дафний представлена парой хорошо развитых максиллярных желез, которые расположены в сегменте максилл II. Они трудно различимы.

У живых дафний при малом увеличении микроскопа хорошо виден головной мозг, расположенный впереди оснований антенн. От него отходят нервы к глазам и окологлоточные коннективы, огибающие пищевод и идущие к подглоточному ганглию. Последний иннервирует антенны. Для ветвистоусых раков характерна примитивная нервная система лестничного типа.

Половая система самок дафний представлена парными яичниками, которые лежат по бокам кишечника ниже уровня сердца. Короткие яйцеводы открываются в выводковую камеру. Здесь развиваются летние партеногенетические яйца или зимние яйца, развитие которых происходит только после оплодотворения. Летние яйца мельче по размерам, чем зимние. Следует рассмотреть временные препараты живых дафний с летними яйцами и эмбрионами в выводковой камере или использовать тотальные препараты.

Оплодотворенные яйца образуются при наступлении неблагоприятных условий (например, осенью, при увеличении плотности

населения ветвистоусых рачков в водоеме, недостатке корма и т.п.). Зимних яиц в выводковой камере редко бывает больше двух. Эти яйца покрыты защитной оболочкой, в образовании которой принимает участие материнский карапакс: на спинной стороне дафнии вокруг выводковой камеры формируется эфиппиум, или седлышко, темно-коричневого цвета (рис. 8).

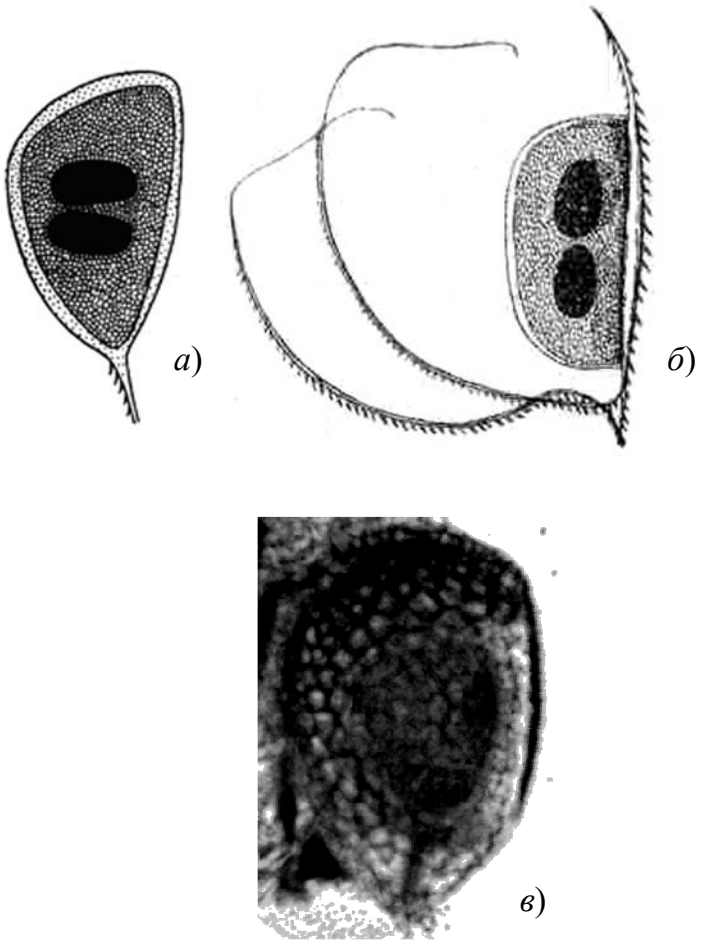


Рис. 8. Эфиппиумы:
а – Daphnia pulex; *б – Daphnia magna* (Иванов и др., 1946);
в – Moina brachiata

После линьки эфиппиум сбрасывается и парит в толще воды за счет многочисленных камер в его стенке, наполненных воздухом. Благодаря этим камерам при рассмотрении эфиппиума под микроскопом его стенки кажутся мелкоячеистыми. Дафний с эфиппиумами или отдельно эфиппиумы необходимо рассмотреть на тотальных препаратах.

Самцы *Daphnia pulex* появляются в естественных водоемах обычно осенью. Они имеют гораздо меньшие по сравнению с сам-

ками размеры. В связи с отсутствием выводковой камеры спинной край карапакса самцов невыпуклый. На голове нет рострума, а антенны более развиты в отличие от самок. Особые крючковидные придатки антеннул и первой пары грудных конечностей способствуют удержанию самки во время спаривания. Семенники располагаются по бокам кишечника, так же, как и яичники самок. Половые отверстия открываются на конце брюшка рядом с анальным отверстием.

Практическая работа

Материал. Типичным представителем отряда является обычный, встречающийся в небольших стоячих водоемах, вид *Daphnia magna* (семейство Daphniidae). Дафнии легко разводятся в аквариумах в лабораторных условиях, и при комнатной температуре и хорошем питании культура может поддерживаться в течение всего года. Питаются дафнии бактериями и микроскопическими водорослями (например, как *Chlorella*). Этого ветвистоусого рачка можно также кормить суспензией из сухих дрожжей. В таких благоприятных условиях рачки размножаются партеногенетическим способом.

1. *Изучить особенности строения дафний* (см. рис. 6). Для этого необходимо отловить пипеткой живую дафнию и поместить в каплю воды на предметное стекло с лункой. Чтобы ограничить подвижность рачка, излишки воды следует убрать, воспользовавшись фильтровальной бумагой. Препарат рассмотреть под бинокуляром в проходящем свете и зарисовать общий вид.

2. *Провести наблюдения за движением дафний*. Для этого планктонных рачков следует поместить в высокую энтомологическую пробирку, цилиндр или химический стакан. Благодаря коротким и сильным взмахам антенн они совершают поступательные скачкообразные движения вверх и вперед, за что, собственно, они и получили свое название – «водяная блоха». Центр тяжести тела дафнии находится ниже основания антенн, поэтому в момент опускания антенн тело рачка наклоняется, а в момент взмаха снова выпрямляется. После совершенного скачка дафния некоторое время парит в толще воды, при этом расправленные антенны играют роль парашюта, препятствуя быстрому погружению рачка. Зарисовать траекторию движения дафнии и изменение продольной оси дафнии (рис. 9).

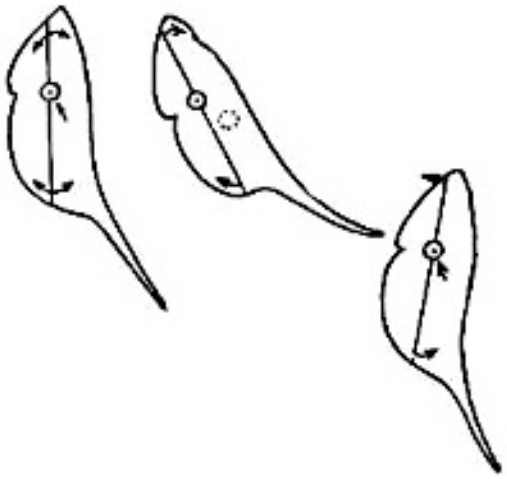


Рис. 9. Изменение положения продольной оси дафнии
при движении (Иванов и др., 1946)

3. *Изучить строение конечностей* (см. рис. 7). Отпрепарировать антенны и грудные конечности дафнии и зарисовать.

Занятие 4

ЦИКЛОМОРФОЗ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Цель: изучить сезонную изменчивость организмов планктона на примере ветвистоусых ракообразных.

Контрольные вопросы:

1. Объяснить понятие «цикломорфоз».
2. Для каких организмов планктона характерна сезонная изменчивость и в чем ее причины?

Цикломорфоз (или сезонная изменчивость) наиболее резко выражен у пресноводных планктонных организмов, относящихся к диатомеям *(Asterionella, Tabellaria)*, перидинеям *(Ceratium)*, коловраткам *(Keratella, Brachionus*) и ветвистоусым ракам (пелагические *Daphnia* и *Bosmina).* Это явление, причины которого еще не вполне ясны, наблюдается у организмов, имеющих в течение года большое число генераций, получающихся в результате деления клеток у водорослей или партеногенетического размножения у животных. У литоральных организмов, а из пелагических у тех, которые имеют только одно или два поколения в течение года, цикломорфоз не проявляется. Наблюдая в естественных водоемах развитие организмов в течение года, можно видеть, как изменяется форма тела особей, последовательно друг за другом идущих генераций, причем нередко эти изменения настолько резко проявляются, что, не зная генетической связи отдельных форм, легко счесть их за самостоятельные виды. После изучения сезонной изменчивости пелагических коловраток и ветвистоусых раков многочисленные прежние «виды» были сведены в небольшое количество видов.

Обычными видами в планктоне озер являются дафнии – *Daphnia cucullata* и босмины – *Bosmina coregoni.* Относятся они к моноциклличным видам, в течение всего теплого времени года размножаются партеногенетически и только осенью переходят к обоеполому размножению. Цикл заканчивается отложением латентных яиц. Партеногенез у популяций, живущих в больших озерах, продолжается и в зимний период.

Рассматривая следующие друг за другом генерации *D. cucullata*, легко обнаружить большие изменения в их внешнем виде, совершающиеся с течением времени (рис. 10).

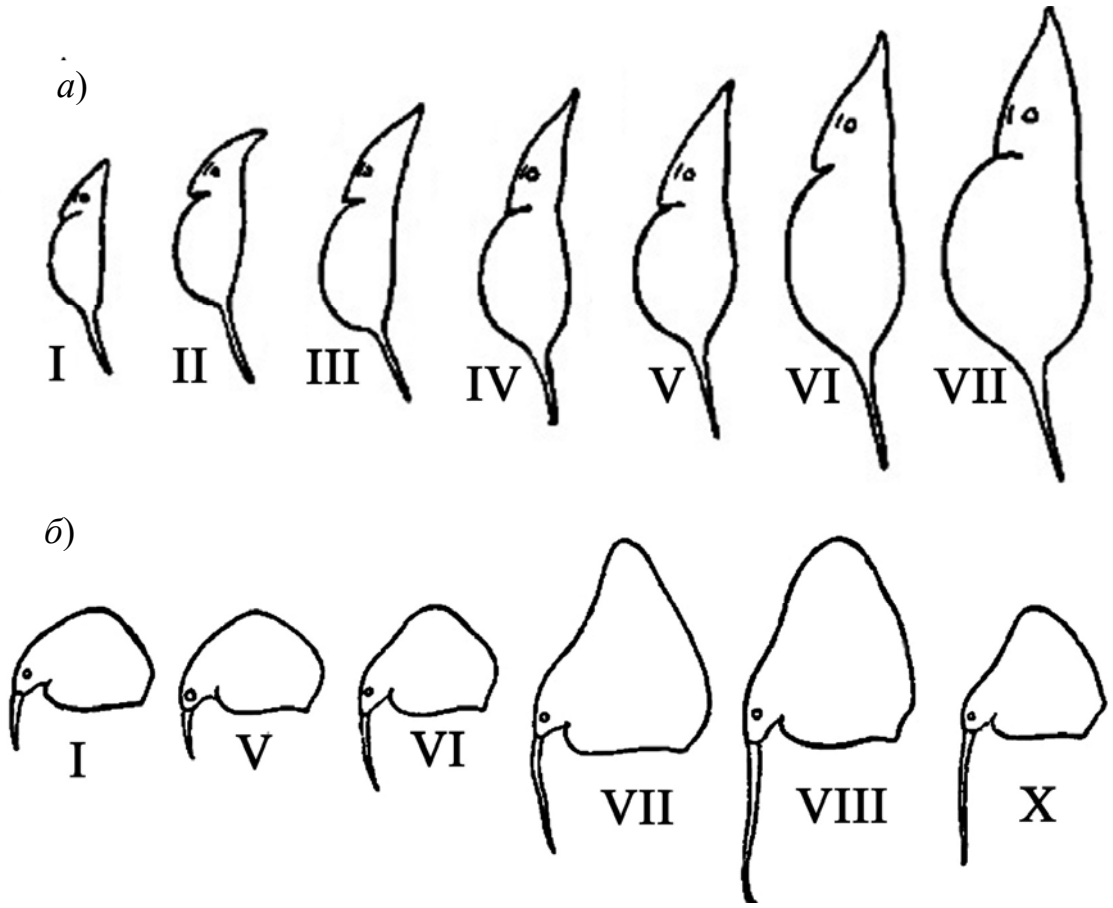


Рис. 10. Цикломорфоз:
а – Daphnia cucullata; *б – Bosmina coregoni*.
Римскими цифрами обозначены месяцы
(Иванов и др., 1946)

Зимние формы, обладающие небольшой головой, при наступлении весеннего потепления, когда температура воды в течение короткого времени, измеряемого приблизительно тремя неделями, повышается до 12–16 °С, дают новое поколение, отличающееся от материнского сильным развитием передней части головы, образующей так называемый шлем. Иногда в выводковой камере зимней формы, пойманной в это время, могут быть обнаружены эмбрионы с заостренными шлемами. При дальнейшем развитии популяции образуются типичные летние генерации, характеризующиеся сильным развитием шлема, в несколько раз удлиняющего голову, и сохраняющие свои признаки в течение всего лета. С приближением холодного времени года изменения идут в обратном порядке и появляющиеся осенью эмбрионы обнаруживают отсутствие шлема. *Daphnia cucullata* распадается на ряд вариететов, отличающихся степенью развития шлема у особей летних генераций, в зимние месяцы вариететы неразличимы.

Практическая работа

1. Рассмотреть и зарисовать сезонные изменения дафнии и босмины. Отметить характерные особенности морфологии в теплый и холодный периоды года.

2. Изложить все известные гипотезы цикломорфоза планктонных гидробионтов.

Занятие 5

РАЗНООБРАЗИЕ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Цель: изучить часто встречаемые виды ветвистоусых ракообразных в водоемах Пензенской области.

Контрольные вопросы:

1. Дать характеристику основных отрядов и семейств ветвистоусых ракообразных.
2. Какие экологические и трофические группы можно выделить среди ветвистоусых ракообразных?
3. Почему ветвистоусых ракообразных используют для оценки трофического статуса водного объекта и качества воды?

Семейство Sididae

Diaphanosoma brachiurum – мелкий рачок (0,7–1,3 мм), типичный для пресноводного планктона. Обитает в водоемах всех типов. Имеет узкую прямоугольную голову и длинные постабдоминальные щетинки. У рачка *Sida crystallina* длина тела до 4 мм. Вид отмечен повсеместно в прибрежье озер, водохранилищ и рек среди макрофитов. Большую часть времени рачки проводят, прикрепившись к различным субстратам с помощью прикрепительных органов.

Семейство Daphniidae

Виды рода *Ceriodapnia* – планктонные формы, обычны в мелких водоемах или в прибрежье крупных. Эфиппиум со сложной и разнообразной скульптурой и одним яйцом.

Виды рода *Daphnia* встречаются и часто доминируют во всех типах водоемов – от медленных луж до крупных озер. Обычно дафнии держатся в толще воды и населяют в крупных водоемах пелагиаль, но многие виды способны также ползать по субстрату и иногда держаться на дне водоемов. Некоторые виды переносят значительное осолонение (рис. 11).

В прибрежной зоне озер, прудов, водохранилищ и луж обычен *Scapholeberis mucronata*, имеющий длину 1,5 мм. Вентральный край створки его карапакса прямой и переходит в вырост. *Scapholeberis* имеет на нижнем крае раковины не смачиваемые щетинки, благодаря которым способен прикрепляться к поверхностной пленке воды и скользить по ней спинной стороной вниз. Эфиппиум с продольными килями и одним яйцом.

