

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

ГИДРОЭКОЛОГИЯ

*Методические рекомендации
к выполнению лабораторных работ*

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2023*

УДК 556.552:574.5(075.8)
ББК 26.220.8я73
Г46

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 7 от 26.04.2023.

Составитель: доцент кафедры экологии и географии ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук, доцент **И.А. Литвенкова**

Р е ц е н з е н т :
заведующий кафедрой фундаментальной и прикладной биологии
ВГУ имени П.М. Машерова,
кандидат биологических наук, доцент *И.И. Ефременко*

Г46 **Гидроэкология : методические рекомендации к выполнению лабораторных работ / сост. И.А. Литвенкова. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2023. – 52 с.**

Методические рекомендации подготовлены в соответствии с типовой учебной программой по курсу «Гидроэкология» для студентов, обучающихся по специальностям 1-33 01 01 Биоэкология, 6-05-0521-01 Экология. Рассматриваются вопросы оценки абиотических факторов водной среды, адаптивные особенности гидробионтов к факторам среды, методы расчета самоочищающей способности водных экосистем.

Предназначены для студентов, обучающихся по биоэкологическим и биологическим специальностям, учителям биологии и экологии, а также лицам, ведущим исследования в различных областях гидроэкологии.

УДК 556.552:574.5(075.8)
ББК 26.220.8я73

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1 Распределение температуры воды в озере по вертикале	5
Лабораторная работа № 2 Цикломорфоз у пресноводных планктических организмов. Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации на примере представителей подотряда Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – Daphnia	8
Лабораторная работа № 3 Макрофиты водоемов и их хозяйственное использование. Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени их зарастания	20
Лабораторная работа № 4 Адаптивные особенности планктона к сохранению взвешенного состояния в воде	29
Лабораторная работа № 5 Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек	44
Лабораторная работа № 6 Определение видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества	47
ЛИТЕРАТУРА	51

ВВЕДЕНИЕ

Гидроэкология – это биологическая наука, изучающая водные экосистемы и их части как целостную систему взаимодействующих живых (биотических) и неживых (абиотических) компонентов. Гидроэкология изучает закономерности жизни преимущественно на надорганизменных уровнях – популяционном, биоценотическом и экосистемном – в неразрывной связи с условиями водной среды и близлежащих территорий. Рассматривая водную экосистему как целостную функциональную единицу биосферы, гидроэкология опирается на базовые дисциплины – ботанику, зоологию, микробиологию, гидробиологию. Более широко гидроэкология использует данные гидрологических и гидрохимических исследований, в частности таких направлений наук, как экологическая гидрология и экологическая гидрохимия.

Гидроэкология – не только биологическая наука, это и социально-экономическая дисциплина, имеющая большое социальное значение, поскольку она рассматривает влияние хозяйственной деятельности человека на качество воды, состояние и функционирование водных экосистем в целом как составляющих окружающей среды.

Важнейшие задачи современной гидроэкологии:

1. Изучение взаимодействия биотических и абиотических компонентов и установление их роли в функционировании водных экосистем.

2. Экологические основы формирования качества воды в экосистемах разных водных объектов – реках, озерах, водохранилищах, морях и океанах. Это процессы загрязнения – самоочищения, реакции экосистем на различные антропогенные воздействия (эвтрофикация, термофикация, ацидификация, токсификация и др.).

3. Оценка биологической продуктивности водоемов, что лежит в основе решения многих проблем рыбного хозяйства и рыбного промысла.

Цель настоящих методических рекомендаций – закрепить теоретические знания и приобрести опыт гидроэкологических исследований на практике. В издании рассмотрены работы, посвященные оценке абиотических факторов исследуемого водоема, особенности адаптации гидробионтов к факторам внешней среды, а также содержатся практические расчетные работы, в которых отрабатываются основные методы оценки самоочищения рек по гидробиологическим показателям. В ходе проведения работ повторяются ключевые теоретические моменты отдельных разделов курса «Гидроэкология».

При подготовке методических рекомендаций использован опыт других вузов, научная и методическая литература, основной список которой приводится.

Учебное издание подготовлено для студентов биологических специальностей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Распределение температуры воды в озере по вертикале

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

Оборудование: миллиметровая бумага, карандаш, линейка.

Контрольные вопросы:

1. Классификация озер по Д. Хатчинсону.
2. Дать характеристику эпилимниона, металимниона и гиполимниона.
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°C (температура наибольшей плотности). При нагревании (в пределах от 0° до 4°C) или охлаждении (при температуре выше 4°C) верхних слоев воды увеличивается их плотность, что приводит к погружению слоев на глубину и замещению более легкими (менее плотными) глубинными слоями воды. Таким образом, возникающее вертикальная конвективная циркуляция обуславливается разной плотностью воды на различных глубинах. Конвективное перемешивание прекращается, когда вся вода в озере принимает однородную температуру, равную температуре придонного слоя воды, а для неглубоких озер $t = 4^{\circ}\text{C}$, такое состояние в озере называется *гомотермией* (рис.1.1, кривая 2) и характерно для переходных периодов термического режима - весны и осени.

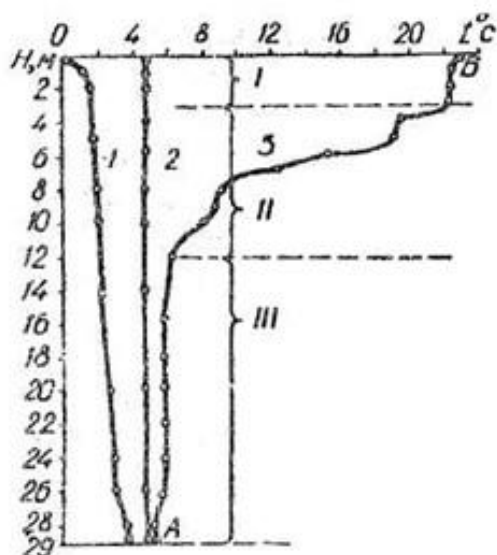


Рис. 1.1 – Изменение температуры воды с глубиной в оз. Кривом
 1/Ш 1972 г. (1); 25/XI 1971 г. (2); 29/V 1970 г. (3);
 I – эпилимнион; II – металимнион; III – гиполимнион.

При охлаждении воды до температуры ниже 4°C поверхностные слои ее становятся легче нижележащих более теплых и плотных слоев. Поэтому в зимний период, когда водные массы озер содержат наименьшее количество тепла, температура поверхностного слоя воды близка к нулю $^{\circ}\text{C}$. С глубиной температура увеличивается и у дна большинства водоемов находится в пределах $1,5\text{--}4,0^{\circ}\text{C}$, а при прогреве от теплоотдачи дна иногда несколько выше 4°C . Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рис. 1.1, кривая 1). 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. 1.1, 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. 1.1.). 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 зависит от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гипolimниона.

Задание.

1. По данным наблюдений за температурой воды в озере построить график распределения температуры воды по вертикали для периодов прямой и обратной термической стратификации и гомотермии.

2. Выделить горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион, гипolimнион (рис. 1.1.). Определить вертикальный градиент температуры ($\Theta = dt/dh$) (изменение температуры на 1 м глубины) в слое температурного скачка и его наибольшее значение $\Theta_{\text{наиб}}$.

3. Вычислить среднюю температуру ($t_{\text{ср}}$, °C) воды по вертикали для периода прямой термической стратификации.

Выполнение работы: **1.** График распределения температуры воды по глубине строится на миллиметровой бумаге по данным измерений температуры на вертикали в озере (см. табл. 1.1). По оси ординат откладываются глубины в метрах, по оси абсцисс – температура °C. 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.** На графике – кривая 3 прямой термической стратификации – определяем участок резкого перепада температуры с глубиной, проводим горизонтальные линии, выделяя слои эпилимниона, металимниона и гипolimниона. На рис. 1 (кривая 3) слой температурного скачка расположен между глубинами 3 и 12 м, выше и ниже его – слои с относительно однородной, мало изменяющейся по глубине, температурой воды. Изменение температуры в слое металимниона составляет 16,4°C (от 22,6 до 6,2°C) на 9 м глубины (12-3 м), а вертикальный градиент $\Theta = 1,8$ °C на 1 м (16,4:9). Для определения наибольшего градиента температуры выбираем отрезок кривой в слое скачка с наибольшим перепадом температуры. В нашем примере $\Theta_{\text{наиб}} = 4$ °C на 1 м в слое 5–6 м. **3.** Средняя температура воды по вертикали ($t_{\text{ср}}$, °C) может быть вычислена с помощью графика распределения температуры воды по глубине; определяется как частное от деления площади эпюры, ограниченной на графике координатными осями, кривой распределения температуры воды и линией дна, на полную глубину вертикали:

$$t_{\text{ср}} = S/H, \text{ °C},$$

где S – площадь эпюры (°C м), H – глубина вертикали в метрах.