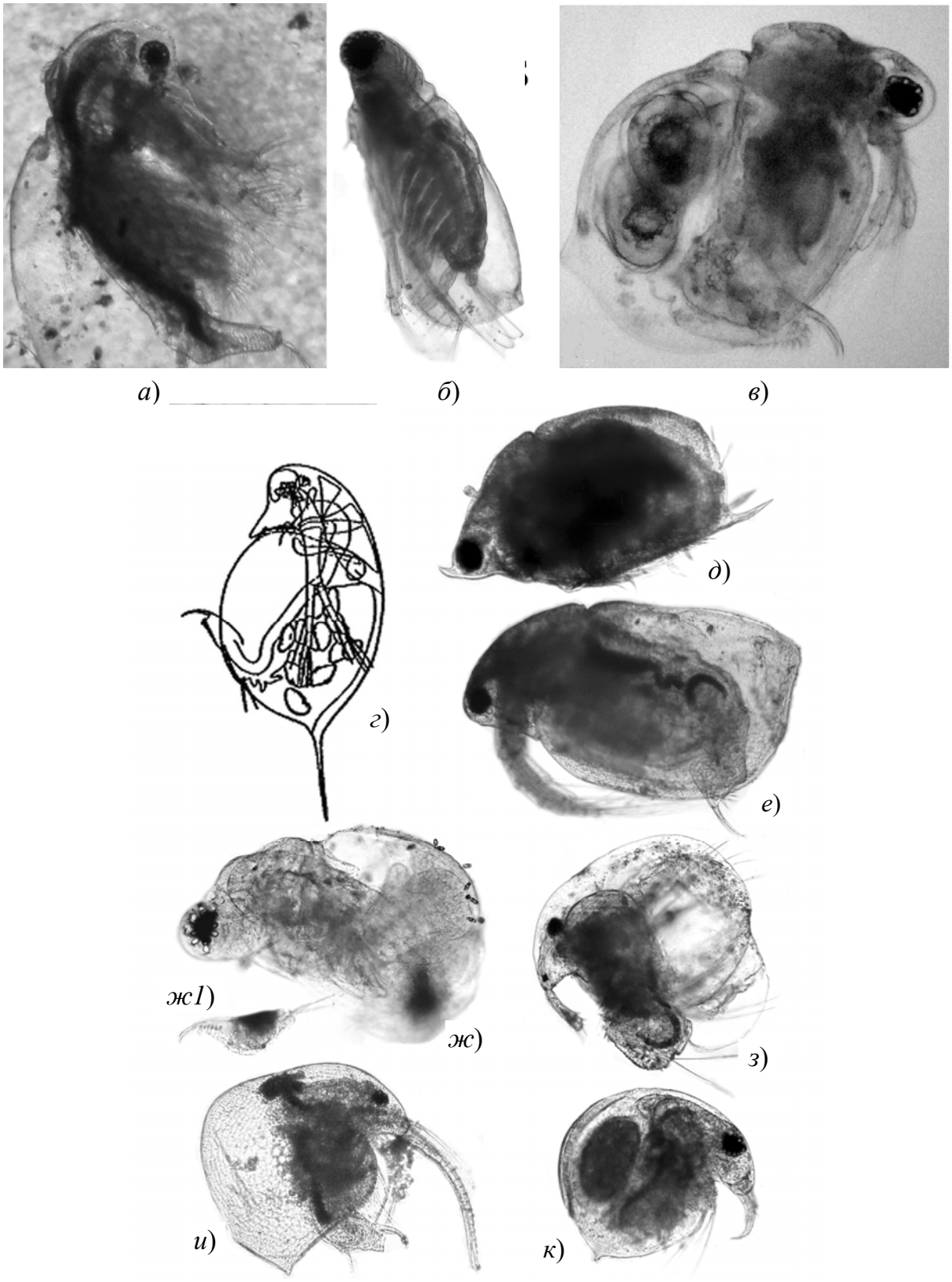


Рис. 11. Ветвистоусые ракообразные, переносящие осолонение:
а – Sida crystallina; *б – Diaphanosoma brachiurum*; *в – Ceriodapnia pulchella*;
г – Daphnia longispina; *д – Scapholeberis mucronata*;
е – Simocephalus vetulus; *ж – Moina brachiata*, (*ж1* – постабдомен);
з – Macrothrix hirsuticornis; *и – Bosmina coregoni*; *к – B. longirostris*

Виды рода *Simocephalus* обычны в зарослях прибрежной и литоральной зон стоячих и медленно текучих водоемов. Это крупные рачки (длина до 4 мм) с маленькой головой и плоским телом, часто окрашенным в розоватый цвет. Спинной край их карапакса выпуклый, не имеет заднего шипа. Большую часть времени проводят, прикрепившись к различным поверхностям (стеблям, листьям и пр.) при помощи щетинок экзоподитов плавательных антенн. Эфиппиум со скульптурой в виде круглых выступов, содержит одно яйцо.

Семейство Moinidae

В России один род *Moina*. Длина тела вида *Moina brachiata* – до 1,6 мм. Обычный вид. Эфиппиум с одним покоящимся яйцом и обычно с хорошо выраженной скульптурой.

Семейство Macrothrichidae

Тело овальное, умеренно сжатое с боков. Голова большая, рострум обычно развит, к нему прикрепляются антеннулы. Постабдомен широкий с маленьким коготком. Виды семейства обитают в прибрежье больших пресных и солоноватых озер, а также во временных водоемах. Длина одного из пяти видов рода *Macrothrix hirsuticornis* – до 2 мм.

Семейство Bosminidae

Мелкие формы, имеющие укороченное, более или менее овальное тело. У представителей этого семейства антеннулы крупные и срастаются с рострумом в виде клювовидного придатка. Антенны небольшие.

Задненижний край створок обычно шилообразно удлинен, образуя вырост. Обычными видами являются *Bosmina coregoni*, *B. longirostris* (длина 0,6 мм), плавающие в толще воды.

Семейство Eurycercidae

Тело овальное. Постабдомен большой, широкий, сильно сжат с боков, с длинным пильчатым преанальным краем. Эфиппиум слабо хитинизирован, с многочисленными яйцами. Единственный вид в Палеарктике *Eurycercus lamellatus* весьма обычный. Длина – до 4 мм (рис. 12).

Семейство Chydoridae

В прибрежной и литоральной зонах небольших водоемов обычны *Chydorus sphaericus*, мелкие рачки с шаровидным телом, длиной 0,4 мм.

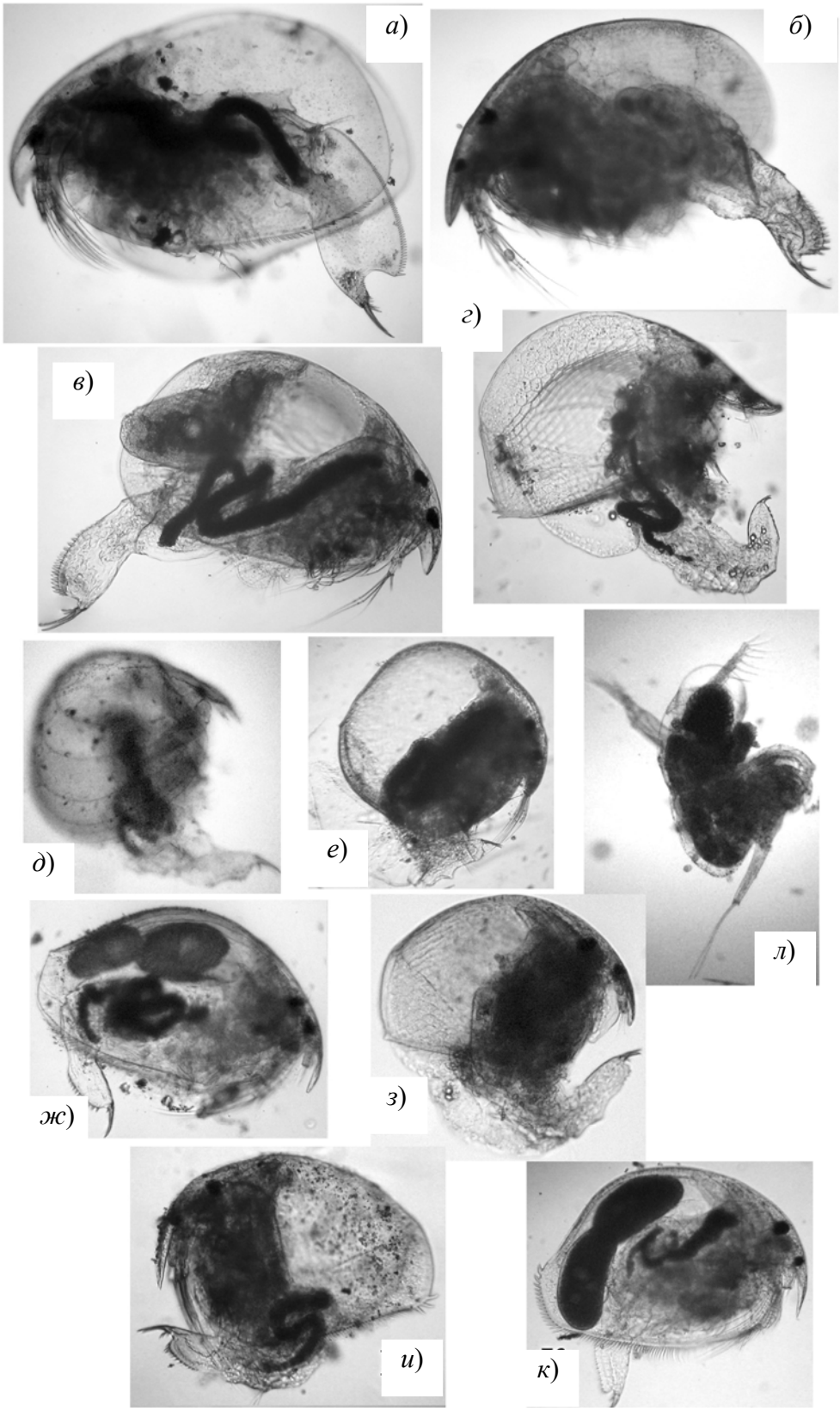


Рис. 12. Ветвистоусые ракообразные:
а – Eurycercus lamellatus; *б – Alona* sp., *в – Alona quadrangularis*; *г – Graptoleberis tesrtudinaria*; *д – Monospilus dispar*; *е – Chydorus sphaericus*; *ж – Disparalona rostrata*; *з – Alonella exigua*; *и – Pleuroxus uncinatus*; *к – P. truncatus*; *л – Polyphemus pediculus*

Круглая форма карапакса служит защитой от врагов, например, веслоногих раков. Хидорусы могут, поплавав немного, садиться на водоросли и ползать по ним, удерживаясь щетинками края раковины и отталкиваясь второй парой грудных ног и брюшком. В зоне зарослей встречаются виды рода *Alona* и близких к нему родов – мелкие рачки, имеющие овальную раковину со спрямленными по брюшному краю створками. Полиморфный вид *Graptoleberis tesrtudinaria*, длиной до 0,85 мм, отмечен среди высшей водной растительности. Партеногенетические самки из рода *Monospilus* сохраняют все створки от предыдущих линек. Единственный вид *M. dispar* имеет длину тела до 0,5 мм, обитает в открытой литорали озер. Один из видов рода *Disparalona – D. rostrata –* обитает в открытой литорали озер. Виды рода *Pleuroxus* населяют открытую литораль озер – *P. uncinatus*, а также заросли растительности, как *P. truncatus*.

Семейство Polyphemidae

Polyphemus pediculus – это хищные ветвистоусые рачки, длиной 1,2 мм. Обитают в литоральной зоне крупных водоемов. Раковина сильно редуцирована и не закрывает грудные конечности. Имеют крупные фасеточные глаза на крупной голове, хорошо обособленной от остальной части тела. Четыре пары очень подвижных грудных ножек не несут фильтрационного аппарата, снабжены крепкими шипами и служат для захвата и удерживания добычи. Задний конец брюшка вытянут в виде хвостового придатка с плавательными щетинками.

Практическая работа

1. Из зафиксированных в растворе формалина проб пресноводного планктона изучить видовое разнообразие ветвистоусых ракообразных. Для определения использовать рис. 11 и 12 и определитель (Определитель…, 2010).
2. После знакомства с разными видами рачков зарисовать их и оформить таблицу видового состава исследуемого водного объекта.

Занятие 6

ИЗУЧЕНИЕ СООБЩЕСТВА ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Цель: используя законсервированные пробы с Пензенского водохранилища и других водных объектов, научиться определять организмы зоопланктона, подсчитывать численность и биомассу, сравнивать пробы из разных станций водоема с целью оценки качества воды.

Контрольные вопросы:

1. Основные структурные параметры сообществ гидробионтов.
2. Часто используемые индексы анализа сообществ гидробионтов.
3. Структурные параметры сообщества зоопланктона для оценки сапробности и трофического статуса водоемов.

Практическая работа

Оборудование и материалы: чашки Петри, предметные и покровные стекла, бинокуляр, микроскоп, препаровальные иглы, градуированная пипетка, мерный цилиндр, камера Богорова, сифон (тонкая стеклянная трубка с загнутым на 2 см вверх концом; на противоположном ее конце насажен резиновый шланг с грушей). Конец сифона следует обтянуть самым плотным газом № 77.

1. Пробу (50 л воды, процеженной через сеть Апштейна) сконцентрировать, удалив большую часть воды с помощью сифона. При этом следует помнить, что организмы, находящиеся в верхних слоях пробы, могут попасть в сифон. Поэтому конец его должен находиться в среднем слое пробы.
2. Приведенную к известному объему пробу (100 мл) перелить в мерный цилиндр.
3. Градуированной пипеткой взять небольшую часть осадка.
4. В счетной камере рассмотреть под бинокуляром, определить видовой состав (Определитель…, 2010; прил. 1) и записать в стандартные таблицы для обработки проб (табл. 2). Определить визуально, какие виды являются массовыми, какие малочисленными, какие единичными. После этого порцию непременно нужно влить в общую пробу во избежание потери организмов при подсчете.

Таблица 2

Форма для записи результатов обработки количественных проб зоопланктона

Учреждение _____
Водоем _____ Номер станции _____
Местонахождение станции _____
Количество профильтрованной воды _____ Дата _____

Вид	Число экземпляров в порционной пипетке в двух повторностях		в 1 м^3		Примечание
	1	2	численность	биомасса	

5. Пробу равномерно перемешать и ее часть пипеткой, объемом 2 см^3, перенести в счетную камеру Богорова и в ней просчитать число организмов каждого вида. Эту операцию провести дважды, после чего всю пробу просмотреть под микроскопом в чашке Петри для определения и подсчета редких и крупных видов.

6. Число организмов в порциях пересчитать на весь объем пробы и записать в специальную карточку. Если при изучении планктона стоит задача получить данные по морфологии различных видов, то обработку необходимо сопровождать их зарисовкой.

7. Рассчитать численность (количество организмов в 1 м^3) зоопланктона:

$$x = 1000\, n / V,$$

где n – количество организмов в пробе, экз., V – объем воды, процеженной через сеть, л.

8. Рассчитать биомассу. Для этого индивидуальную массу каждого организма (табл. 3) умножить на его численность.

9. Проанализировать структуру сообщества ветвистоусых рачков Пензенского водохранилища:

а) оценить доминантность видов по численности и биомассе:

$$d = (N / \Sigma N) \times 100\ \%,$$

где N – численность (или биомасса) особей данного вида; ΣN – общая численность (или биомасса) особей всех видов.

Таблица 3

Средний вес организмов, мг

Ветвистоусые рачки	
Зародыш дафний (икринки)	0,001
Leptodora kindtii, Polyphemus pediculus, Bosmina coregoni	0,5 (с яйцами 0,55)
Sida crystallina	0,06 (с яйцами 0,07)
Leydigia sp.*, Bosmina longirostris, Chydorus sphaericus, Acantoleberis* sp.*, Rhynchotalona* sp.*, Alona* sp.*, Alonella* sp.*, Macrotrix* sp.	0,01–0,02
Daphnia magna	0,233–0,5
Daphnia longispina, D. cucullata, Diaphanosoma brachyurum	0,045–0,06
Daphnia pulex	0,05–0,06
Moina rectirostris, Ceriodaphnia sp.	0,031–0,04

Характеризуя каждое сообщество доминантов, выделить в пределах $10 < d < 100$, субдоминантов – $1 < d < 9{,}99$, субдоминантов первого порядка – $0{,}1 < d < 0{,}99$ и второстепенные члены – $d < 0{,}099$.

Абсолютную численность гидробионтов перевести в частоту встречаемости h в соответствии со шкалой, представленной в табл. 4.

Таблица 4

Соотношение значений относительного обилия и частоты встречаемости организмов

Встречаемость	Количество экземпляров одного вида, % общего количества	h, баллы
Очень редко	< 1	1
Редко	2–3	2
Нередко	4–10	3
Часто	10–20	5
Очень часто	20–40	7
Масса	40–100	9

б) рассчитать индекс сапробности (S) по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sladecek, 1973) по формуле

$$S = \sum sh / \sum h,$$

где s – индикаторная значимость (табл. 5), h – частота встречаемости вида.

Индекс сапробности в пределах 4,0–3,5 соответствует полисапробной; 3,5–2,5 – альфамезосапробной; 2,5–1,5 – бетамезосапробной; 1,5–1,0 – олигосапробной зонам.

Таблица 5

Видовой состав и индикаторная значимость ветвистоусых ракообразных (Cladocera) в поверхностном слое Пензенского водохранилища

Виды	Индикаторная значимость (*s*)	
Alona rectangula Sars	о	1,3
Acroperus harpae (Baird)	о-β	1,4
Bosmina coregoni Baird	о	0,95
B. longirostris (Müller)	о-β	1,55
Chydorus sphaericus (Müller)	β	1,75
Daphnia cucullata Sars	β-о	1,75
D. longispina Müller	о	1
Eurycercus lamellatus (Müller)	о	1,2
Leptodora kindtii (Fock)	о-β	1,65
Peracantha truncata (Müller)	о	1,3
Polyphaemus pediculus (Linnaeus)	о	1,3
Pleuroxus aduncus (Jurine)	о	1,2
P. uncinatus Baird	о-β	1,4
P. trigonellus (Müller)	β	1,7
Scapholeberis mucronata (Müller)	β	2
Simocephalus vetulus (Müller)	о-β	1,5
Sida crystallina (Müller)	о	1,3

Примечание. β, β-α, β-о – виды мезоэвтрофного типа; о, о-β – виды олигомезотрофного типа.

в) вычислить соотношение числа видов-индикаторов мезоэвтрофного и олигомезотрофного типов:

$$E / O \text{ (см. табл. 4)},$$

где E – коэффициент трофии $E = K \times (x + 1) / (A + V) \times (y + 1)$, K – число видов коловраток, A – ветвистоусых, V – веслоногих, x – число мезоэвтрофных видов, y – олигомезотрофных;

г) индекс Шеннона:

$$H = -\Sigma(N_i/N) \times \log_2(N_i/N),$$

где N_i – численность каждого вида, N – численность всех видов в сообществе;

г) оценить трофический тип водоема и степень загрязнения по сапробности согласно рассчитанным показателям, используя табл. 6.

Таблица 6

Показатели для оценки трофического типа и сапробности водоема. Классы качества

Трофический тип	Олиготрофный	Мезотрофный	Эвтрофный	Экстремальный
Индекс Шеннона	2,6–4,0	2,1–2,5	1,0–2,0	< 1
Показатель трофии, *E* / *O*	< 0,5	0,5–1,5	1,5–5,0	> 5
Коэффициент трофии, *E*	< 0,2	0,2–1,0	1,0–4,0	> 4
Индекс Пантле и Букк, *S*	0,5–1,5	β-*m* 1,51–2,5 α-*m* 2,51–3,5	3,51–4,0	> 4
Шкала оценки качества воды	Олигосапробные. Чистые. 1, 2 класс	Мезосапробные. Умеренно загрязненные и загрязненные. 3, 4 класс	Полисапробные. Грязные. 5 класс	Очень грязные. 6 класс

д) сделать и записать выводы.

Занятие 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА ПО НОМОГРАММАМ

Цель: научиться определять массу сырого вещества одним из косвенных методов.

Контрольный вопрос: описать методы определения биомассы зоопланктона.

Определение массы сырого вещества. При определении массы сырого вещества используются как *косвенные методы*, так и прямое взвешивание водных организмов.

Большая часть косвенных методов заключается в определении объема тела организма. При этом удельный вес сырого вещества гидробионтов обычно принимают равным единице. Большинство косвенных методов разработано для тех случаев, когда требуется определить сырую массу мелких, чаще всего планктонных организмов.

Для определения веса организмов волюминометрическим методом используются приборы разной конструкции, измеряющие объем организмов в пробе – волюменометры. При работе с волюменометром П. И. Усачева в модификации В. Н. Грезе объем рассчитывается по изменению уровня заполняющей прибор жидкости до и после внесения в него исследуемых объектов. Волюминометрические методы дают наиболее удовлетворительные результаты при определении биомассы больших проб (порядка нескольких сотен мг), так как наличие в пробах различных примесей существенно влияет на величину ошибки получаемого результата.

Часто используют соотношение между линейными размерами и массой животных, которое может быть аппроксимировано степенной функцией (Камшилов, 1958). Иногда используют метод геометрического подобия. При этом форму тела организмов приравнивают к каким-либо простым геометрическим телам (шар, эллипс, цилиндр, конус и т.п.), измеряют необходимые для расчета параметры и по известным формулам определяют объем. Вес тела водных организмов по размерам и форме без идентификации вида можно определить по номограммам Л. Л. Численко (1968). К недостаткам описанных методов относится трудоемкость и недостаточная точность полученных результатов, особенно когда тело имеет сложную форму.

Каждый из этих способов имеет свои источники ошибок и не может считаться абсолютно точным, но последний, при наличии соответствующих номограмм, наиболее прост и оперативен. Масса тела вычисляется по длине тела с помощью номограммы, учитывающей форму тела организма. Здесь приводятся номограммы, разработанные Л. Л. Численко (1968), для рачков подклассов *Copepoda* и *Cladocera*.

Практическая работа

1. Из предложенной пробы выбрать по три вида ветвистоусых рачков.

2. Прямым измерением нескольких особей каждого вида определить среднюю длину тела изучаемого организма.

3. Используя рис. 13, установить тип формы тела организма и соответствующее ему число.

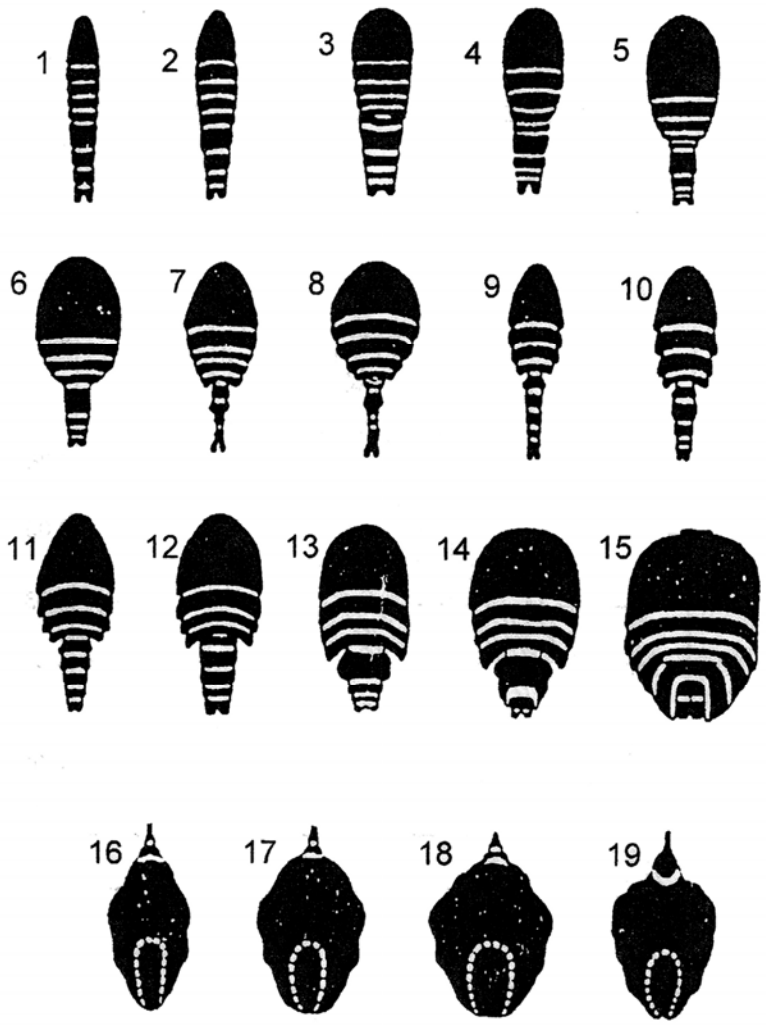


Рис. 13. Типы формы тела низших ракообразных:
1–15 – Copepoda, вид сверху; 16–19 – Cladocera, вид снизу

4. На рис. 14 (при длине тела более 0,4 мм) или 15 (при длине тела до 0,4 мм) найти линию с номером, соответствующим форме тела рачка. На ней найти точку, соответствующую длине рачка (на оси абсцисс), а на оси ординат – соответствующую ей массу тела.

5. Полученные результаты записать в табл. 7.

Например, определяется биомасса *Daphnia pulex*, средняя длина тела 1 мм. Находим по рис. 13 тип формы тела (17). На рис. 14 на прямой № 17 находим точку пересечение с вертикальной линией от длины 1 мм. Проводим от этого пересечения горизонталь к оси ординат и получаем вес тела 0,15 мг. При установлении биомассы на единицу объема воды нужно умножить численность в этом объеме на среднюю массу тела.

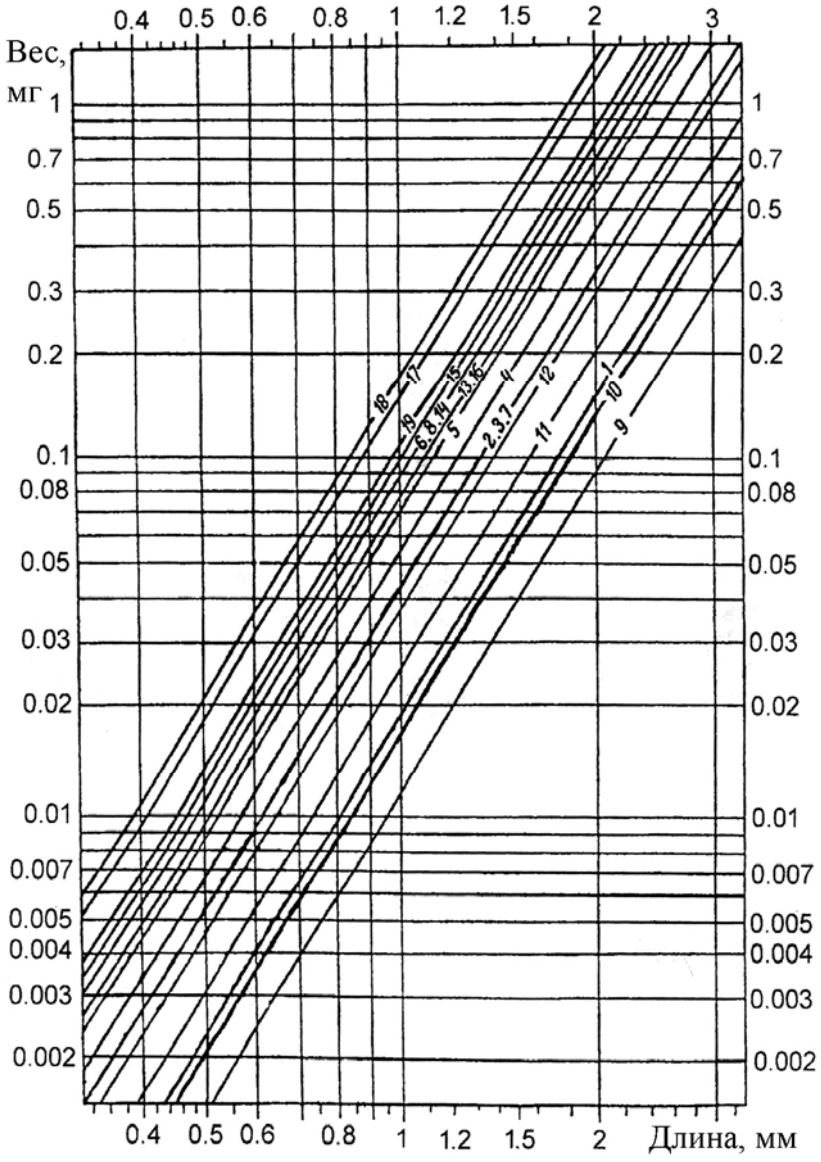


Рис. 14. Номограмма для определения веса ракообразных при длине тела от 0,4 до 3 мм

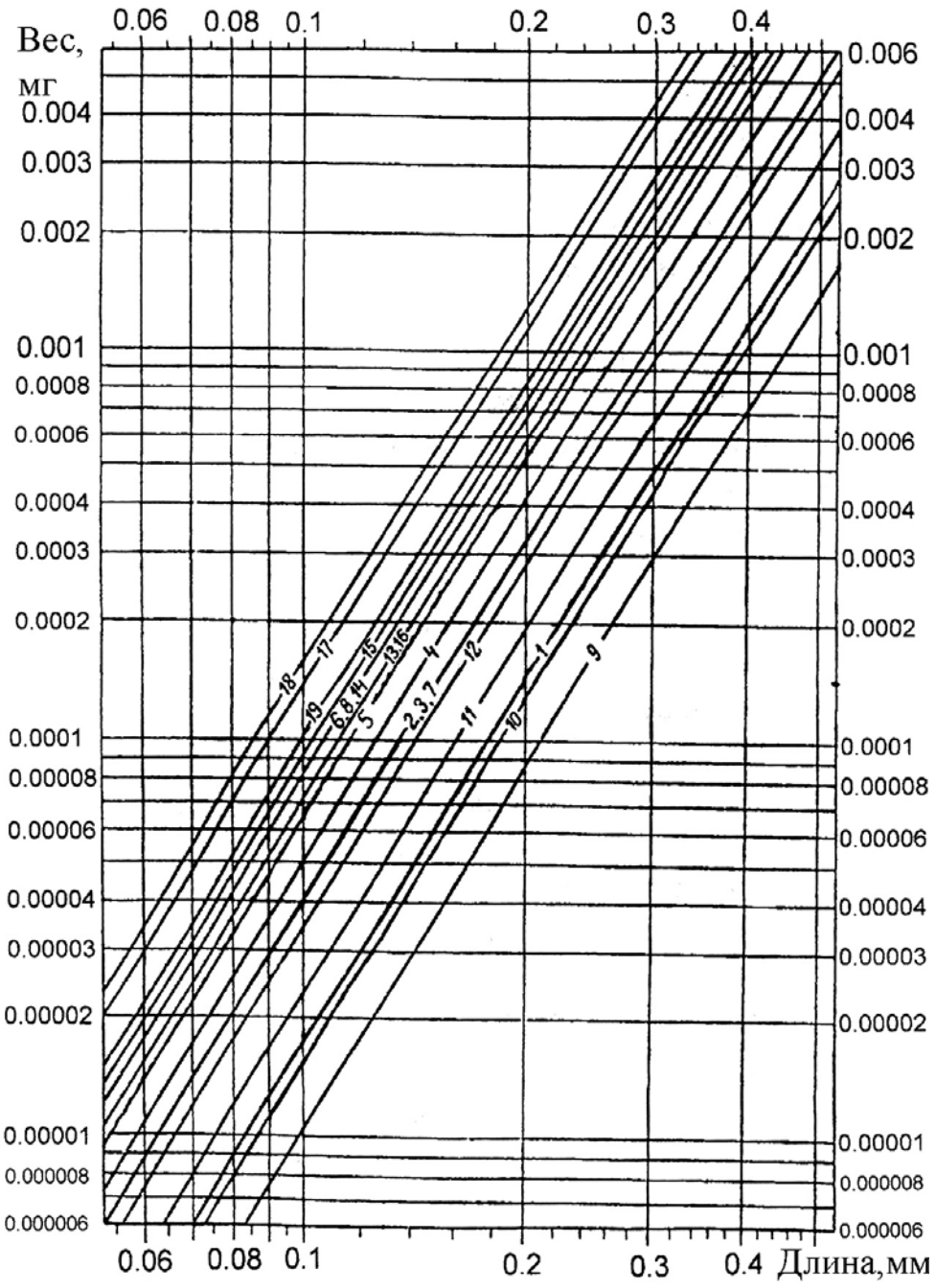


Рис. 15. Номограмма для определения веса ракообразных при длине тела от 0,06 до 0,4 мм

Таблица 7

Биомасса планктонных ракообразных в исследуемой пробе

Вид	Средняя длина тела, мм	Вес тела, мг	Биомасса / в единице объема воды
1			
2			
3			

Занятие 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ ЗООПЛАНКТОНА

Цель: определить вторичную продукцию и P/B-коэффициент лабораторной популяции ветвистоусого рачка *Daphnia magna Straus.*

Контрольные вопросы:

1. Рассказать о моно- и полициклических видах зоопланктона.
2. Что такое P/B-коэффициент?
3. Методы определения вторичной продукции.