Таблица 1.1 – Распределение температуры воды с глубиной в оз. Кривом (Ушачская группа озер, Беларусь)

Глубина (м)	I/III 1972 г.	25/XI 1971 г.	29/VI 1970 г.
Поверхность	0,2	4,8	23,1
1	1,2	4,8	22,6
2	1,5	4,8	22,6
3	1,5	4,8	22,6
4	1,5	4,8	19,6
5	1,7	4,8	19,4
6	1,7	4,8	15,4
7	1,7	4,8	12,4
8	1,9	4,8	9,3
9	1,9	4,8	8,9
10	2,0	4,8	8,2
12	2,0	4,8	6,2
14	2,2	4,8	6,2
16	2,2	4,8	5,9
18	2,2	4,8	5,9
20	2,7	4,8	5,9
22	2,7	4,8	5,9
24	3,0	4,8	5,9
26	3,1	4,8	5,6
28	3,7	4,8	5,2
29	3,8	4,9	5,2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Цикломорфоз у пресноводных планктических организмов. Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации на примере представителей подотряда Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – Daphnia

Цель работы: изучить сезонную изменчивость организмов планктона на примере различных видов организмов; познакомиться с особенностями процесса фильтрации представителей подотряда Cladocera.

Оборудование: микроскоп, бинокляр, культура дафний, чашки Петри.

Контрольные вопросы:

1. Понятие цикломорфоза, его адаптивная роль. Смена экологических стратегий.
2. Для каких организмов планктона характерна сезонная изменчивость?
3. Морфологические изменения, наблюдаемые при цикломорфозе.
4. Факторы, вызывающие морфологические изменения у водных организмов.

5. Особенности цикломорфоза у шлемовых и нешлемовых форм дафний.
6. Отличительные особенности цикломорфоза и экофенотипической изменчивости.
7. Особенности строения первой пары конечностей.
8. Особенности строения второй пары конечностей: функции щетинок максиллярного выроста.
9. Особенности строения 3 и 4 пар ног: сходства и различия. Функции гребня щетинок.
10. Строение и функции 5 пары конечностей.
11. За счет чего осуществляется процеживание воды через фильтр дафний?
12. Сколько пар всасывательных камер? Какие из них играют главную роль в отфильтровывании пищи?
13. Чем образованы всасывательные камеры с наружи, с низу, со спинной стороны.
14. Чем представлен фильтр?
15. Чем представлена и где находится фильтрационная камера дафний?
16. Охарактеризовать фазу абдукции.
17. Охарактеризовать фазу аддукции.
18. Функции брюшного желобка.

Цикломорфоз у пресноводных планктических организмов

Впервые термин цикломорфоз был предложен Р.И. Лаутерборном, 1904 для объяснения сезонного полиморфизма, наблюдающегося у планктонных организмов. Цикломорфоз (или сезонная изменчивость) определяется как циклические морфологические изменения, наблюдающиеся в планктонных популяциях во времени. Наиболее резко выражен цикломорфоз у пресноводных планктических организмов, относящихся к диатомеям (*Asterionella*, *Tabellaria*), перидинеям (*Ceratium*), коловраткам (*Keratella*, *Brachionus* и другие виды) и ветвистоусым ракам (пелагические *Daphnia* и *Bosmina*).

Это явление наблюдается у организмов, имеющих в течение года большое число генераций, получающихся в результате деления клеток у водорослей или партеногенетического размножения у животных.

Проявляется цикломорфоз видоспецифичными изменениями в морфологии, характеристиках в жизненных циклах, и сопровождается изменением скорости роста, размеров тела и выростов. В настоящее время общепризнанными являются два механизма, на основе которых осуществляется цикломорфоз в популяциях ветвистоусых ракообразных: фенотипическая пластичность и клональная сукцессия. Фенотипическая пластичность имеет место тогда, когда один генотип может производить различные феноти-

пы в неодинаковых условиях окружающей среды. Клональная сукцессия представляет собою замену одних клонов (при сезонном партеногенетическом размножении ветвистоусых, потомство самки является практически ее точной копией) другими при изменении условий существования.

Среди факторов, вызывающих морфологические изменения у водных организмов, рассматривают следующие:

1. Температуру. Например, у *D. pulex* цикломорфоз начинается при температуре воды 12–16°C. При понижении температуры хвостовая игла укорачивается. Зимние и весенние рачки имеют короткую хвостовую иглу (не более 10% длины тела). У летних форм ее длина составляет 22–43% от длины тела.

2. Освещенность. В период летнего освещения наблюдается развитие цикломорфных признаков.

3. Плотность популяции всего вида.

4. Турбулентность. В летний период при оптимальных температурах, турбулентция способствует более выраженному увеличению высоты шлема и длины хвостовой иглы.

5. Пищевое обеспечение.

6. Наличие хищников. Особенно четко, цикломорфоз, вызванный влиянием хищника прослеживается у дафний и выражается в развитии защитных структур. Согласно размерно-селективной теории хищничества: большинство беспозвоночных хищников предпочитают мелкую добычу, а позвоночные – крупную. Защитой от размерно-селективного хищничества становится или увеличение размеров тела жертвы или переход в покоящуюся стадию. Ниже на примерах рассмотрен цикломорфоз, наблюдаемый у видов рода *Daphnia*, относящихся к среднеразмерной группе видов (цикломорфоз шлемовых форм) и цикломорф наблюдаемый у видов рода *Daphnia*, относящихся к крупноразмерной группе видов (цикломорфоз нешлемовых форм).

Таким образом, поскольку отдельные виды формируют в процессе эволюции свои формы цикломорфных изменений, цикломорфоз, будучи видохарактерным по форме, представляет собой один из примеров сезонного изменения экологических стратегий популяции. Цикломорфозные изменения носят адаптивный характер. Такие адаптации являются очень интересным примером эволюции. На меняющиеся условия популяции реагируют очень быстрым фенотипическим преобразованием своей структуры по комплексу признаков. Эта трансформация направлена на устойчивое функционирование популяций в разных условиях, обеспечивая их гомеостаз.

Собственно цикломорфоз следует отличать от экофенотипической (эколого-морфологической) изменчивости, представленной аналогичными морфологическими изменениями, но не сезонными, а обусловленными особенностями условий в местообитании.

Задание 1. Рассмотреть и зарисовать сезонные морфологические изменения различных представителей планктона (рис. 2.1, 2.2, 2.3). Отметить характерные особенности морфологии в присутствии и отсутствии хищников (рис. 2.4, 2.5). Рассмотреть морфологические изменения при цикломорфозе и экофенотипической изменчивости (рис. 2.6).

Цикломорфоз диатомей (рис. 2.1, А–Г)

Рассматриваются типичные планктические диатомеи *Asterionella gracilima*, колонии которой зимой содержат четыре-пять коротких клеток, а летом 12–18 клеток, отличающихся большей длиной, и *Tabellaria fenestrata*, с цепными колониями зимой и звездчатыми летом.

Цикломорфоз перидиней (рис. 2.1, Д–Е)

Рассматриваются различные формы *Ceratium hirundinella*, обладающие в холодное время года двумя антапикальными рогами (трехрогая форма), а летом тремя антапикальными рогами (четырёхрогая форма).

Какие морфологические изменения характерны в процессе цикломорфоза для представителей Diatomeae и Peridineae, в чем их причина?