Для изучения очень важного вопроса гидроэкологии – определения вторичной продукции – использована задача, разработанная в МГУ (Карташева и др., 1999). Вторичная продукция или продукция популяции животных за определенное время представляет собой сумму приростов всех особей популяции, как бывших в наличии к началу рассматриваемого отрезка времени, так и рожденных за это время. При этом в продукцию включают не только особей, оставшихся в живых к концу периода, но и прирост, который в силу выедания, отмирания и других причин не вошел в конечную биомассу популяции (Thienemann, 1931).

Вторичную продукцию выражают в единицах, пропорциональных единицам массы (сырого или сухого вещества, количества органического углерода или азота и т.д.) или эквивалентных им единицах энергии, отнесенных ко времени (сутки, декада, месяц и т.д.). Продукция может быть отнесена к объему или площади.

Важной продукционной характеристикой служит P/B-коэффициент или отношение продукции к биомассе за какой-либо промежуток времени, его величина безразмерна. Принято рассчитывать продукцию и P/B-коэффициент сначала за сутки, а затем за более продолжительные отрезки времени. Если рассчитывается суммарная продукция, то P/B-коэффициент определяется с учетом средней за этот отрезок времени биомассы. При вычислении P/B-коэффициента необходимо указывать период исследования и конкретные условия, при которых он получен.

Среди организмов зоопланктона различают моно- и полициклические виды. У моноциклических видов размножение происходит в короткие по сравнению с продолжительностью жизни периоды. Вслед за размножением у большинства таких животных наступает пе-

риод индивидуального роста, во время которого поступления молоди не происходит и численность данного одновозрастного поколения снижается. Примером таких популяций может служить *Calanus finmarchicus (Gunner)* в Баренцевом море, *Cyclops scutifer Sars* в северных озерах (Иванова, 1985). У полициклических видов размножение происходит непрерывно в течение сезона, поэтому в таких популяциях одновременно присутствуют особи всех возрастов. К полициклическим видам относятся планктонные ветвистоусые раки. Выбор метода определения вторичной продукции часто зависит от характера размножения изучаемого вида.

Методы расчета вторичной продукции

Первая группа методов основана на классических исследованиях Бойсен-Йенсена (Boysen-Yensen, 1919). Продукция по этому методу определяется по формуле

$$P = Bc + B_2 - B_1,$$

где Bc – элиминированная биомасса, равная произведению численности погибших особей на их среднюю биомассу; B_2 и B_1 – биомасса в начале и в конце периода наблюдений. Масса элиминации определяется по уменьшению численности за этот период и средней биомассе элиминированных особей. Если наличная биомасса популяции за исследуемый период не изменяется, то продукция равна элиминации. В тех случаях, когда элиминацией можно пренебречь, продукция равна изменению наличной биомассы. С помощью этого метода рассчитывают продукцию моноциклических видов животных. В. А. Яшнов (Яшнов, 1940) рассчитал с его помощью продукцию *Calanus finmarchicus.*

Вторая группа методов базируется на данных по росту особей, их темпу размножения и возрастной структуре популяции (Лебедева, 1964; Иванова, 1985; Сущеня и др., 1990). Этот способ определения продукции используется в основном для изучения продуктивности популяций полициклических видов. Он применяется в нашей задаче при определении вторичной продукции лабораторной популяции *Daphnia magna.*

Суммарная продукция равна

$$P = Ps + Pg,$$

где *Ps* – соматическая продукция, *Pg* – продукция за счет размножения. Соматическую составляющую суммарной продукции определяет рост животного. Связь между линейным размером и массой выражается степенным уравнением

$$W = q \times L^b,$$

где W – вес животного в мг сырого вещества, L – линейный размер, мм**,** q – константа, равная весу при длине 1 мм. Если рост животного идет без изменения формы тела (изометрический рост), то $b = 3$. При аллометрическом росте форма тела становится менее ($b > 3$) или более ($b < 3$) удлиненной, т.е. она меняется так, что отношение линейного размера к весу снижается или увеличивается. Рост животных изучается в лаборатории или в садках, затянутых газом и помещенных в естественные условия водоемов. Параметры уравнения для некоторых представителей зоопланктона, в том числе для ветвистоусых ракообразных, приведены в обобщающих работах (Балушкина, Винберг, 1979; Алимов,1989).

С помощью построения графика весового роста отдельных особей можно найти величину суточного прироста для определенной возрастной стадии. Перемножая соответствующий суточный прирост на количество особей каждого возраста и суммируя результат, можно получить величину соматической продукции популяции. Генеративная составляющая продукции равна

$$Pg = q \times N \times F / D,$$

где N – численность размножающихся самок, F – количество яиц в одной кладке, q – вес одного яйца (мг), D – продолжительность развития яйца (в сутках).

Основные трудности при использовании данного метода связаны с определением продолжительности жизни отдельных возрастных стадий в естественных условиях.

Третий метод – физиологический – лежит в основе приближенного способа расчета продукции, также рассматриваемой как сумма индивидуальных приростов всех особей популяции (Винберг, 1968).

Величина среднесуточной продукции популяции может быть получена из соотношения

$$P = N \times W \times K_2 \times R / 1 - K_2,$$

где N – численность животных в популяции, W – их вес, R – величина среднесуточной скорости обмена, K_2 – коэффициент использования усвоенной пищи на рост.

Коэффициент K_2 был предложен В. С. Ивлевым:

$$K_2 = dW/dt \; 1/A,$$

где dW/dt – скорость весового роста, A – скорость ассимиляции пищи, которая зависит от рациона и усвояемости. Среднесуточную скорость

обмена можно определить по скорости потребления кислорода. Все характеристики, связанные с продукцией, весом и обменом, должны быть выражены в общих единицах измерения, наиболее удобны калории.

Физиологический способ расчета продукции применим для тех животных, у которых рост происходит по параболическому закону. Для таких гидробионтов характерно уменьшение скорости роста со временем из-за снижения интенсивности обмена при увеличении размеров, при этом вес неограниченно возрастает.

Физиологический метод позволяет приближенно оценить продукцию популяции в тех случаях, когда невозможно определить скорость развития отдельных возрастных стадий, но известны численность, вес животных, зависимость интенсивности обмена от веса, калорийность особей и значение коэффициента K_2.

Четвертая группа методов основана на изучении динамики численности популяции по результатам определения скорости рождаемости. В его основе лежит принцип Эльстера (Elster, 1954), согласно которому изменение численности популяции – результат действия противоположно направленных процессов размножения и уменьшения числа особей в результате их отмирания, потребления и т.д. В расчете фигурирует «коэффициент возобновления», представляющий собой обратную величину от продолжительности развития яиц (1 / Dov).

Произведение «коэффициента возобновления» на общее число яиц в популяции (Nov) равно количеству яиц, отложенных за единицу времени, т.е. пополнению. Сопоставляя эту величину с фактически наблюдаемой численностью, можно определить смертность или элиминацию:

$$Ne = Nov/Dov – (Nt – No),$$

где Nov – число яиц в популяции, Dov – продолжительность их развития, No и Nt – численность популяции в начале и в конце периода наблюдения. При умножении численности элиминированных особей на их среднюю биомассу можно получить результат в весовом выражении. Этот способ расчета позволяет оценить продукцию, не прибегая к анализу роста особей и возрастной структуры.

Радиоуглеродный метод определения вторичной продукции был предложен В. Д. Чмырем (Чмырь, 1967). Он основан на том, что при потреблении меченого фитопланктона зоопланктон приобретает радиоактивность, причем питание обычной и радиоактивной пищей

происходит с одинаковой скоростью. Вторичная продукция определяется по следующей формуле:

$$Сз = (Сф + В) \times Rз/Rф,$$

где Сз и Сф – соответственно продукция зоо- и фитопланктона за время опыта, В – биомасса водорослей, имевшихся в экспериментальном сосуде к началу опыта, Rз и Rф – радиоактивность соответственно зоо- и фитопланктона, приобретенная за время экспозиции.

Недостаток этого метода заключается в том, что с его помощью можно оценивать только то количество усвоенной и использованной на рост пищи, которое остается в составе зоопланктона к концу опыта. Кроме того, достаточно сложно интерпретировать результаты, когда в состав сообщества входят не только виды, питающиеся зоопланктоном, но и хищники.

Количественный учет продукции элиминации за счет выедания можно проводить путем сопоставления рационов питающихся зоопланктоном рыб и рыбопродукции с биомассой беспозвоночных (Винберг, 1968). В этом случае рассчитанная продукция всегда будет отличаться от истинной на величину убыли за счет естественной смертности.

Одним из перспективных способов количественного изучения процессов биологического продуцирования может служить метод математического моделирования. Построенные на основе реальных данных модели позволяют рассчитывать продукцию и оптимизировать управление водными экосистемами.

Характеристика объекта исследования

Для расчета вторичной продукции в учебных целях удобнее использовать животных с коротким периодом развития и роста. К таким относятся ветвистоусые рачки, широко распространенные в пресноводных водоемах средней полосы. Кладоцеры играют важную роль в процессах самоочищения воды, нередко дают высокую продукцию, являются излюбленным кормом рыб. Дафнии часто используются в качестве тест-объекта при биологическом анализе питьевых и сточных вод, потому что обладают высокой чувствительностью к неблагоприятным условиям среды, быстро реагируя изменением многих характеристик жизнедеятельности, например, скорости роста и размножения.

Для Cladocera характерно гомогенетическое (развитие зародыша из оплодотворенного яйца) и партеногенетическое (развитие без

оплодотворения) размножение. Основная масса продукции кладоцер создается за счет партеногенеза, который наблюдается в водоемах при близких к оптимальным условиях внешней среды. Для используемой в предлагаемой задаче *Daphnia magna* оптимальными являются температура 18–22 ºС и концентрация корма 0,7–1 млн кл/мл. Для кормления кладоцер используют суспензию зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* или *Scenedesmus quadricauda,* а также однопроцентную взвесь пекарских дрожжей. При благоприятных условиях в выводковой камере одной самки в зависимости от ее размера может находиться от 10–15 до 30–40 яиц. Длительность эмбрионального периода при t = 20 ºС по данным большинства авторов составляет 3,2 сут (Иванова, 1985). Благодаря высокой скорости индивидуального роста молодь достигает половозрелости через 7–10 сут после выхода из яйца.

Темп роста половозрелых дафний резко снижается в репродуктивный период жизни рачков и доля генеративной продукции значительно превышает соматическую. В конце жизни количество яиц в выводковой камере самки сокращается, а за 2–3 дня до смерти формирование яиц прекращается. Продолжительность жизни животных в лабораторных условиях составляет 1–3 месяца.

Практическая работа

1. Построить кривую линейного роста *D. magna* на основании промеров длины тела животных от рождения до половой зрелости.

Для получения новорожденных особей накануне эксперимента (за одни сутки) из лабораторной маточной культуры отсадить в отдельные емкости 5–6 самок с эмбрионами, находящимися на последней стадии развития (хорошо дифференцированных и имеющих глаз с черным пигментом). На каждую самку должно приходиться не менее 100 мл отстоянной водопроводной воды с добавленной кормовой взвесью.

Новорожденных рачков с помощью соединенной с резиновой грушей стеклянной трубки или специальной ложки-ситечка отсаживают отдельно по пять штук в четыре стаканчика, объемом 100 мл. Перед тем, как разместить рачков в стаканчики, измеряют длину их тела под бинокуляром с помощью окулярной линейки. Измерение необходимо проводить в капле воды быстро и аккуратно, ни в коем случае не травмируя животных и не допуская их обсыхания. Измерять длину тела рачков следует от самой выступающей точки головы до основания спинального отростка.

При недостаточном кормлении в маточной культуре могут появиться самки, рождающие самцов, поэтому необходимо обращать внимание на вторичные половые признаки молоди. Самцы имеют более длинные подвижные антенны, на которых кроме чувствительных щетинок, свойственных обоим полам, имеется длинная щетинка – жгутик, а на эндоподите 1 пары грудных ног есть крючок, служащий для прикрепления к телу самки во время спаривания.

Промеры молоди нужно проводить ежедневно или через день до наступления половой зрелости или появления партеногенетических яиц в выводковой камере самки и заносить их в табл. 8. Поскольку рост половозрелых особей резко замедляется и происходит от линьки к линьке, сопровождающих рождением молоди, измерять длину тела взрослых самок следует после каждого помета.

Таблица 8

Изменение длины тела и веса рачков

Возраст, сутки	Длина тела особи, мм	Средняя длина, мм	Вес особи, мг	Средний вес, мг	Суточный привес, мг
0					
1					
2					
…					
15					

После измерения животных необходимо пересадить в стаканы со свежей, отстоянной в течение недели водопроводной водой и добавить корм, чтобы пищевая взвесь *Chlorella vulgaris* в опытном стаканчике была 0,7–1,0 млн кл/мл или однопроцентную взвесь дрожжей. В течение опыта обязательно следует проверять концентрацию корма и фиксировать температуру воды, поскольку эти факторы оказывают решающее влияние на продуктивность популяции рачков.

По данным ежедневных промеров для каждого возраста рачков вычисляется средний линейный размер и заносится в табл. 8. По полученным данным строится график зависимости средних линейных размеров от возраста (рис. 16).

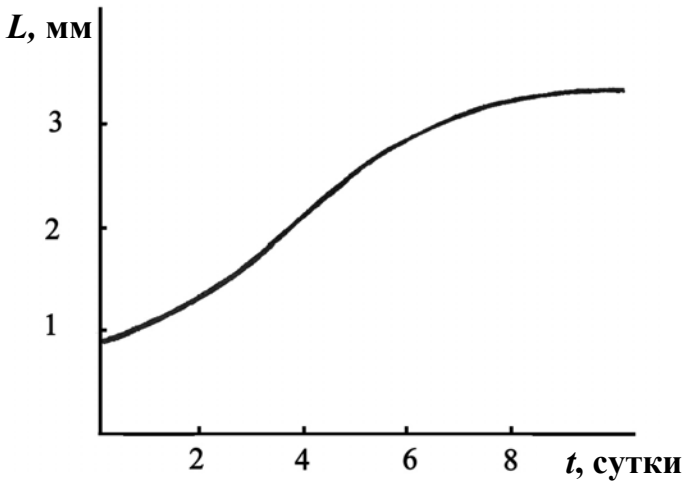


Рис. 16. График линейного роста *Daphnia magna*

2. Построить кривую весового роста. Сырой вес животных нужно определить, используя соотношение между длиной и весом, по формуле

$$W = 0{,}13\ L^{2{,}84}$$ (Лебедева-Козлова, 1968).

Полученные данные заносятся в табл. 8, вычисляется средний вес рачков каждого возраста. По рассчитанным данным нужно построить график (рис. 17).

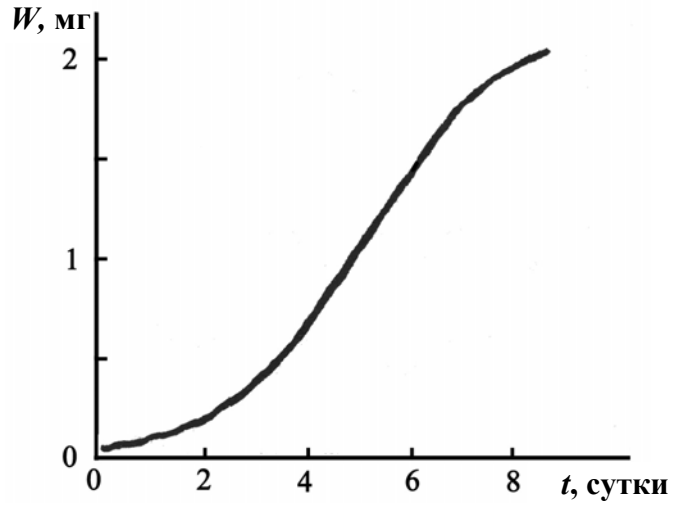


Рис. 17. График весового роста *Daphnia magna*

3. Построить график суточного весового прироста. Отнимая от веса каждой последующей стадии развития дафнии вес предыдущей, следует получить значения абсолютных суточных приростов для каждого возраста рачков. На основании полученных данных построить кривую изменения суточного прироста особи в зависимости от возраста (рис. 18).

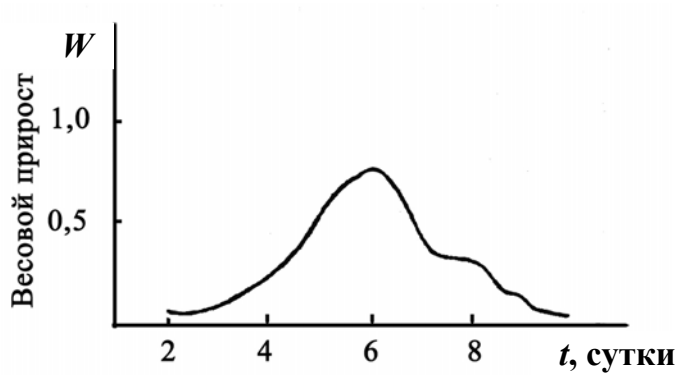


Рис. 18. График изменения величины суточного весового прироста *Daphnia magna*

4. Построить размерно-возрастную гистограмму лабораторной популяции. Для того чтобы рассчитать среднесуточную продукцию лабораторной популяции *D. magna,* необходимо получить данные по численному соотношению всех возрастных стадий. С этой целью каждый студент измеряет 100 особей, взятых подряд, случайно, из лабораторной культуры рачков. Затем нужно построить гистограмму распределения численностей возрастных стадий (рис. 19).

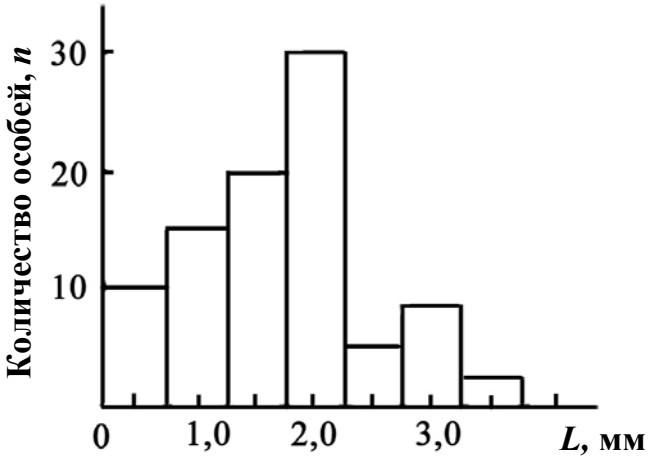


Рис. 19. Гистограмма распределения численности возрастных групп *Daphnia magna*

Принадлежность к определенной возрастной группе определяется на основании размера при сопоставлении с кривой линейного роста (см. рис. 13). На графике необходимо выделить ювенильную и репродуктивную части популяции.

При измерении половозрелых самок следует подсчитать количество эмбрионов в выводковых камерах для расчета генеративной продукции.

5. Вычислить суммарный суточный прирост каждой возрастной группы. Перемножая величину суточного прироста соответствующей возрастной стадии на ее численность в лабораторной популяции, можно получить значение суточной продукции особей каждого возраста. Все данные заносятся в табл. 9.

6. Вычислить суммарную суточную соматическую продукцию популяции. Сумма всех полученных продукций рачков различного возраста даст значение суточной соматической продукции P.

Таблица 9

Расчет продукции и биомассы популяции

Возраст, сутки	Численность, экз.	Вес особи, мг	Биомасса возрастной группы, мг	Суточный прирост, мг	Суточная продукция мг/сутки
0					
1					
2					
…					
15					

7. Определить среднее число яиц, приходящихся на одну половозрелую самку. Необходимо знать среднее количество яиц в одной кладке (*F*). Чтобы получить эту величину, нужно подсчитать число эмбрионов у каждой из 20 взятых наугад самок из лабораторной культуры, а затем вычислить среднее, используя дополнительно результаты, полученные при измерении 100 особей (пункт 4). Результат записать в табл. 10.

8. Определить продолжительность эмбрионального развития (*D*). Для того чтобы получить эту величину, необходимо отсадить в отдельные стаканы пять самок (по одной особи) с яйцами, находящихся на начальных стадиях развития. На этой стадии форма яйца округлая, внутри можно выделить центральное жировое пятно и зеленую грануляцию вокруг него, никаких признаков дифференциации нет. Ежедневно следует просматривать самок и регистрировать время появления на свет потомства (новорожденных рачков надо отсаживать). Средняя длительность развития яиц даст величину *D*, которая заносится в табл. 10.

После каждого помета следует измерять длину тела взрослых самок для получения дополнительных результатов при построении кривой линейного роста (см. рис. 16). Подсчет новорожденных дафний даст дополнительные данные для расчета плодовитости.

9. Вычислить суточную генеративную продукцию популяции. Численность половозрелых особей (*N*) определяется с помощью гистограммы размерного состава, а вес (*q*) одного яйца *Daphnia magna* принимается равным 0,1 мг (Green, 1954).

На основании всех полученных данных следует рассчитать значение суточной продукции размножения по формуле

$$Pg = q \times N \times F / D$$

и внести данные в табл. 10.

Таблица 10

Расчет суточной продукции популяции

Средняя плодовитость, *F*	Средняя продолжительность эмбрионального развития, сутки, *D*	Продукция за счет размножения, мг/сут (*Pg*)	Суммарная суточная продукция, (*P* = = *Ps* + *Pg*), мг/сут	*P/B*-коэффициент

10. Рассчитать суммарную суточную продукцию и *P/B*-коэффициент популяции. Суммируя продукцию за счет роста (*Ps*) и продукцию за счет размножения (*Pg*), можно получить продукцию популяции за сутки: $P = Ps + Pg$. Для расчета суточного *P/B*-коэффициента необходимо знать величину биомассы популяции (*B*). Для этого нужно перемножить значения среднего веса особей соответствующих возрастных стадий на их численности, полученные из гистограммы. Необходимо указать, для каких температурных и трофических условий получен суточный *P/B*-коэффициент популяции. Заполнить табл. 10.

Занятие 9

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ БЕНТОСА

Цель: познакомиться с методами биоиндикации пресных водоемов и водотоков на примере бентоса и научиться анализировать пробы.

Контрольные вопросы:

1. Дать характеристику таксономических групп зообентоса.
2. Приспособления бентосных организмов к жизни в придонном слое.
3. Какие группы можно выделить в сообществе зообентоса (по образу жизни, способу питания и по размерам)?
4. Какие показатели бентоса используются для оценки качества воды?

Методика отбора проб: на водоеме или водотоке необходимо выбрать не менее двух станций исследования (одна из станций должна быть с явным антропогенным влиянием). Наблюдения на станциях желательно проводить ежемесячно. При взятий проб следует отдавать предпочтение субстратам, заселенным наиболее разнообразной бентофауной. Наименее подходят для этого песчаные грунты.

Наиболее удобным и универсальным орудием лова является скребок. При отборе проб на реках скребок устанавливается ниже по течению относительно субстрата, с которого ведется отбор, чтобы организмы вместе с взмученными частицами грунта попадали внутрь сита скребка с течением. Грунт вместе с организмами отмывается в сите от мелких фракций и помещается в ванночку для определения непосредственно на берегу или в полиэтиленовый мешочек (стеклянную банку) для дальнейшей транспортировки в класс или лабораторию. При отборе проб с песчаных грунтов необходимо применять метод отмучивания. Для этого после наполнения сита песком он переносится в ведро и рукой несколько раз взмучивается. Легкие фракции с организмами после каждого отмучивания сливаются в скребок, а оттуда в ванночку, банку или полиэтиленовый мешочек.

Для сбора с помощью скребка количественных проб достаточно измерить площадь облова, равную произведению расстояния, пройденного скребком на ширину его режущей кромки. Например, при

ширине режущей кромки 16 см и прохождении скребком по поверхности грунта полосы в 50 см, площадь облова составит 800 $см^2$. В месте отбора пробы производятся визуальные наблюдения, и результаты записываются в полевой дневник по форме (см. методику взятия проб зоопланктона). Каждая бентосная проба снабжается этикеткой.

Подготовка бентосной пробы к анализу включает в себя выборку организмов из грунта (разборку пробы) и их сортировку. При невозможности немедленной разборки пробы ее заливают 4 % раствором формалина, предварительно нейтрализованным насыщенным раствором соды ($NaHCO_3$). Нейтрализацию формалина проводят для предотвращения растворения помещенных в него известковых раковин моллюсков.

В лаборатории пробы разбирают и сортируют бентосные организмы по систематическим группам до семейства (прил. 2). Для облегчения повторных идентификаций рекомендуется морфологические отличия каждого вида, ранее не встречавшегося, описывать в журнале. Помимо описания видов и зарисовок существенно облегчить определение сложных и разнообразных групп организмов поможет коллекция постоянных препаратов.

Практическая работа

1. Для биоиндикации использовать консервированные пробы, хранящиеся на кафедре.

2. Метод расчета *биотического индекса* (БИ), разработанный Ф. Вудивиссом в 1964 г. для р. Трент, заключается в следующем. По мере повышения уровня загрязнения водоема происходит упрощение таксономической структуры биоценоза. Это происходит за счет выпадения индикаторных таксонов при достижении предела их толерантности на фоне снижения общего разнообразия организмов, объединенных в так называемые группы Вудивисса. В качестве индикаторных групп выбраны отряды веснянок, поденок, ручейников, два рода ракообразных (бокоплавы и водяные ослики), а также олигохеты семейства *Tubificidae* и комары-звонцы рода *Chironomus* (рис. 20).

3. Посчитать количество групп Вудивисса в пробе и выбрать в табл. 11 столбец, соответствующий этому числу.

В группы Вудивисса входят: *каждый вид плоских червей, класс олигохет (исключая род Nais), каждый вид пиявок, моллюсков, ракообразных, веснянок, поденок, жуков, клопов, личинок двукрылых (кроме хирономид и мошек), вислокрылок, каждое семейство ручейников, семейства мошек, хирономид (кроме Chironomus thummi), личинка Chironomus thummi.*

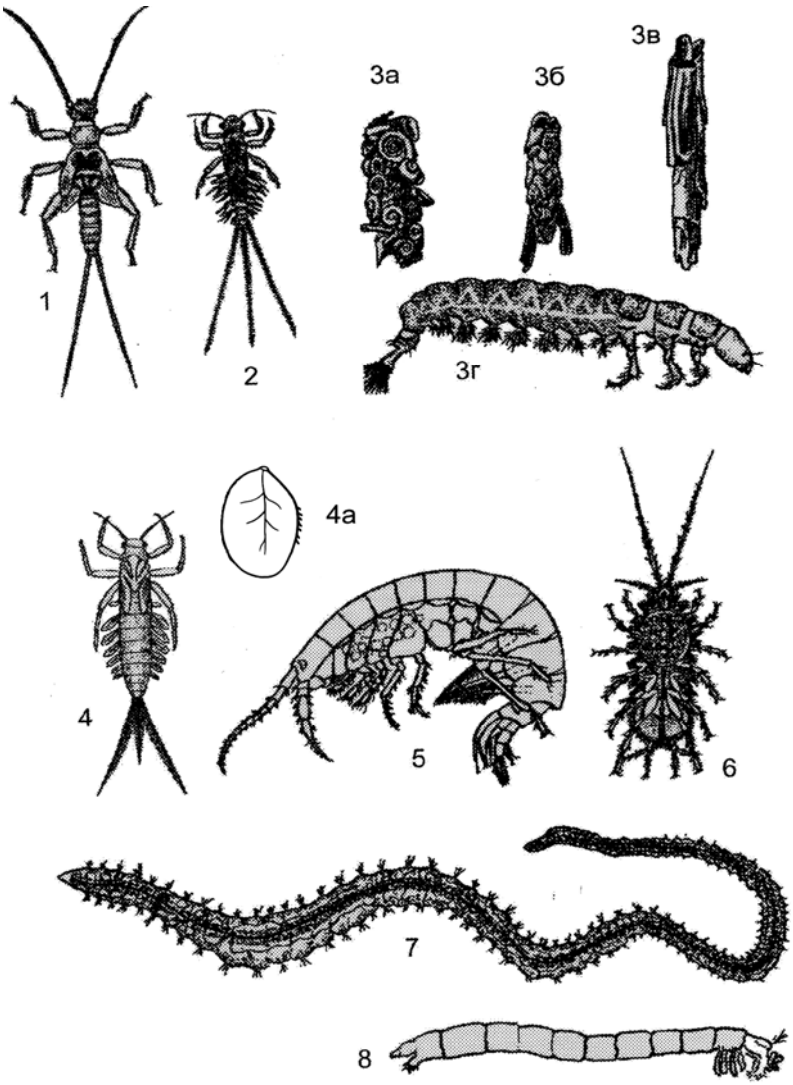


Рис. 20. Индикаторные организмы бентоса:
1 – веснянка, *2* – поденка, *3* (*а*, *б*, *в*, *г*) – ручейники,
4 – поденка *Baetis rhodani* (*4а* – жабра *Baetis rhodani* с тонкими волосками и шипиками по наружному краю), *5* – бокоплав, *6* – водяной ослик,
7 – олигохета (трубочник), *8* – личинка комара-звонца (мотыль)

Таблица 11

Рабочая шкала для определения биотического индекса по наличию группы Вудивисса

Показательные организмы	Видовое разнообразие	Число групп Вудивисса в пробе				
		0–1	2–5	6–10	11–15	16 и >
1	2	3	4	5	6	7
Личинки веснянок	Больше одного вида	–	7	8	9	10
	Только один вид	–	6	7	8	9
Личинки поденок	Больше одного вида*	–	6	7	8	9
	Только один вид*	–	5	6	7	8
Личинки ручейников	Больше одного вида **	–	5	6	7	8
	Только один вид**	–	4	5	6	7

Окончание табл. 11

1	2	3	4	5	6	7
Бокоплавы	Все вышеназванные организмы отсутствуют	3	4	5	6	7
Водяной ослик	То же	2	3	4	5	6
Тубифициды и (или) личинки комаров-звонцов	То же	1	2	3	4	–
Все вышеназванные группы отсутствуют	Могут присутствовать некоторые нетребовательные к кислороду виду	0	1	2	–	–

*Исключая *Baetis rhodani*.

**Baetis rhodani* учитывается в этой группе.

4. В первой графе шкалы, двигаясь сверху вниз, найти показательный (индикаторный) организм, присутствующий в пробе.

5. Определить наличие в пробе одного или большего числа видов для индикаторного таксона, относящегося к веснянкам, поденкам или ручейникам, и отыскать соответствующую строку в графе «Видовое разнообразие».

6. Найти балл БИ в точке пересечения найденной строки видового разнообразия с графой числа групп Вудивисса, соответствующего пробе.

Показательные организмы перечислены в порядке их исчезновения по мере возрастания степени загрязнения. Значения биотического индекса Вудивисса 7–8 характеризуют воду как «чистая», 5–6 – «умеренно загрязненная», 4 – «загрязненная», 3 – «грязная», 1–2 – «очень грязная».

Для оценки качества воды можно использовать *олигохетный индекс* (ОИ). Он рассчитывается как отношение численности олигохет к общей численности организмов в пробе. При этом вода в зависимости от значения ОИ характеризуется категориями: очень чистая (1–16 %); чистая (17–33 %); умеренно-загрязненная (34–50 %); загрязненная (51–67 %); грязная (68–84 %); очень грязная (свыше 85 %).

Занятие 10

ИЗУЧЕНИЕ СООБЩЕСТВА АКТИВНОГО ИЛА АЭРОТЕНКОВ

Цель: оценить качество работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям. Для этого познакомиться с обитателями активного ила, научиться анализировать численность и физиологическое состояние организмов.

Контрольные вопросы:

1. Что такое аэротенки? Как совершается очистка сточных вод?
2. Характеристика ила в режиме неполного окисления.
3. Характеристика ила в режиме полного окисления.
4. Характеристика ила в режиме полного окисления и нитрификации азотосодержащих загрязнений.

В аэротенках очистных сооружений активный ил может быть трех основных типов:

1) работающий на неполное окисление органических загрязнений;

2) полное окисление;

3) полное окисление с последующей нитрификацией.

В пределах каждого типа существуют модификации, связанные с особенностью очищаемых сточных вод и режимом эксплуатации сооружений.