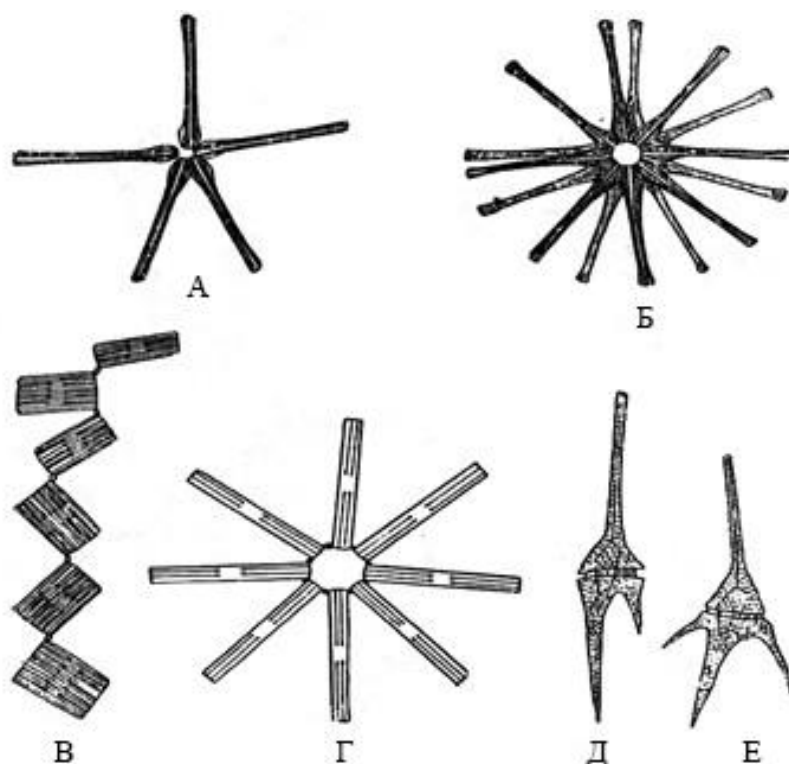


Рис. 2.1 – Цикломорфоз Diatomeae и Peridineae:

А, Б – *Asterionella gracillima*, зимняя (А) и летняя (Б) колонии;
 В, Г – *Tabellaria fenestrata* var. *intermedia* (В) и var. *asterionelloides* (Г);
 Д, Е – *Ceratium hirundinella*, зимняя (Д) и летняя (Е) формы.

Цикломорфоз *Keratella cochlearis* (рис. 2.2)

Отметить характерные черты основной зимней формы *Keratella cochlearis*, отличительные черты форм ряда *tecta*, ряда *irregularis*, ряда *hispidata*.

Keratella cochlearis относится к самым обычным представителям пресноводного планктона. Обладают крепким панцирем, выпуклым на спинной стороне и у типичных форм снабженным срединным продольным килем, по бокам которого находятся угловатые пластинки; у других форм панцирь покрыт шипиками. Передний край панциря с шестью шипами, задний край с одним срединным шипом, варьирующим по длине.

Основная форма, *f. Macracantha*, отличающаяся присутствием длинного заднего шипа, по длине равного панцирю, встречается зимой; летом можно обнаружить три параллельных ряда изменчивости, начинающихся этой основной формой.

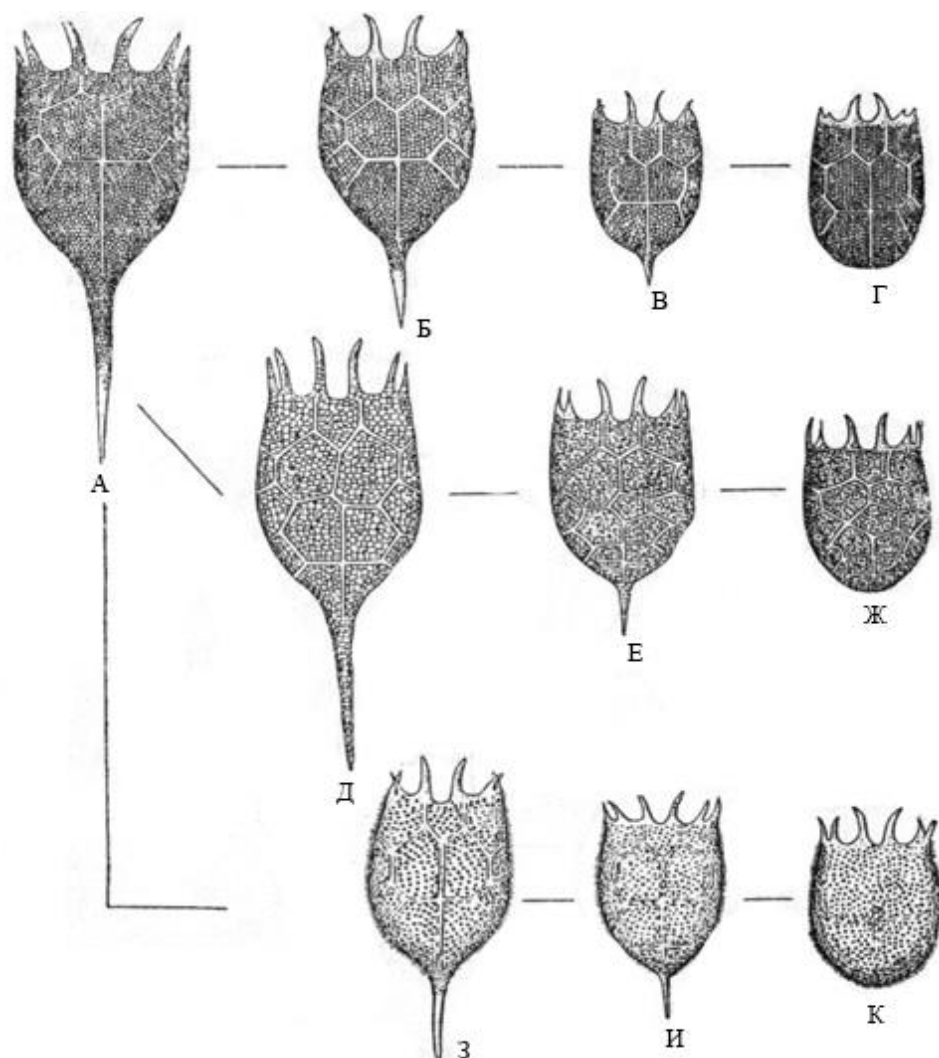


Рис. 2.2 – Цикломорфоз *Keratella cochlearis*

A – *f. Macracanth*, Б – *f. Typica*; В – *f. Micracantha*; Г – *f. Tecta*; Д – *f. Connectens*,
Е – *f. Angulifera*; Ж – *f. Ecaudata*; З – *f. Pustulata*; И – *f. Hispida*; К – *f. Hispida-tecta*.

Ряд *tecta* проходит через следующие формы – *f. Typica*, с задним шипом умеренной длины, *f. Micracantha*, с почти редуцированным задним шипом, и *f. Tecta*, совершенно лишенную заднего шипа. Все формы этого ряда имеют симметрично построенный панцирь, с прямым средним килем; шипики отсутствуют.

Ряд *irregularis* по характеру изменения совпадает с предыдущим рядом, проходит через *f. Connectens*, с задним шипом умеренной длины, *f. Angulifera*, с коротким задним шипом, и *f. Ecaudata*, лишенную заднего шипа. Отличительной чертой форм этого ряда является присутствие не прямого, а изогнутого срединного кия на панцире, вследствие этого пластинки теряют симметричное расположение; шипики слабо развиты.

Формы **ряда *hispida*** отличаются по присутствию на панцире шипиков и по слабому развитию или даже отсутствию срединного кия и границ между пластинками; у *f. Pustulata* пластинки еще заметны, задний шип умеренной длины. У *f. Hispida* срединный киль отсутствует, задний шип короткий, у *f. Hispida-tecta* задний шип полностью отсутствует.

Цикломорфоз *Brachionus calyciflorus* (рис. 2.3)

Отметить характерные черты основной зимней формы *Brachionus calyciflorus*, особенности строения рядов *amphiceros* и *spinosa*.

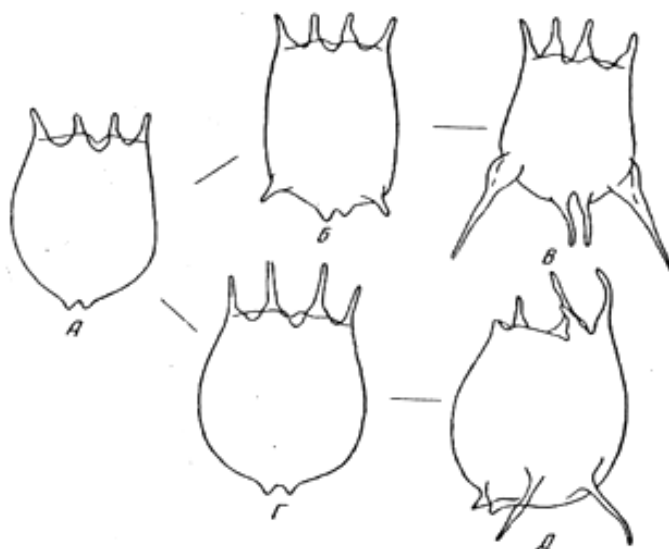


Рис. 2.3 – Цикломорфоз *Brachionus calyciflorus*

А – *f. pala*; Б – *f. anuraeiformis*; В – *f. amphiceros*; Г – *f. dorcas*; Д – *f. spinosa*.