Сооружения биологической очистки, работающие в режиме *неполного окисления*, как правило, имеют высокие удельные нагрузки (400–600 мг БПК на грамм активного ила). При этом формируется биоценоз с бедным видовым разнообразием (5–13 видов) простейших и численным преобладанием отдельных групп, таких как жгутиконосцы, раковинные амебы, нитчатые бактерии, крупные свободноплавающие инфузории, «бентосные» раковинные амебы, мелкие корненожки. Численность бактерий в хлопьях ила имеет максимальную концентрацию живых клеток в единице объема. Хлопья ила достаточно сформированы, крупные, плотные. Все виды с широкой экологической пластичностью. Экологические условия соответствуют полисапробной зоне водоема. При перегрузках окислительной мощности сооружений недостаточно, чтобы ликвидировать преобладание восстановительных процессов. Нарушается баланс сорбции и окисления загрязняющих веществ, биологическое равновесие в биоценозах актив-

ного ила, что приводит обычно к чрезмерному развитию нитчатых организмов. Такой биоценоз обладает низкой устойчивостью к неблагоприятным факторам и слабым потенциалом естественного восстановления, потери отдельных видов под влиянием стрессирующих факторов приводят к нарушению функционирования системы, снижению деструктивной способности. В результате, такие сообщества больше зависимы от среды, функционируют неслаженно, неустойчиво, формируя в результате низкое качество очищенной воды.

При снижении нагрузок на ил до 250–300 мг/г обеспечивается *полное окисление* растворенных органических веществ. Такие сооружения обычно очищают сточные воды смешанного состава (бытовые и производственные). Неоднородное, многокомпонентное загрязнение среды обитания дает возможность организмам ила приобрести и сохранять необходимый уровень приспособленности в широком спектре непрерывно меняющихся условий. Биоценозы на таких очистных сооружениях разнообразны по видам, динамичны, подвижны и чутко реагируют на внешнее воздействие. При нормально протекающем процессе очистки в них отсутствуют численно доминирующие виды или такое доминирование минимально. Численность бактерий в хлопьях ила уменьшается, численность видов простейших возрастает и составляет уже не менее 15–20. Экологические условия на средненагружаемых сооружениях соответствуют бетамезосапробным зонам в водоеме. С повышением содержания растворенных органических загрязняющих веществ в поступающей на очистку воде, а также при периодически возникающем нарушении баланса между их сорбцией и окислением, в биоценозах происходят изменения. Они сопровождаются повышением общей численности и морфологического разнообразия бактерий, как связанных с хлопьями активного ила, так и свободно диспергированных. Одновременно сокращается видовое разнообразие простейших при нарастании численности устойчивых видов. Например, возрастает численность бесцветных жгутиконосцев одноклеточных и неприкрепленных форм (колониальные и прикрепленные жгутиконосцы развиваются в сточных водах меньшей трофности и при наличии специфических загрязняющих веществ), возрастает также численность нитчатых бактерий и раковинных амеб. В активном иле преобладают свободноплавающие инфузории, в то же время прикрепленные формы инфузорий представлены экологически пластичными видами (устойчивы к высоким содержаниям растворенных органических веществ, недостатку кислорода и т.д.), присутствуют коловратки, черви. Численность хищников минимальна или они полностью отсутствуют.

При удельных нагрузках 80–150 мг/г обеспечивается *полное окисление и нитрификация азотосодержащих загрязнений.* Экологические условия соответствуют бетамезосапробной зоне водоема. При полном окислении поступающих на очистку растворенных органических веществ, не нарушенном балансе их сорбции и окислении, низких нагрузках на активный ил и развитом процессе нитрификации формируется наиболее экологически совершенный биоценоз – нитрифицирующий активный ил. Нитрифицирующие хлопья ила крупные, компактные, хорошо оседающие, наполненные пузырьками газа, наблюдается самопроизвольная флотация ила, вызванная процессами денитрификации. Процесс денитрификации, протекающий во вторичных отстойниках, может ухудшать качество очищенной воды за счет избыточного выноса активного ила, особенно в теплое время года.

Биоценоз нитрифицирующего активного ила характеризуется наиболее сложной экологической структурой с высоким таксономическим разнообразием (до 45 видов простейших) без численного преобладания отдельных видов. Нитчатые бактерии, мелкие бесцветные жгутиконосцы, мелкие формы как голых, так и раковинных амеб практически полностью вытесняются из биоценоза или их численность минимальна. Из инфузорий преобладают брюхоресничные и прикрепленные формы, жизнедеятельность которых тесно связана с хорошо сформированными, флоккулированными хлопьями активного ила. Подкласс Peritricha представлен богатым разнообразием одиночных (*Vorticella*), колониальных родов (*Epistylis, Zoothamnium, Opercularia, Carchesium*). Разнообразна фауна раковинных бентических амеб (*Arcella, Centropyxis, Difflugia, Euglypha*). Присутствуют представители последнего, высшего звена – хищники, что положительно влияет на степень очищения воды от органических загрязняющих веществ за счет повышения интенсивности обмена. В нитрифицирующем иле всегда присутствуют (не достигая массового развития) хищные коловратки, сосущие инфузории, хищные грибы и черви рода *Chaetogaster*. Периодически встречаются тихоходки.

Описанные три основных типа биоценоза активного ила формируются в своеобразных экологических условиях, обеспечивающих определенное качество очистки. На формирование биоценоза, его структуру оказывают влияние проектные параметры, состав сточных вод и соблюдение технологического режима эксплуатации очистных сооружений, где решающее значение имеет поддержание необходимого качества и количества активного ила, иловой индекс, зольность, возраст, прирост ила.

Практическая работа

Оборудование и материалы: активный ил, чашки Петри, предметные и покровные стекла, бинокуляр, микроскоп, препаровальные иглы, градуированная пипетка, мерный цилиндр.

1. Дать общую характеристику илу. Для этого визуально просмотреть его в стакане (объем 100 мл). Учесть следующие показатели:

– скорость оседания хлопка (быстро, медленно);

– цвет (бурый, рыжеватый, черный, белесый и т.д.);

– характер воды над осевшим илом (прозрачная, мутная, окрашенная, опалесцирующая);

– запах (гнилостный, сероводородный, характерный для определенных химических веществ);

– иные состояния, например вспухание при отстаивании.

2. Весь дальнейший анализ осуществлять путем микроскопирования. Гидробионтов определять в живом виде. Каплю ила поместить под покровное стекло. Определить виды фауны ила очистных сооружений, пользуясь рисунками из книги (Фауна аэротенков, 1984) и прил. 3. Зарисовать неизвестные виды и измерить численность.

3. Оценить качественный состав сообщества и физиологическое состояние гидробионтов. При этом учесть следующие показатели:

– в связи с тем, что надежными индикаторами состояния активного ила могут быть только организмы, встречающиеся в нем в значительных количествах, выявить преобладающие виды;

– по количеству пищеварительных вакуолей установить степень упитанности;

– учесть состояние сократительных вакуолей (при неблагоприятных условиях ритм пульсации замедляется);

– обратить внимание на размеры организмов (нормальные, укрупненные, мелкие) и форму тела (например, у кругоресничных инфузорий, при хорошей упитанности формы тела расширенная, почти округлая или бочонковидная; при слабой происходит их вытягивание и расширение предротовой области; при недостатке кислорода зооиды раздуваются вплоть до их разрыва; токсические вещества вызывают возникновение различных уродств);

– отметить состояние ресничного диска (открыт или закрыт) и интенсивность работы ресничного аппарата;

– учесть конъюгирующих особей, цисты и погибших животных (их присутствие указывает на ухудшение условий).

4. Учесть численность организмов ила по пятибалльной системе (1 – единичное нахождение, 2 – мало, 3 – порядочно, 4 – много, 5 – в массе) или в количестве особей на 1 мл, для этого:

– микропипеткой набрать 0,1 мл жидкости;

– нанести каплю на предметное стекло и покрыть покровным (18×18 мм);

– сделать таких препаратов 3–5;

– в каждом препарате по диагонали покровного стекла при увеличении 15×8 подсчитать организмы в 10 полях зрения.

5. После подсчета количество гидробионтов в 30 полях зрения найти среднее арифметическое для одного поля зрения. Количество организмов в 1 мл определяют по формуле

$$Д = S \times d / \pi \times r^2 \times p,$$

где Д – количество исследуемых организмов в 1 мл жидкости; S – площадь покровного стекла в квадратных миллиметрах (18×18); d – количество организмов в одном поле зрения, r^2 – площадь поля зрения объектива в квадратных миллиметрах (r = 0,4); p – объем закапанной жидкости. Результаты занести в табл. 12.

Таблица 12

Видовой состав и количество организмов активного ила

№	Виды	В 30 полях зрения	В одном поле зрения	В 1 мл
1				
2				
…				

Основные виды эпюр

Эпю́р (фр. *epure* – чертеж) – чертеж, на котором пространственная фигура изображена методом нескольких (по ГОСТ трех, но не всегда) плоскостей. Обычно оно дает три вида: фронтальную, горизонтальную и профильную проекции (фасад, план, профиль). Чертеж проецируется на взаимно перпендикулярные, а затем развернутые на одну плоскости.

Площади некоторых эпюр и положение центра тяжести этих эпюр.

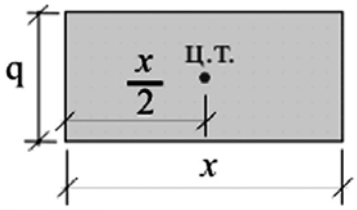
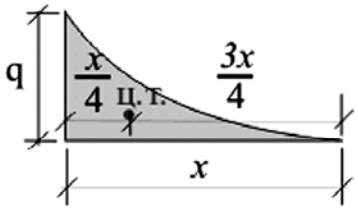
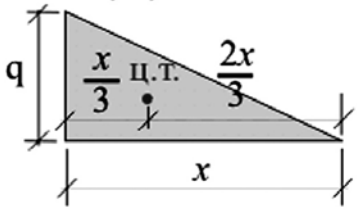
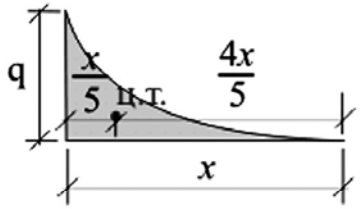
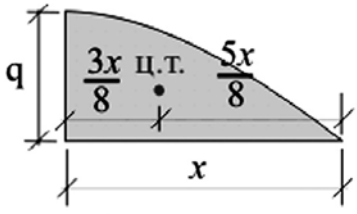
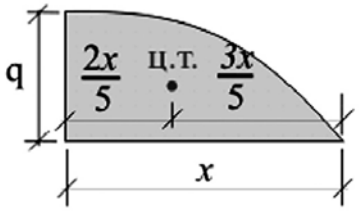
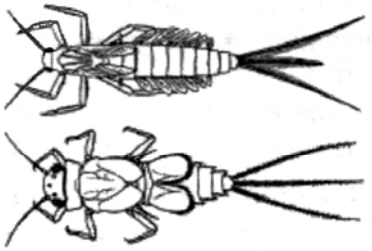
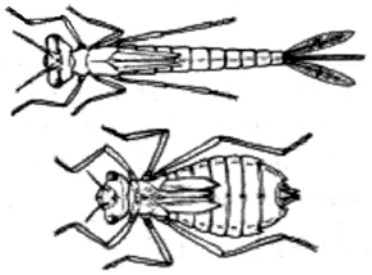
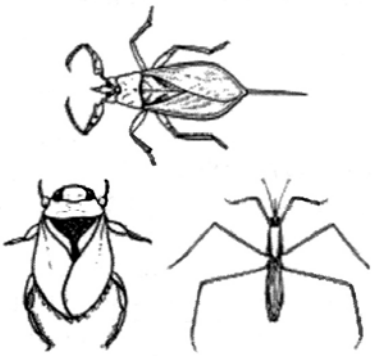
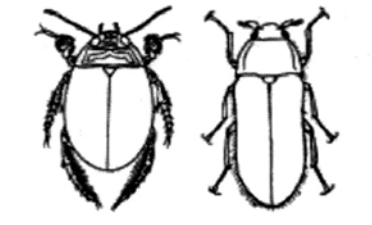
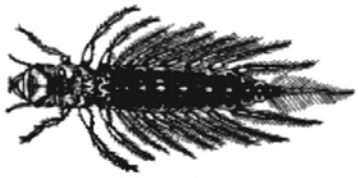
Вид эпюры	Площадь эпюры ω	Вид эпюры	Площадь эпюры ω
прямоугольник 	qx	квадратная парабола 	$\frac{qx}{3}$
треугольник 	$\frac{qx}{2}$	кубическая парабола 	$\frac{qx}{4}$
квадратная парабола 	$\frac{2qx}{3}$	кубическая парабола 	$\frac{3qx}{4}$

Таблица для определения групп пресноводных беспозвоночных, наиболее часто встречающихся в сборах Бентоса (длина тела не менее 3 мм) (Определитель..., 2016)

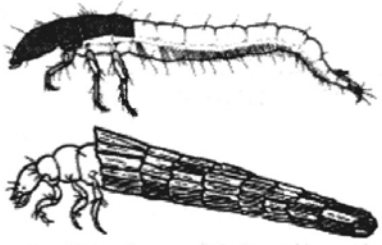
ЕСТЬ УДЛИНЁННЫЕ ЧЛЕНИСТЫЕ КОНЕЧНОСТИ ТРИ ПАРЫ ЧЛЕНИСТЫХ НОГ	
Голова с парой крупных (фасеточных) глаз по бокам. Грудные сегменты с двумя парами крыловых зачатков (в виде лопастей, направленных назад) или же задняя половина тела покрыта плотными надкрыльями.	
EPHEMEROPTERA — ПОДЕНКИ (личинки). Тело удлинённое. Задний конец тела с 3 «нитями». Сегменты брюшка (многие или некоторые) с листовидными или нитевидными жабрами по бокам. Есть 2 пары крыловых зачатков. *Могут активно плавать.*	
PLECOPTERA — ВЕСНЯНКИ (личинки). Тело удлинённое. Задний конец тела с 2 «нитями». Есть 2 пары крыловых зачатков. *Как правило, не плавают.*	
ODONATA — СТРЕКОЗЫ (личинки). Тело удлинённое или компактное. Задний конец тела с 3 удлинённо-листовидными пластинками или без придатков; в последнем случае заострён, с шипами на вершине. Голова снизу прикрыта складной «маской», которая может выдвигаться вперёд. Есть 2 пары крыловых зачатков. *Могут активно плавать.*	
HETEROPTERA — ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (личинки и имаго). Тело удлинённое или компактное. Ротовой аппарат в виде непарного хоботка, удлинённого и заострённого (обычно направлен назад между основаниями ног); если хоботок не виден, то голова снизу треугольная. Надкрылья, если имеются, накладываются друг на друга вершинами (разделены диагональным «швом»). Если надкрыльев нет, то обычно есть 2 пары крыловых зачатков. *Бегают по поверхности воды или плавают.*	
COLEOPTERA — ЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (имаго). Тело компактное, с плотными покровами. Жёсткие парные надкрылья плоско покрывают сверху заднюю половину тела, смыкаясь по средней линии (без диагонального «шва»). Ротовой аппарат с развитыми парными челюстями. *Многие активно плавают.*	

Голова без крупных глаз; по бокам головы обычно по несколько глазков в виде группы мелких тёмных пятен. Грудные сегменты без следов крыловых зачатков, с более-менее прямыми задними краями; надкрылий нет.

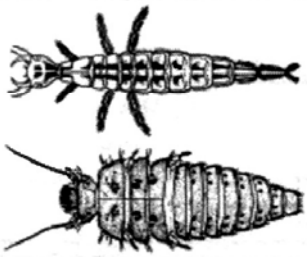
MEGALOPTERA — ВИСЛОКРЫЛКИ (личинки).
Тело удлинённое. Задний конец тела с длинным заострённым непарным выростом. Сегменты брюшка по бокам с членистыми нитевидными жабрами. Вырост и жабры с бахромой волосков. *Могут активно плавать.*



TRICHOPTERA — РУЧЕЙНИКИ (личинки).
Тело удлинённое, облик обычно слегка напоминает гусениц. Головная капсула и грудные сегменты (один-два передних или все три) плотные; остальная часть тела мягкая, более-менее цилиндрическая. Вершина тела с парой коротких выростов, несущих по крючку. *Чаще всего в переносных домиках. Как правило, не плавают.*



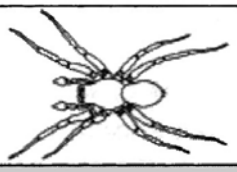
COLEOPTERA — ЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (личинки).
Тело удлинённое, при этом может быть уплощено. Нередко задний конец тела вытянут и заострён, может нести парные «нити» (они могут быть в длинных волосках). Сегменты брюшка могут нести по бокам жабры в виде нечленистых лопастей или «нитей», которые могут иметь бахрому из волосков. *Многие активно плавают.*



ЧЕТЫРЕ ПАРЫ ЧЛЕНИСТЫХ НОГ

HYDRACHNIDIA — ВОДЯНЫЕ КЛЕЩИ.
Тело компактное, округлое или овальное, без перетяжки. Длина до 8 мм (редко более 4 мм). *Многие активно плавают, попеременно двигая ногами.*

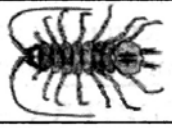
ARANEI — ПАУКИ.
Тело из двух компактных отделов, разделённых перетяжкой. *Неплавающие; могут бегать по воде или под водой.*



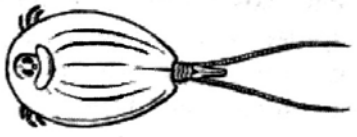
БОЛЕЕ ЧЕТЫРЁХ ПАР ЧЛЕНИСТЫХ НОГ

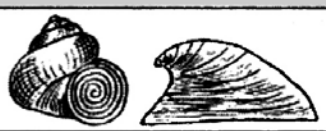
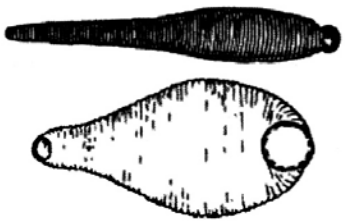
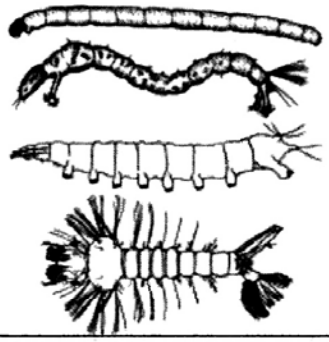
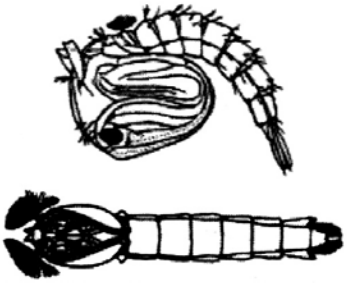
AMPHIPODA — БОКОПЛАВЫ.
Тело сжатое с боков, сегментированное. *Активно плавают.*

ISOPODA — РАВНОНОГИЕ РАКИ.
Тело уплощённое, удлинённо-овальное, сегментированное. *Не плавают.*

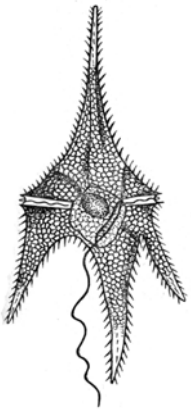


NOTOSTRACA — ЩИТНИ.
Передняя часть тела покрыта овальным несегментированным спинным щитом, из-под которого торчит удлинённый сегментированный брюшной отдел с 2 «нитями» на конце. *Могут активно плавать.*

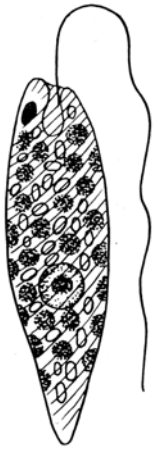


ЧЛЕНИСТЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ НЕТ	
ТЕЛО ЗАКЛЮЧЕН В ТВЁРДУЮ РАКОВИНУ	
GASTROPODA — БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ. Раковина спиральная или колпачковидная. *Не плавают.*	
BIVALVIA — ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ. Раковина двустворчатая, створки примерно равного размера и одинаковой формы. *Не плавают.*	
ТЕЛО БЕЗ РАКОВИНЫ	
HIRUDINEA — ПИЯВКИ. Тело с большой присоской на заднем конце (обычно также видна присоска на переднем конце), уплощённое (удлинённо-лентовидное или листовидное), кольчатое (более 20 коротких сегментов). *Ползают, используя присоски и активно плавают, волнообразно изгибая тело в вертикальной плоскости.*	
TURBELLARIA — РЕСНИЧНЫЕ ЧЕРВИ. Тело уплощённое (лентовидное или удлинённо-листовидное), не кольчатое, без головной капсулы и придатков. Передний край прямой, угловатый или закруглённый, часто с тёмными глазными пятнами. *Неплавающие; двигаются по субстрату, плавно скользя.*	
OLIGOCHAETA — МАЛОЩЕТИНКОВЫЕ ЧЕРВИ. Тело тонкое, нитевидное, не уплощённое, кольчатое (более 20 коротких сегментов), без головной капсулы и придатков. *Как правило, способны ненаправленно плавать, быстро изгибаясь.*	
DIPTERA — ДВУКРЫЛЫЕ (личинки). Тело более-менее цилиндрическое или веретеновидное, кольчатое (не более 13 сегментов). Передний конец с уплотненной головной капсулой (бывает частично втянута) или с просвечивающими тёмными продольными структурами. Некоторые сегменты могут нести бугорковидные нечленистые ложноножки; задний конец тела может нести длинные щетинки, парные или непарные придатки. *Многие могут плавать, резко изгибаясь.*	
DIPTERA — ДВУКРЫЛЫЕ (куколки). Тело с вздутым цельным передним отделом (с нижней стороны могут просвечивать неподвижные чехлы ног) и с удлинённым кольчатым брюшком (не более чем из 9 сегментов). Передний конец тела может нести пару придатков различной формы (веретеновидные, трубковидные или в виде ветвящихся нитей). *Многие могут плавать, резко изгибая брюшко.*	