Широко распространенные в прудах *Brachionus calyciflorus* отличается присутствием крепкого панциря, вооруженного на переднем крае четырьмя хорошо развитыми шипами; задний конец панциря с длинными шипами или без шипов; имеется длинная, цилиндрическая и кольчатая нога, оканчивающаяся двумя пальцами (у фиксированных экземпляров нога часто втянута внутрь панциря).

Во время цикломорфоза от исходной *f. pala*, совершенно лишенной задних боковых шипов и с очень слабо развитыми задними срединными шипами, расположенными около отверстия для ноги, образуются сначала *f. anuraeiformis*, с короткими задними шипами, а затем *f. amphiceros*, с длинными срединными и особенно боковыми задними шипами. У форм ряда *amphiceros* все передние шипы приблизительно одного размера.

Формы ряда *spinosa* характеризуются сильным развитием на переднем крае панциря срединных шипов, превышающих по величине боковые шипы; *f. dorcas* лишена боковых задних шипов, у *f. spinosa* боковые шипы имеются (иногда только один из них); *f. spinosa* сходна с *f. amphiceros*, отличается от нее сильным развитием передних срединных шипов.

Цикломорфоз шлемовых форм дафний (рис. 2.4)

Изучить, зарисовать и описать характерные признаки цикломорфозных изменений в морфологии *Daphnia cristata*.

Появление шлемовых форм связано с присутствием хищников. Шлемовые формы одинаково хорошо приспособлены избегать как позвоночных, так и беспозвоночных хищников. С одной стороны, высокий прозрачный шлем и длинная хвостовая игла делают рачков больше, чем размеры ловчих приспособлений беспозвоночных хищников. С другой стороны, этот тип защиты позволяет сохранять маленькую раковину, невидимую позвоночным хищникам.

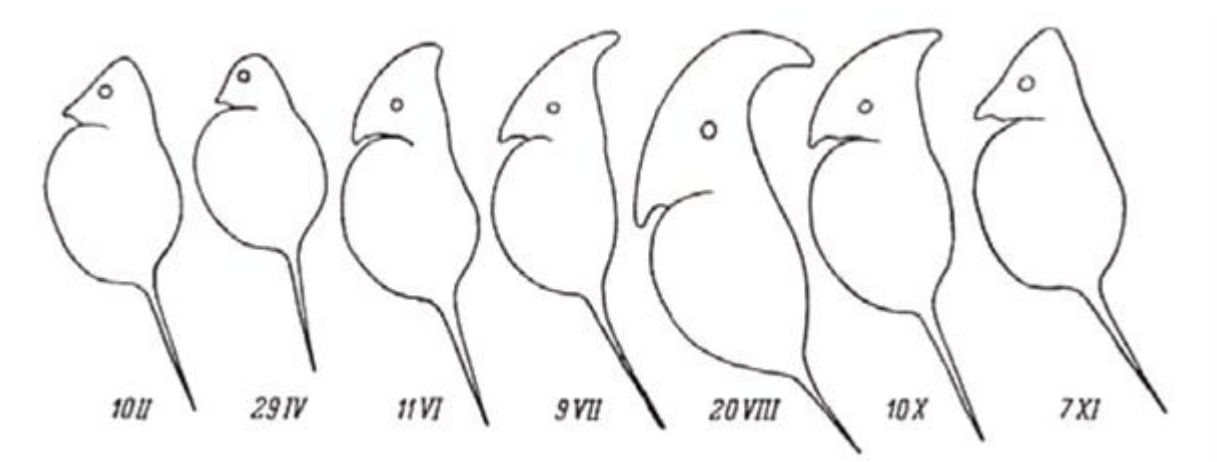


Рис. 2.4 – Цикломорфоз у *Daphnia cristata*

Цикломорфоз нешлемовых форм дафний

Изучить, зарисовать и описать характерные признаки цикломорфозных изменений в морфологии *Daphnia pulex*

Цикломорфоз нешлемовых форм характеризуется изменением размеров тела (раковины) и хвостовой иглы в зависимости от типа хищников. Типичный пример такой трансформации приведен на рис. 2.5. На первых

трех ювенильных стадиях в присутствии беспозвоночного хищника может наблюдаться развитие затылочного зубца.

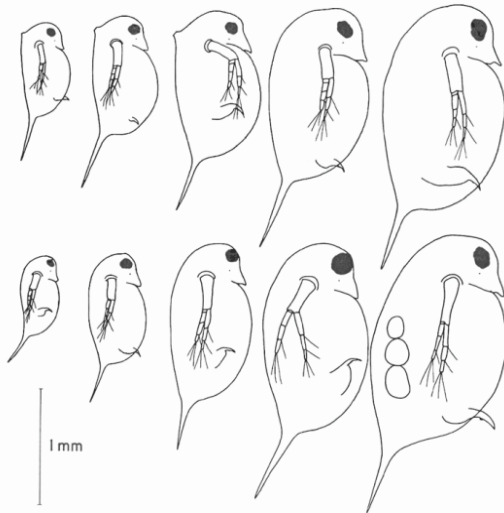


Рис. 2.5 – Возрастные стадии *Daphnia pulex*
Верхний ряд рачки в присутствии
каоборуса

Нижний ряд стадии развития пулексов
при отсутствии хищника

Цикломорфоз и экофенотипическая изменчивость

Каковы сезонные изменения морфологии у различных генераций *Daphnia cucullata*. Отметить экологию и отличия летних форм четырех варитетов данного вида.

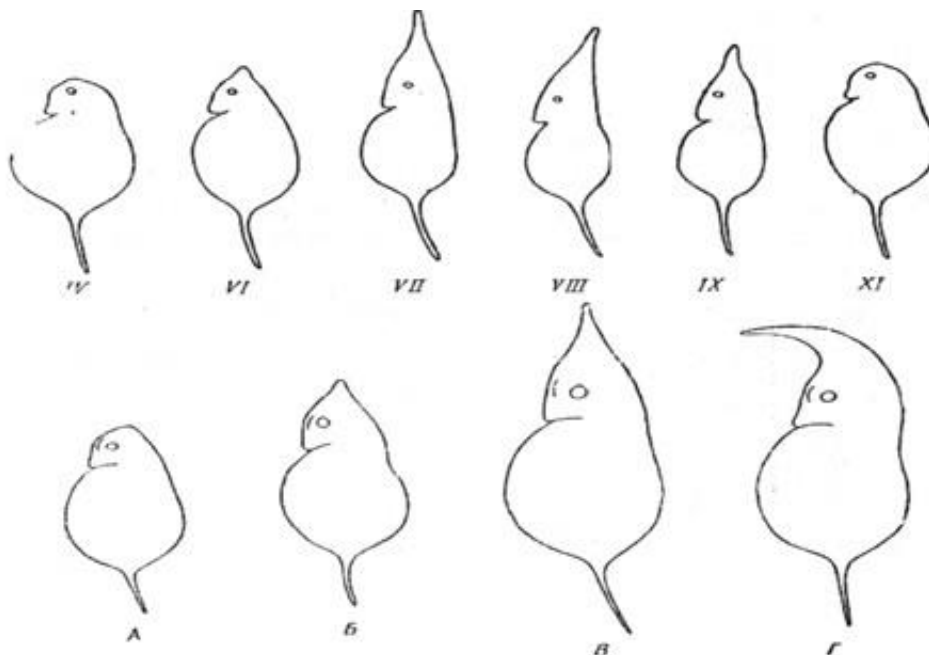


Рис. 2.6 – Цикломорфоз и экофенотипическая изменчивость
Daphnia cucullata

Верхний ряд – генерации *Daphnia cucullata* (цифры обозначают месяцы);

Нижний ряд – летние формы различных варитетов *Daphnia cucullata*:
при экофенотипической изменчивости А – *var. apicata*; Б – *var. berolinensis*;
В – *var. kahlbergiensis*; Г – *var. procurva*.

Обычным видом дафний в планктоне озер является *Daphnia cucullata*, называвшаяся ранее по причине большой прозрачности тела *Hyalodaphnia cucullata*. Относится к моноциклическим видам, в течение всего теплого времени года размножается партеногенетически и только осенью переходит к обоеполюму размножению. Цикл заканчивается отложением латентных яиц. Партеногенез у популяций, живущих в больших озерах, продолжается и в зимний период.

Рассматривая следующие друг за другом генерации, легко обнаружить большие изменения и их внешнем виде, совершающиеся с течением времени. Зимние формы, обладающие небольшой головой, при наступлении весеннего потепления, когда температура воды в течение короткого времени, измеряемого приблизительно тремя неделями, повышается до 12–16°C, 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, в частности, появляющиеся осенью эмбрионы обнаруживают отсутствие шлема.

Daphnia cucullata распадается на ряд сортов, отличающихся степенью развития шлема у особей летних генераций, в зимние месяцы варианты не различимы. В небольших озерах и прудах встречаются *D. Cucullata apicata* – голова с небольшим шлемом, на верхнем конце округлая; глаз расположен ближе к вершине шлема, чем к основанию головы. В неглубоких озерах обитает *D. Cucullata berlinensis* – голова с низким шлемом, на верхнем конце заостренным; глаз расположен на равном расстоянии от вершины шлема и основания головы. В глубоких и больших озерах живет *D. cucullata kahlbergiensis* – голова с высоким прямым шлемом, на конце заостренным; расстояние от глаза до вершины шлема в несколько раз больше расстояния до основания головы. В некоторых озерах можно обнаружить *D. Cucullata procurva* – голова с большим шлемом, на конце загнутым книзу приблизительно под прямым углом.

Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации на примере представителей подотряда Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – Daphnia

Большинство ветвистоусых раков (Cladocera) относится к числу типичных активных фильтраторов. Исключение представляют лишь представители семейства Polyplimidne и *Letiodora*, единственный вид семейства Leptodoridae, ведущие хищный образ жизни.

Для изучения работы фильтрационного аппарата дафнии необходимо сначала ознакомиться со строением грудных ног, играющих основную роль в процессе получения пищи. Рассматриваются изолированные ноги, вычлененные из уплотненных фиксации организмов.

У дафний имеется пять пар тургорных конечностей (рис. 2.7).

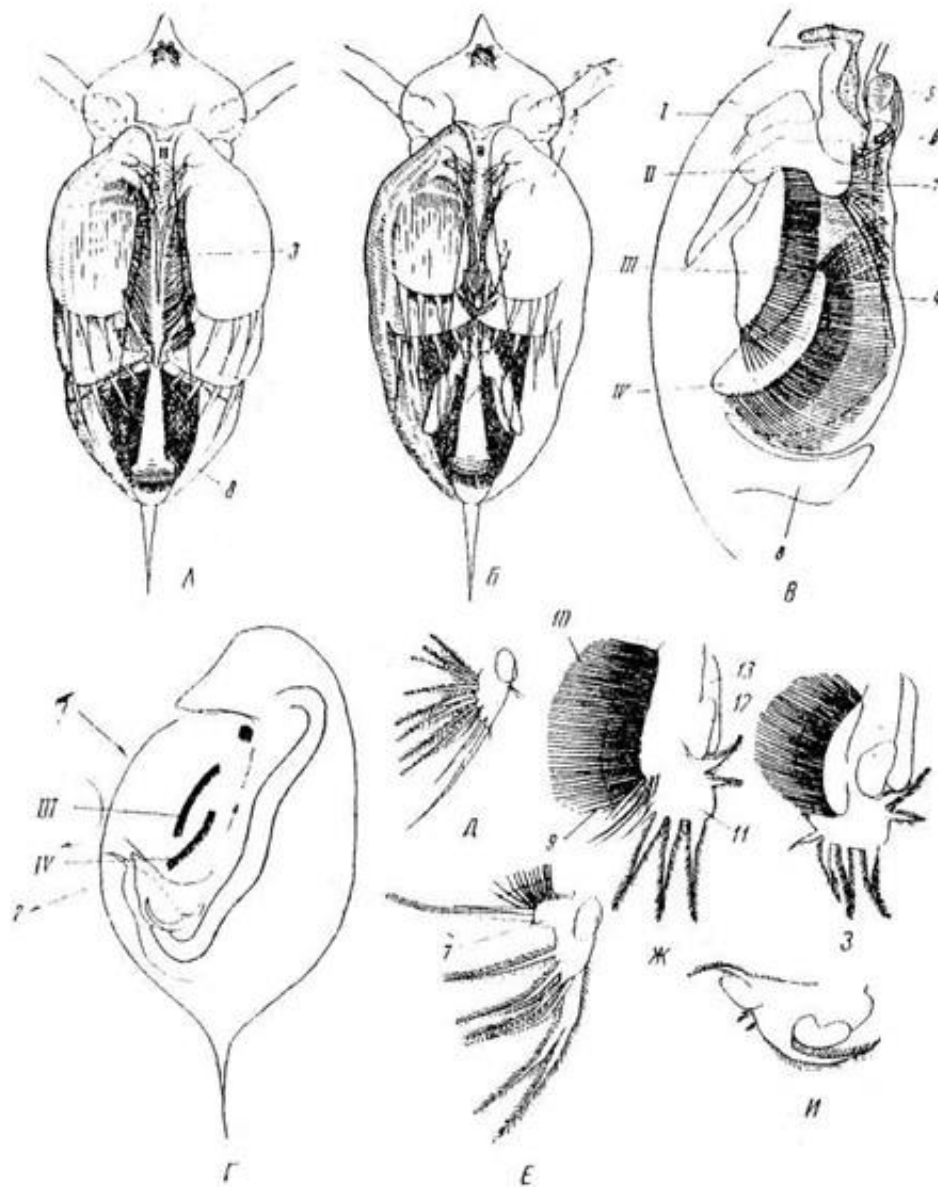


Рис. 2.7 – Питание фильтратов

Daphnia. *A* – фаза абдукции; *B* – аддукции; *B'* – продольный разрез через тело дафнии; *Г* – токи воды, вызываемые движениями ног; *Д* – нога первой пары; *Е* – нога второй пары; *Ж* – нога третьей пары; *З* – нога четвертой пары; *И* – нога пятой пары: *1* – входящий ток воды, *2* – выходящий ток воды; *3* – фильтрационная камера, *4* – брюшной желобок, *5* – мандибула, *6* – максиллула, *7* – масиллярный вырост, *8* – постабдомен, *9* – эндит, *10* – гребень щетинок, *11* – экзоподит, *12* – эпиподит, *13* – преэпиподит, *I–IV* ноги первой – четвертой пар.

Внутренний край ног первой пары разделен на пять снабженных длинными щетинками лопастей; из которых первые три соответствуют эндитам, а два последних эндоподиту и экзоподиту типичной ноги жаброногих раков; кроме того, имеется эпиподит, являющийся жаберной пластинкой. Ноги второй пары характерного строения; на удлинённом протоподите расположены пять эндитов, из которых проксимальный (базальный) образует большой максиллярный вырост; среди щетинок последнего выделяется по своей величине щетинка, снабженная по одной сторонке рядом крепких волосков; остальные четыре эндита слабо развиты, каждый из них несет одну или две длинные щетинки; нога оканчивается хорошо развитым экзоподитом с двумя длинными щетинками; по наружному краю ноги расположен эпиподит. Ноги третьей пары по своему строению резко отличаются от предыдущих; самым характерным признаком является присутствие гребня щетинок, прикрепленных вдоль всего края большого первого эндита; в естественном положении этот гребень отогнут под острым углом к плоскости самой ноги: остальные эндиты, слабо выраженные и снабженные небольшим количеством щетинок. Находятся у дистального (конечного) края первого эндита, между последним и хорошо развитым экзоподитом, несущим четыре конечные и две боковые большие щетинки; на наружной стороне ноги находятся эпиподит и хорошо развитый преэпиподит. Ноги четвертой пары в общем сходны с ногами третьей пары, отличаюсь, главным образом, полной редукцией дистальных эндитов и другой формой -эксоподитов. Ноги последней, пятой, пары имеют иное строение; в базальной части находятся эпиподит и преэпиподит; короткий экзоподит на дистальном конце несет две маленькие щетинки и вытянут в длинную полукруглой формы щетинку; по внутреннему краю нога лишена выростов, имеется только одна большая щетинка, между нею и экзоподитом находится овальной формы дистальная часть протоподита.

Процесс, питания дафнии тесно связан с движениями ног, которые потеряли полностью двигательную функцию и приспособились к улавливанию мелких частиц сестона.

Фильтрационный аппарат дафний достигает наибольшей сложности по сравнению с аналогичными образованиями других представителей жаброногих раков. Рассматривая живую дафнию в воде, в которой прибавлено мелко растертого кармина, можно констатировать наличие двух токов воды - одного входящего в полость раковины через переднюю часть щели между створками и другого выходящего из этой полости около постабдомена. Вносимые внутрь раковины частицы окрашенных веществ (после отфильтровывания через фильтр, образованный щетинками грудных ног, скопляются в брюшном желобке, проходящем по нижней стороне тела, и затем направляются к ротовому отверстию.