Атлас фауны аэротенков городских очистных сооружений

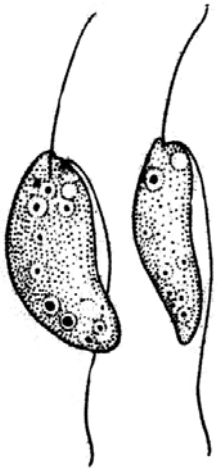


Ceracium hirundinella

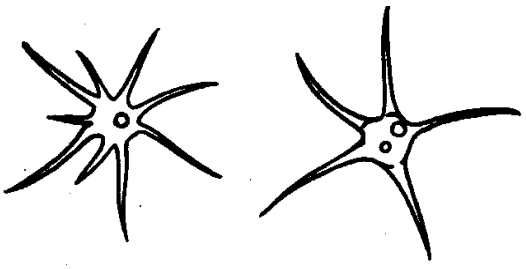


Euglena proxima

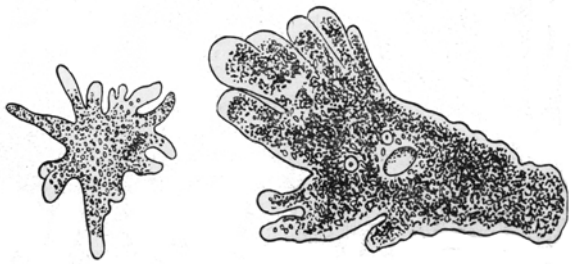
Peranema trichophorum



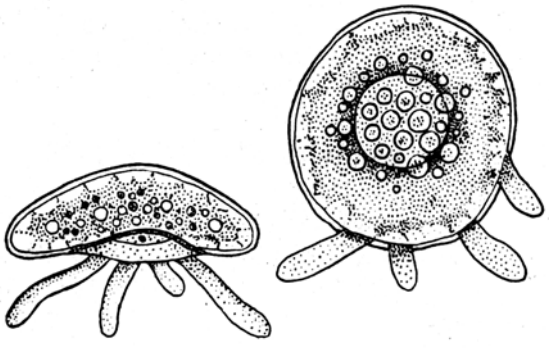
Bodo caudatus



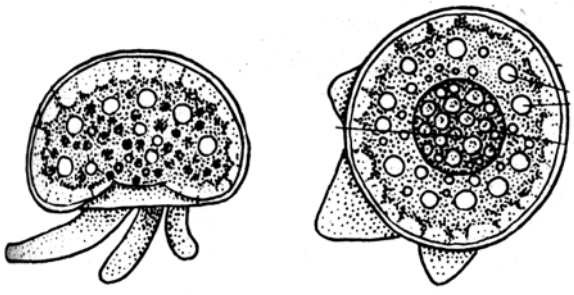
Amoeba radiosa



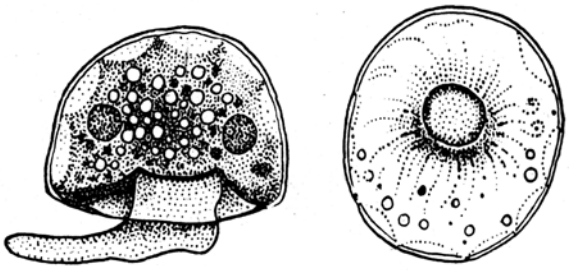
Amoeba proteus



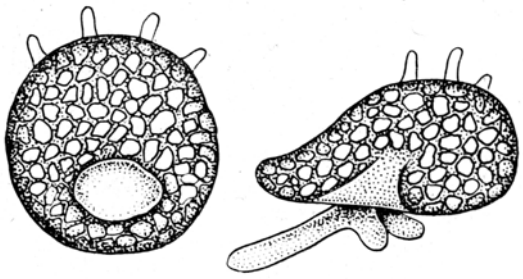
Arcella discoides



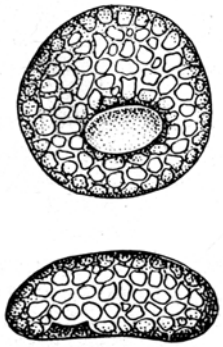
Arcella vulgaris



Arcella hemisphaerica

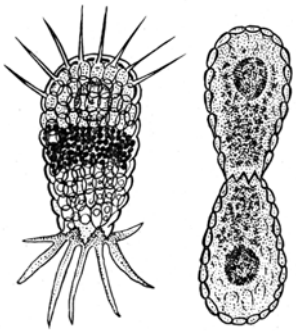


Centropyxis aculeata

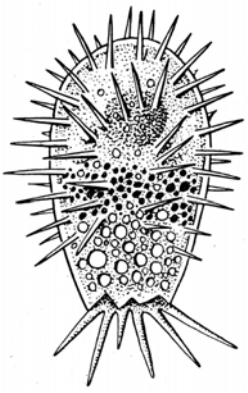


Centropyxis plagiostoma

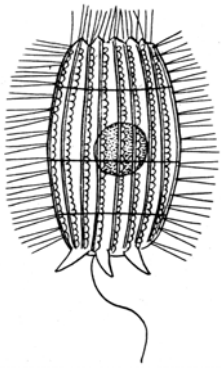
Euglypha laevis



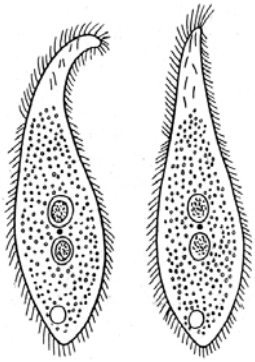
Euglypha acanthophora



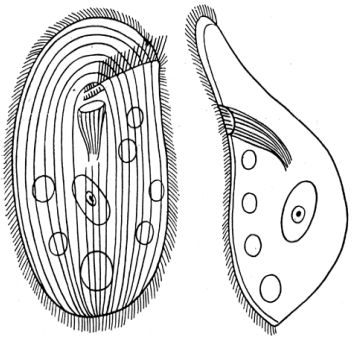
Euglypha ciliata



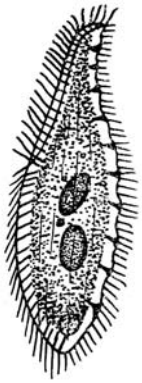
Coleps hirtus



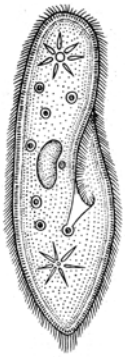
Hemiophrys **sp.**



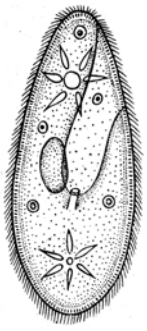
Chilodonella cucullulus



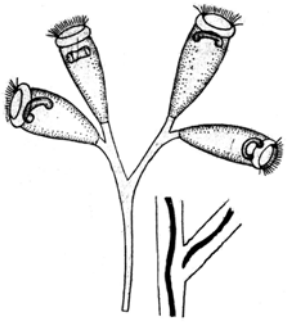
Loxophyllum helus



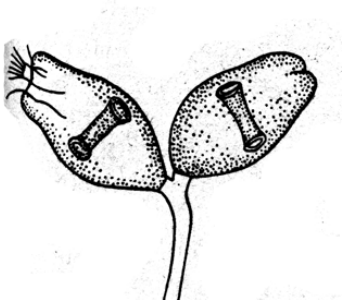
Paramecium caudatum



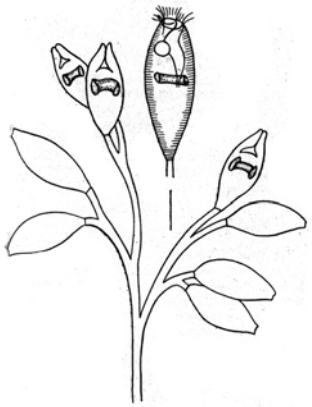
Paramecium aurelia



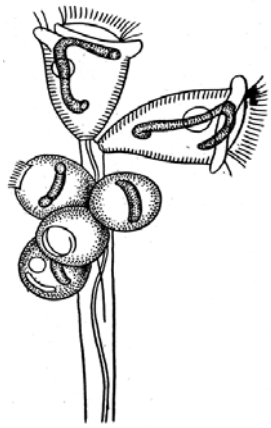
Epistilis **sp.**



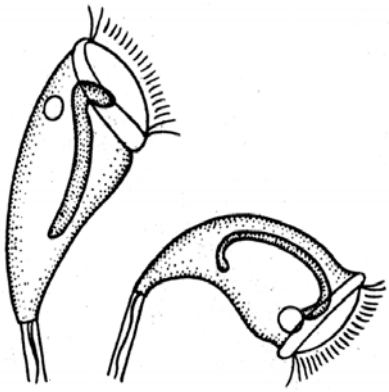
Opercullaria microdiscum



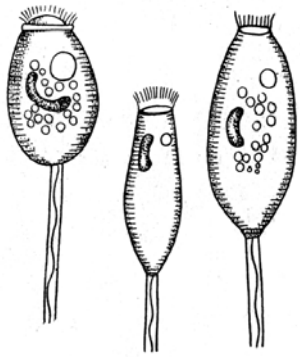
Opercullaria coarctata



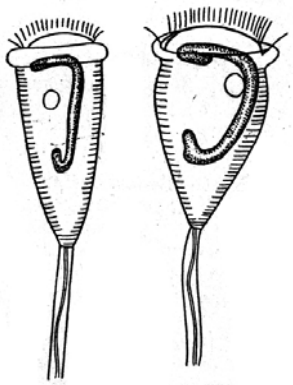
***Carchesium* sp.**



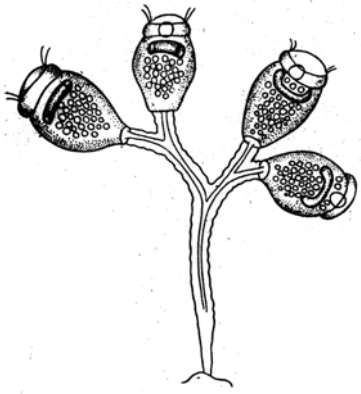
Vorticella nutans



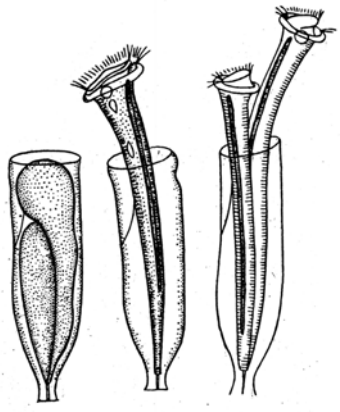
Vorticella microstoma



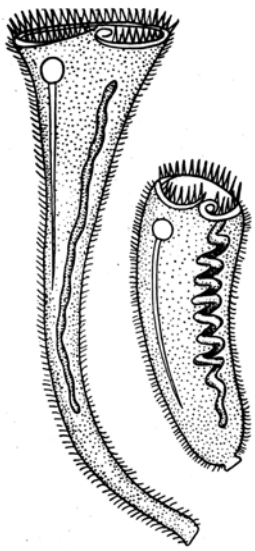
Vorticella convallaria



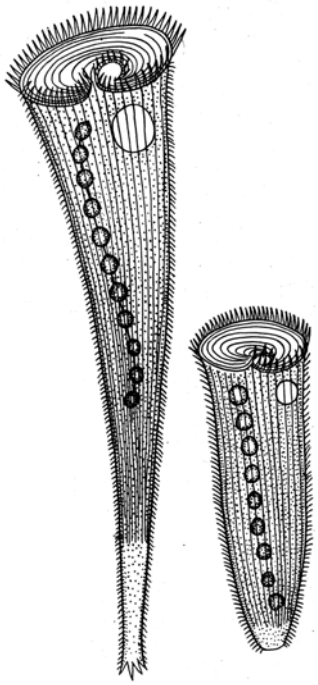
***Zoothamnium* sp.**



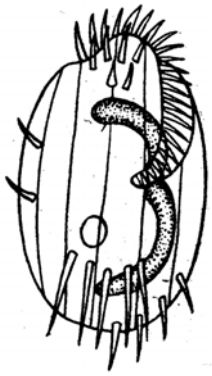
Thuricola similis



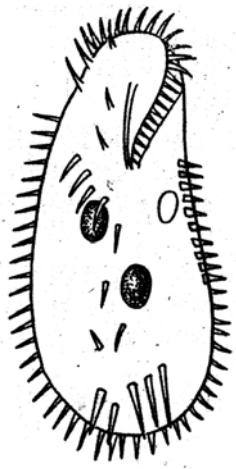
Stentor roeseli



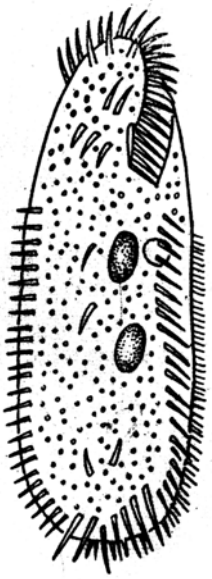
Stentor polymorphus



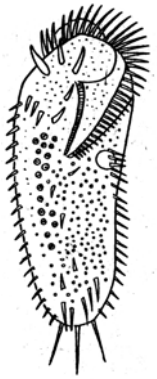
Euplotes affinis



Oxytricha fallax

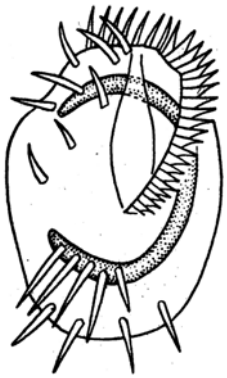


Opistotricha similis

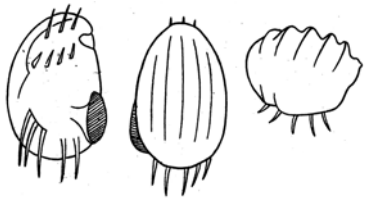


Stylonychia mytilis

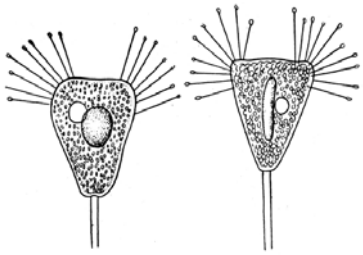
Euplotes haron



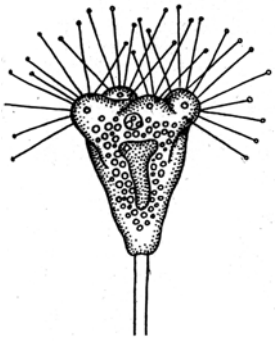
Euplotes patella



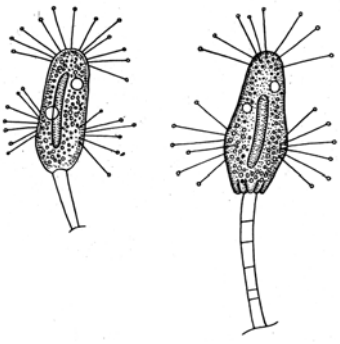
Aspidisca costata



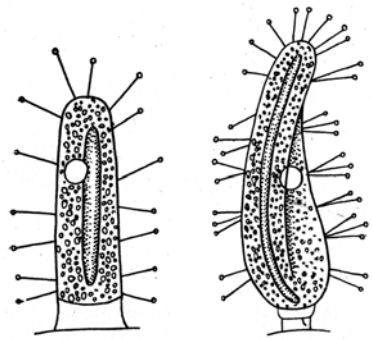
Tokophria mollis



Tokophria quadripartita

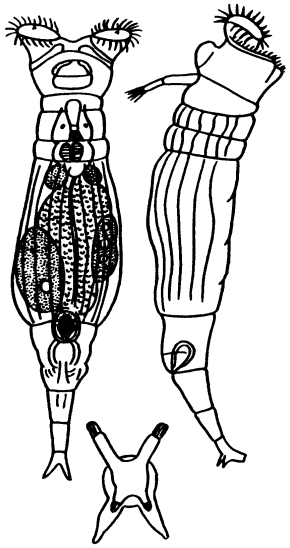


***Rhabdophrya* sp.1**

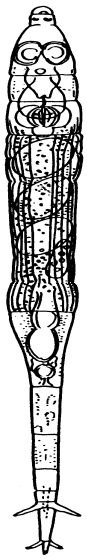


***Rhabdophrya* sp.2**

Acineta foetida



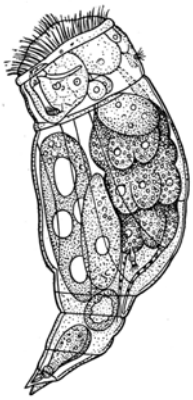
Philodina roseola



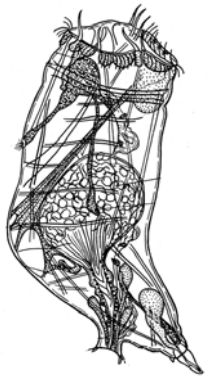
Rotaria rotatoria

Rotaria elongata

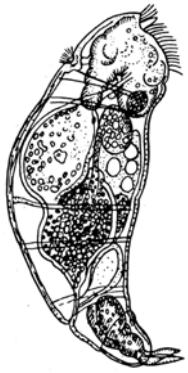
Rotaria neptunia



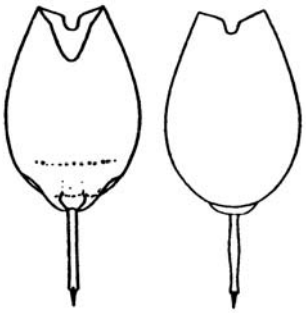
Proales sigmoidea



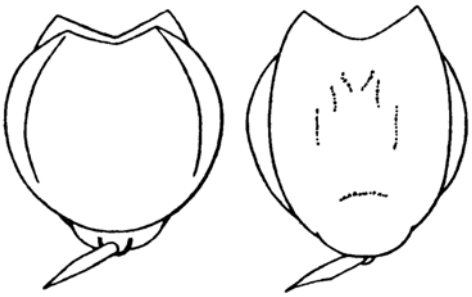
Epiphanes senta



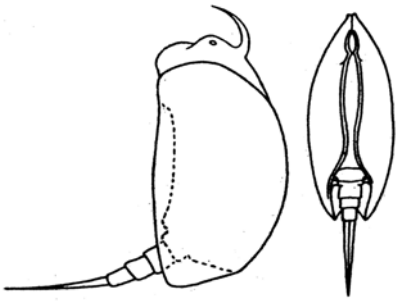
Encentrum putorius



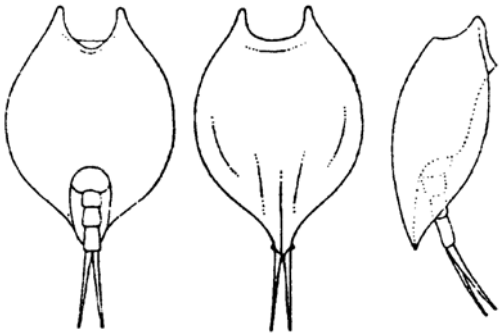
Lecane bulla



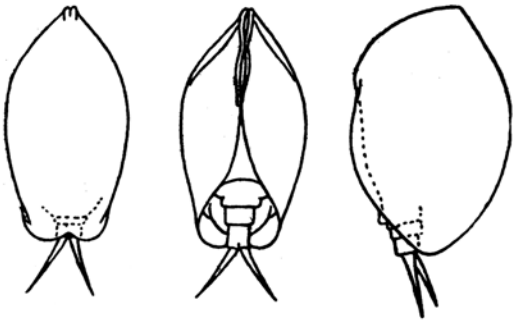
Lecane closterocerca



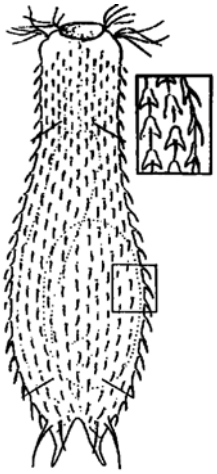
Colurella colurus



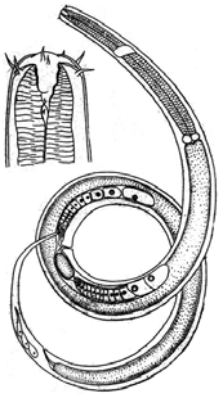
Lepadella acuminata



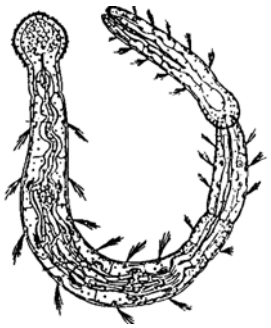
Colurella obtusa



Chaetonotus sp.



Nematoda



Aelosoma hemprichi

Chaeto-gaster diaphanus

Chaeto-gaster diastrophus

Список литературы

1. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб : Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.
2. Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л. : Гидрометеоиздат, 1989. 152 с.
3. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб. : Наука, 1996. 198 с.
4. Аникин В. В. О вселенцах-гидробионтах из числа высших ракообразных (Crustacea, Decapoda) в Саратовском и Волгоградском водохранилищах // Природа Симбирского Поволжья. Ульяновск: Деловые и представительские бумаги, 2002. Вып. 3. С. 198–199.
5. Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных / Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л. : ЗИН АН СССР, 1979. С. 59–79.
6. Винберг Г. Г. Методы определения продукции водных животных. Минск : Вышейшая школа, 1968. 248 с.
7. Вербицкий В. Б. Курс лекций по планктологии. URL: https://ibiw.ru (дата обращения: 06.01.2021).
8. Гиляров А. М. Популяционная экология. М. : Изд-во МГУ, 1990. 191 с.
9. Золотухин В. В., Назаренко М. А. Обнаружение мохнаторукого краба *Eriocheir sinensis* (Crustacea: Grapsidae) в районе Ульяновска // Природа бассейна Волги. 2002. Т. 3. С. 204.
10. Иванов А. В., Мончадский А. С., Полянский Ю. И., Стрелков А. А. Большой практикум по зоологии беспозвоночных. М. : Советская наука, 1946. 631 с.
11. Иванова М. Б. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. Л. : АН СССР, 1985. 220 с.
12. Ивлев В. С. Энергетический баланс карпов // Зоологический журнал. 1939. Т. 18. С. 308–318.
13. Камшилов М. М. Определение веса *Calanus finmarchicus* Gunner на основании измерения длины тела // Доклады АН СССР. 1951. Т. 76, Вып. 6. С. 945–948.
14. Карташева Н. В., Лебедева Л. И, Лихачева Н. Е. Определение продукции зоопланктона / Гидробиологический практикум. Методы определения биологической продуктивности. М. : МГУ, 1999. С. 66–78.

15. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Л. : Наука, 1970. Вып. 104. 744 с.

16. Лебедева Л. И., Козлова Е. И. Размерно-весовая характеристика живых и фиксированных пресноводных кладоцер // Гидробиологический журнал. 1968. Т. 5, № 2. С. 73–79.

17. Литвенкова И. А. Гидроэкология: методические задания к проведению лабораторных занятий. Витебск : Изд-во ВГУ им. П. М. Машерова, 2007. 54 с.

18. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 184 с.

19. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России : в 2 т. Т. 1: Зоопланктон. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

20. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России : в 2 т. Т. 2: Зообентос. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.

21. Стойко Т. Г., Мазей Ю. А. Планктонные коловратки Пензенских водоемов. Пенза : Изд-во ПГПУ, 2006. 135 с.

22. Сущеня Л. М., Семенченко В. П., Трубецкова И. Л. Продукция планктонных ракообразных и факторы среды. Минск: Навука, тэхніка, 1990. 159 с.

23. Численко Л. Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон). Л. : Наука, 1968.

24. Фауна аэротенков (Атлас) / под ред. Л. А. Кутиковой. Л. : Наука, 1984. 263 с.

25. Чмырь В. Д. Радиоуглеродный метод определения продукции зоопланктона в естественной популяции // ДАН СССР. 1967. № 173. С. 201–203.

26. Яшнов В. А. Планктическая продуктивность Северных морей СССР. М. : МОИП, 1940. 85 с.

27. Boysen-Yensen P. Valuation of the Limfiord.1. Stadies on the Fish-Food in the Limfiord 1909–1917. Rep. Danish.-Biol. 1919. St. XXVI P. 1–44.

28. Ebert D. Ecology, Epidemiology and Evolution of Parasitism in *Daphnia* [Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information. Available from, 2005. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov

29. Sladecek V. Ergebnisse der limnologie. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller). Stuttgart, 1973. P. 180–218.

30. Slynko Y. V., Korneva L. G., Rivier I. K., Shcherbina K. H., Papchenkov V. G., Orlova M. I., Therriault T. W. CaspianVolga-Baltic invasion corridor // Invasive aquatic species of Europe: Distribution, impacts and management. Kluwer Publishers, 2002. P. 399–411. URL : http:// zoo.rin.ru/cgi-bin/index.pl?idr=11&art=63 (биотестирование).

Учебное издание

Сенкевич Виктория Александровна
Стойко Тамара Григорьевна

ГИДРОЭКОЛОГИЯ: МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Редактор *Е. В. Шмелева*
Технический редактор *С. В. Денисова*
Компьютерная верстка *С. В. Денисовой*

Подписано в печать 25.06.2021.
Формат $60\times84^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 4,19.
Тираж 35. Заказ № 273.

Издательство ПГУ
440026, Пенза, Красная, 40
Тел./факс: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru

ПензГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

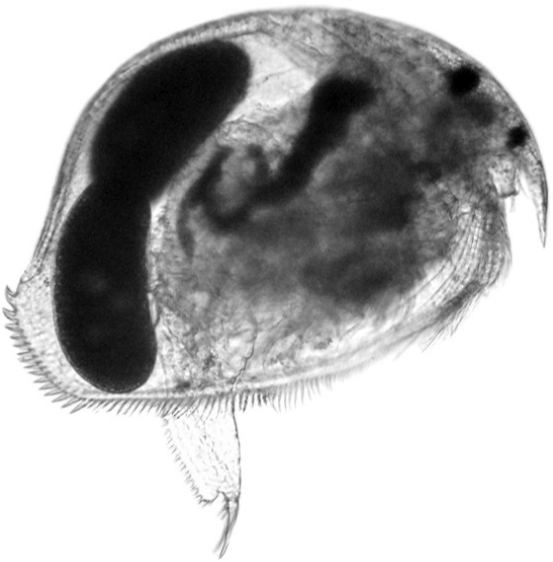
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. А. Сенкевич, Т. Г. Стойко

ГИДРОЭКОЛОГИЯ: МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Учебно-методическое пособие



ПЕНЗА 2021