Фильтрационная камера, находящаяся между грудными конечностями, сзади закрыта ногами пятой пары и расположенным между ними постабдоменом. Процеживание воды через фильтр совершается в результате

понижения давления во всасывательных камерах, вызываемого увеличением их объема в фазу абдукции. С каждой стороны имеется по четыре всасывательных камеры в соответствии с пятью парами ног.

Главную роль в отфильтровывании пищи играют две последние пары всасывательных камер, снабженных с внутренней стороны прекрасно развитой решеткой из щетинок, отходящих от внутренних краев ног третьей и четвертой пар. Щетинки решетки идут параллельно друг другу и снабжены добавочными тонкими, косо отходящими волосками; благодаря этому решетки приобретают характер очень тонкого фильтра, не пропускающего через свои отверстия даже мельчайшие организмы наннопланктона.

Снаружи каждая из всасывательных камер ограничена створкой раковины, к которой тесно прижаты эпиподит, большой окаймленный полосоками преэпиподит и две боковые щетинки эксоподита; с нижней стороны всасывательная камера закрыта хорошо развитой пластинкой эксоподита, кончающейся оперенными щетинками. Пространство между эксоподитом и фильтрационной решеткой закрывается во всасывательных камерах третьей пар щетинками рудиментарных эндитов ног третьей пары, а в четвертых всасывательных камерах – направленным внутрь выростом, эксоподитов ног четвертой пары. Со спинной стороны камеры ограничены брюшной стороной тела, по бокам которого проходят плотно прижатые к створкам раковины боковые выросты, отделяющие полость фильтрационного аппарата от полости выводковой камеры.

В фазу абдукции сопровождающуюся расширением всасывательных камер, конечности, находившиеся до того в горизонтальном положении, начинают двигаться в сагиттальной плоскости и образуют с телом острый угол. Исключение представляют пятой пары; боковая часть этих ног, состоящая из преэпиподита, эпиподита и большой, окаймленной с обеих сторон волосками щетинки эксоподита, сгибается во фронтальной плоскости по линии сочленения с базальной частью ноги наподобие движущейся на петлях двери. Ноги этой пары, находившиеся вначале в трансверсальной плоскости, почти одновременно с движением ног четвертой пары начинают отходить назад и занимают, наконец, положение, почти параллельное продольной оси организма. Во время этого движения, сопровождающегося увеличением объема четырех всасывательных камер, ноги пятой пары не прерывают контакта со створками раковины, скользя по ним щетинками эксоподитов. В фазу абдукции эксоподиты ног четвертой пар отделяются от ног пятой пары, вода выдавливается из всасывательных камер, чему способствует также движение, вызываемое ногами пятой пары, поднимающимися в это время в свое исходное положение.

Вдоль всей фильтрационной камеры проходит брюшной желобок, в котором отфильтрованные частицы сестона направляются, вперед вместе с током воды, вызываемым движениями проксимальных щетинок ног третьей и четвертой пар, а также длинных щетинок максиллярных выростов

ног второй пары; остальные щетинки максиллярных выростов служат для сжимания скопившихся между ними пищевых частиц в комочки и для отправки их в ротовое отверстие.

Темп движения конечностей дафнии в зависимости от физиологического состояния организма достигает 200–300 ударов в минуту.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Макрофиты водоемов и их хозяйственное использование.

Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени их зарастания

Цель работы: изучить представителей макрофитов и их значения в гидробиоценозе и для человека; получить навыки оценки и выделения типа водоема по характеру и степени их зарастания.

Материалы и оборудование: справочная литература, определители макрофитов, электронные иллюстрации, гербарий водных растений.

Контрольные вопросы:

1. Дайте характеристику различных экологических групп водных растений. Приведите примеры.
2. Опишите механизм зарастания водоема.
3. Какова роль водных растений в хозяйстве?
4. Определите отличительные особенности представителей ядовитых гидрофитов.
5. Характерные растительные формации, выделяющиеся в озерах по условиям произрастания.
6. Какими факторами определяется степень зарастания озер разных типов.
7. Показатели, лежащие в основе типизации водоемов по характеру и степени зарастания водной растительностью.
8. Типы и подтипы озер по характеру зарастания, выделенные на территории Беларуси.

Макрофиты водоемов и их хозяйственное использование

Задание 1:

- а) Познакомиться с отдельными видами макрофитов и их особенностями в зависимости от типа их произрастания в водоеме.
- б) Определить роль макрофитов в гидробиоценозе и их хозяйственное использование.
- в) Заполнить таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Экологические сообщества водных растений

Экологические сообщества водных растений	Виды	Возможное хозяйственное использование
Надводная растительность		
Растения с плавающими листьями		
Подводные растения		

С точки зрения хозяйственного использования интерес представляют следующие виды растений: низшие – хара; нитчатые; высшие надводные – осока стройная, осока топяная, осока обыкновенная, хвощ болотный, тростник обыкновенный, камыш озерный, рогоз широколистный, аир болотный, манник пышный, стрелолист обыкновенный; высшие плавающие – ряска малая, ряска многокоренная, ряска трехдольная, кубышка желтая, кувшинка белая, гречиха земноводная, телорез обыкновенный, водокрас лягушечный; высшие погруженные – рдест плавающий, рдест пронзеннолистный, рдест остролистный, рдест блестящий, рдест гребенчатый, рдест курчавый, рдест маленький, пузырчатка, элодея канадская, роголистник темно-зеленый, уруть колосистая (рис. 3.2–3.4). Макрофиты играют существенную роль в биоценозе пруда. Преобладание мелководных зон, хорошая прозрачность и прогреваемость воды создают благоприятные условия для развития в них водной растительности. Развитие жесткой надводной и мягкой подводной растительности бывает столь значительным, что зачастую пруд не имеет свободных от зарастания площадей (рис. 3.1). Водная растительность интенсивно поглощает из почвы и воды прудов минеральные соли и тем самым уменьшает содержание питательных веществ, необходимых для развития микроскопических растительных и животных организмов – пищи рыб.

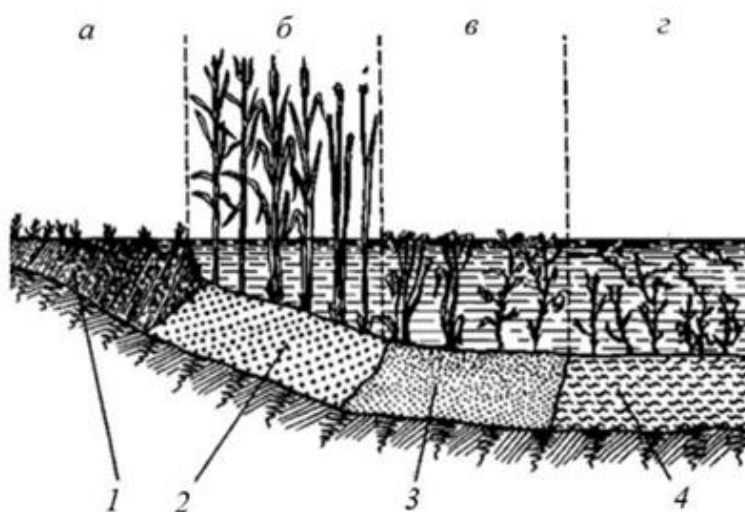


Рис. 3.1 – Схема зарастания прудов:

а – осоки; б – тростник, рогоз, камыш; в – кувшинки, рдесты; г – роголистник, уруть и др.; 1 – осоковый торф; 2 – тростниковый торф; 3 – торф; 4 – ил.



Рис. 3.2 – Надводная растительность:

а – осока вздутая (*Carex rostrata*); б – осока стройная (*Carex gracilis*);
 в – манник (*Glyceria fluitans*); г – тростник обыкновенный (*Phragmites communis*);
 д – рогоз широколистный (*Typha latifolia*); е – камыш озерный (*Scirpus lacustris*).

Отмирающая водная растительность требует для своего окисления большого количества растворенного в воде кислорода, снижение содержания которого в прудах может уменьшить количество кормовых организмов, что приведет к ухудшению физиологического состояния рыб.

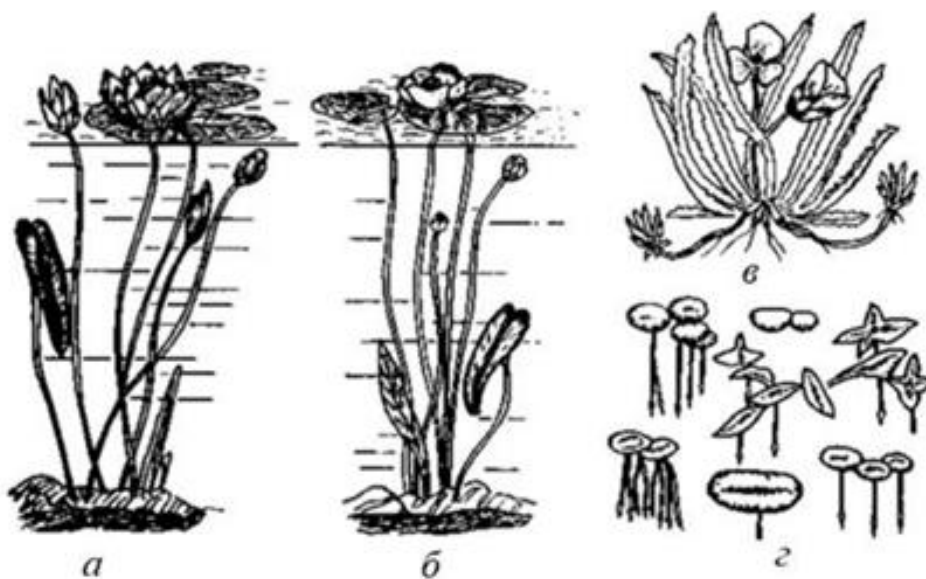


Рис. 3.3 – Растения с плавающими листьями и плавающие:

а – кувшинка белая (*Nymphaea alba*); б – кубышка желтая (*Nuphar luteum*);
 в – телорез обыкновенный (*Stratiotes aloides*); г – ряска трехдольная (*Lemna trisulca*).



Рис. 3.4 – Подводные растения:

а – элодея канадская (*Elodea canadensis*); б – стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagitifolia*); в – рдест плавающий (*Potamogeton natans*); г – роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum*); д – хара (*Chara fragilis*); е – рдест курчавый (*Potamogeton crispus*).

Заросли затеняют пруд, снижают температуру воды, затрудняют проникновение света и тем самым ухудшают условия развития водных организмов. В зоне густых зарослей донных животных организмов в 2–3 раза меньше, чем на открытых участках, а разница в температуре воды может достигать 3–4°C.

Из-за зарастания кормового места рыба лишается свободного доступа к кормам, резко ухудшается газовый и химический режим из-за гниения несъеденного корма. Только при ограниченном распространении в пруду (не более 25% площади) мягкой водной растительности и наличии не более 5% зарослей прибрежной полосы макрофиты играют положительную роль: они освобождают воду от CO₂, обогащают ее кислородом, служат пищей некоторым беспозвоночным и рыбам (каarp, карась, белый амур). Некоторые водные растения служат сырьем для получения лекарственных препаратов, используются в парфюмерии (рис. 3.5). В медицине применяют листья и стебли с цветками водяного перца, корни от двухлетних растений алтея, листья трифолии, кору молодых стеблей и толстых веток крушины ломкой, корневища айра, корни и корневища валерианы. Листья трифолии используют в пивоварении, корневища чемерицы – в ветеринарии, корневища ириса – в парфюмерии.

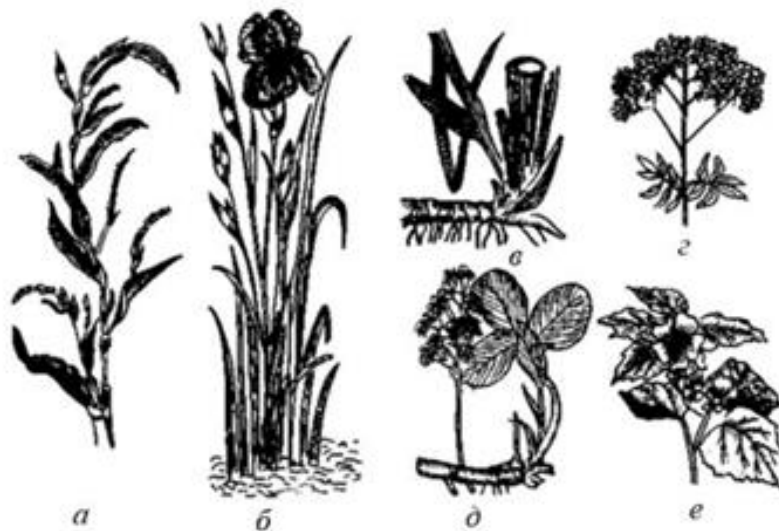


Рис. 3.5 – Растения, употребляющиеся в фармацевтической и парфюмерной промышленности: а – водяной перец (*Polygonum hydropiper*); б – касатик ложноаирный (*Iris pseudocorus*); в – аир болотный (*Acorus calamus*); г – валериана лекарственная (*Valeriana officinalis*); д – трифолия, вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*); е – алтей лекарственный (*Althaea officinaeis*).

Широкое применение водная растительность традиционно имела в народных промыслах: из растений вязали корзины, изготовляли дорожки, маты, использовали для покрытия крыш домов и др. Отдельные виды относятся к ядовитым и особо ядовитым – лютик едкий и вех (рис. 3.6). Лютик едкий растет по всей территории Европы и Западной Сибири на заливных и суходольных лугах, окраинах болот. Все части растения силь но ядовиты. Лютик едкий подавляет рост близлежащих растений, особенно бобовых культур.



Рис. 3.6 – Ядовитые растения: а – лютик едкий (*Ranunculus acer*); б – калужница болотная (*Caltha palustris*); в – хвощ болотный (*Equisetum palustre*); г – чемерица белая (*Veratrum album*); д – вех ядовитый (*Cicuta virosa*); е – конский укроп (*Oenanthe aquatica*).

Вех ядовитый имеет корень с поперечными перегородками внутри. Это видно при разрезе корневища вдоль. Между перегородками накапливается жидкость желтого цвета. Она очень токсична для человека. Вех ядовитый можно увидеть на заболоченных участках, а также по берегам пресных водоемов.

Растительность водоема представляет собой комплекс фитоценозов, образованных видами растений различной систематической принадлежности, строением, особенностями произрастания, размножения, питания и требованиями к условиям среды. Растительный покров водоема состоит из растительных сообществ и популяций водных (гидрофитов), воздушно-водных и околоводных (гигрофитов) видов растений.

Специфика и внешние черты водной растительности тесно связаны с гидрологическими особенностями водоема, размерами и морфологией котловины, химическим составом вод, характером и распространением донных отложений и рядом других факторов. Водные растения развиваются главным образом в литорали и сублиторали, образуя сплошную или прерывистую полосу различной ширины вдоль берегов, вокруг островов и мелей, реже покрывают все ложе озера. Глубина распространения водных растений зависит от величины прозрачности воды, изменяясь от 2 до 4 м, а в редких случаях до 8 м. По условиям произрастания выделяются 4 группы растительных формаций (каждая группа формаций располагается в определенных местообитаниях и глубинах и образует хорошо выраженные полосы, параллельные берегу):

- *прибрежно-водная (водно-болотные растения)*, шириной от нескольких до десятков и сотен метров; Растения – осоки, аир, вех, калужница болотная, лютик язычковый, частуха подорожниковая, стрелолист, ситняг игольчатый, сусак, ежеголовники, вахта, дербенник иволистный, рогоз широколистный, хвощ болотный, белокрыльник болотный, телиптерис болотный и др.

- *воздушно-водная (полупогруженные растения)*, формирующая своеобразный «второй берег» водоемов на литорали до глубины 1–1,5 м, обычны тростник, камыш озерный, рогоз узколистный, манник водный, хвощ приречный, порой образующие чистые ассоциации.

- *растения с плавающими на поверхности воды листьями* (кувшинка чисто-белая, кубышка желтая, горец земноводный, рдест плавающий и др.), произрастающих на глубинах до 2–3 м. Обычно они образуют прерывистые группировки вдоль тростниково-камышовой полосы, достигающие наибольшей ширины в заливах с илистым дном.

- *погруженные растения*, распространяются до 4–8 м. Различные виды рдестов, шелковника, роголистник, элодея и др.

Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени их зарастания

Задание 2. Изучить гербарий водных растений, выделить группы растительных формаций. На основе табл. 3.2; 3.3, определить к какому типу по характеру и степени зарастания их водной растительностью относится исследуемый водоем.

Таблица 3.2. – Список высших водных растений и их встречаемость в озере Червоное

Название вида	Встречаемость*
Тростник южный	++++
Камыш озерный	+++
Рогоз узколистный	+++
Рогоз широколистный	++
Манник водный (большой)	++
Камыш лесной	++
Аир обыкновенный	++
Ежеголовник простой	++
Ситняг игольчатый	++
Частуха подорожниковая	++
Рдест пронзеннолистный	++++
Рдест курчавый	+++
Штукения гребенчатая	+++
Рдест Фриза	+
Роголистник подводный	+++
Элодея канадская	++
Телорез алоэвидный	++++
Рдест плавающий	++
Горец земноводный	+
Кубышка желтая	++
Водокрас обыкновенный	+
Многокоренник обыкновенный	++
Трехдольница трехбороздчатая	+
Ряска малая	+

*Примечание: ++++ – вид доминирует; +++ – встречается часто; ++ – встречается редко; + – единичные экземпляры

Таблица 3.3 – Степень зарастания и биомасса высших водных растений в озере Червоное

Группа формаций	Площадь зарослей, м ²	Степень зарастания, %	% от площади зарастания	Биомасса макрофитов (возд.-сух. вес), т	% от общей биомассы макрофитов
Надводные	3546250	8,8	23,5	2837,0	46,6
Рдесты	8488250	21,0	56,3	1485,4	24,4
Телорезы	3305000	7,5	20,2	1769,0	29,0
Всего:	15-84500	37,3	100	6091,4	1000

1 тип – гелофитный, с преобладанием воздушно-водной растительности. Основными ценозообразователями являются: тростник, камыш озерный, аир, рогоз узколистный, манник большой, болотница болотная (ситняг болотный), хвощ речной, различные виды осок. Погруженная растительность представлена редкими зарослями рдестов, элодеи, роголистника. Для этих озер прослеживается хорошо выраженная тенденция увеличения биомассы макрофитов по мере зарастания площади водоема. В целом же эти водоемы отличаются слабым зарастанием (в среднем, 23% их общей площади) и невысокой биомассой макрофитов (0,200 кг воздушно-сухого веса на 1 м² зарослей).

По различию в составе доминирующих видов в пределах типа выделяются три подтипа: *тростниковый*, *тростниково-камышовый*, *камышовый*.

В озерах *тростникового подтипа* основные заросли формирует тростник южный, или обыкновенный. Подводные растения и растения с плавающими листьями представлены слабо. Встречаются рдесты, элодея, редко – кубышка желтая. Узкая литораль, крутой сублиторальный склон, распространение каменистых и гравийно-галечниковых участков препятствуют развитию водной растительности. Это, как правило, мезотрофные и слабоэвтрофные озера с воронкообразной формой котловины. Отличаются слабым зарастанием (в среднем до 15% площади озера) и низкой биомассой водных растений (0,150 кг/м²).

В озерах *тростниково-камышового подтипа* самыми распространенными видами являются тростник и камыш озерный. Видовой состав водной растительности по сравнению с тростниковым подтипом богаче. В полосе надводной растительности наряду с тростником и камышом часто встречаются ситняг болотный, хвощ речной, рогоз узколистный, осоки. Растения с плавающими листьями (обычно 3–4 вида) часто образуют полосы вдоль надводных зарослей и в заливах, погруженная растительность представлена в основном низкопродуктивными зарослями элодеи, роголистника, рдестов, образующими нижний ярус в полосе полупогруженных и плавающих растений. В заливах встречается телорез и шелковник жестколистный. В число озер этого подтипа входят преимущественно эвтрофные водоемы. От озер тростникового подтипа они отличаются меньшими глубинами, высокой долей мелководий (в среднем 24,5% общей площади озера) и большей заиленностью грунтов. Средняя величина зарастания – около 20%, биомасса макрофитов – 0,200 кг/м² зарослей.

В озерах *камышового подтипа* преобладают заросли надводной растительности с доминированием в них камыша озерного. Субдоминанты: тростник, рогоз узколистный, хвощ речной, болотница болотная. Разнообразно (в среднем 6–3 видов) представлены растения с плавающими листьями, образующие в заливах значительные (до 30% общей площади зарослей) участки, чему способствует наличие укрытых мелководных заливов, высланных заиленными грунтами. Развитие подводной растительности,

богатой по видовому составу (до 16 видов) фитоценозов, но представленной редкими зарослями. К данному подтипу относятся мелководные эвтрофные водоемы. Они являются наиболее заросшими среда озер гелофитного типа (средняя площадь зарастания – 36%, биомасса макрофитов – 0,240 кг/м² зарослей).

2 тип – гело-гидрофитный тип, в которых воздушно-водные и настоящие водные растения занимают примерно равные площади. Основу биомассы макрофитов создают воздушно-водные растения – тростник, камыш озерный, рогоз узколистный, ситняг болотный, формирующие основные фитоценозы. Реже встречаются манник большой, хвощ речной, аир. Растения с плавающими листьями представлены в основном кубышкой желтой, рдестом плавающим и горцем земноводным. Видовой состав фитоценозов подводной растительности в озерах этого типа довольно разнообразен. Наряду с рдестами часто встречаются элодея, роголистник, уруть, реже – харовые водоросли. Озера гело-гидрофитного типа зарастают в среднем на 48% и имеют биомассу макрофитов 0,300 кг/м². Представлены преимущественно озерами эвтрофного типа.

3 тип – гидрофитный тип, в растительном покрове озер данного типа по занимаемой площади и создаваемой биомассе доминирует погруженная растительность. Подразделяется на четыре подтипа: **харовый, рдестовый, полушниковый и моховой**.

В растительном покрове озер **харового подтипа** доминируют харовые водоросли, формирующие густые заросли. Субдоминанты – широколистные рдесты (блестящий и пронзеннолистный), элодея и роголистник погруженный, часто встречаются узколистные рдесты, телорез, реже – пузырчатка обыкновенная, уруть колосистая. Растения с плавающими листьями не получили широкого распространения. Воздушно-водные растения, представленные в основном тростником, реже – камышом озерным, занимают относительно небольшие участки песчаных литоралей. Степень зарастания водоемов (в среднем до глубины 7–8 м) тесно связана с высокой прозрачностью воды (в среднем 4,5 м), общей минерализацией воды и характером грунтов. Озера зарастают в среднем на 36%; средняя биомасса макрофитов составляет 0,270 кг воздушно-сухого вещества на 1 м² зарослей. Биомасса харовых зарослей может достигать 1,5 кг/м².

В озерах **рдестового подтипа** доминирующими видами являются рдесты: пронзеннолистный, блестящий, Фриза, штукения гребенчатая, а также элодея, телорез, реже – рдесты курчавый, сжатый, роголистник, уруть, шелковники (водные лютики), харовые водоросли. Гелофиты (водно-болотные растения) занимают небольшие по сравнению с погруженными растениями площади (от 10 до 30% заросшей площади). Растения с плавающими листьями в некоторых озерах этого подтипа занимают до 20% заросшей площади и представлены в основном кубышкой желтой, рдестом плавающим, горцем земноводным, реже – кувшинкой чисто-

белой, водокрасом, ряской. Этот подтип объединяет сильно заросшие озера со значительной биомассой макрофитов (0,400 кг/м² зарослей).

В озерах *полушникового подтипа* основную площадь зарослей занимает полушник озерный, встречается также водяной мох фонтиналис, единично – узколистные рдесты, кубышка желтая, рдест плавающий, имеются редкие заросли тростника. Видовой состав и развитие водной растительности определяют характерные для низкоминерализованных озер показатели: низкая минерализация воды (57,7 мг/л), кислая среда (рН 4–6), широкое распространение детри-тового сапропеля. Степень зарастания этих водоемов напрямую и тесно связана с прозрачностью и минерализацией воды. Зарастают они слабо (в среднем на 33%), биомасса зарослей макрофитов низкая (в среднем 0,01–0,03 кг/м² зарослей).

Для озер *мохового подтипа* характерно 100%-ное покрытие дна мхом фонтиналисом; редко встречаются полушник, рдесты, элодея, кубышка желтая. Озера этого подтипа включают низкоминерализованные (92 мг/л) дистрофирующие мелководные водоемы (средняя глубина 1,5 м) с прозрачностью воды до дна. Развитию макрофитов препятствуют низкая минерализация воды, кислая среда (рН 5–7,5), наличие тонкодетритовых сапропелей (зольность 30%). Биомасса макрофитных зарослей низкая (в среднем 0,01 кг/м² зарослей).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Адаптивные особенности планктона к сохранению взвешенного состояния в воде

Цель работы: на примере представителей зоо- и фитопланктона изучить приспособления организмов планктона к сохранению взвешенного состояния в воде.

Материалы и оборудование: бинокляр МБС-1, Чашка Петри. Фиксированные в 4-% формалине препараты планктонных организмов.

Контрольные вопросы:

1. Приведите примеры организмов фитопланктона, для которых характерно снижение остаточной массы тела в связи с адаптацией к планктонному образу жизни.
2. Приведите примеры организмов зоопланктона, для которых характерно снижение остаточной массы тела в связи с адаптацией к планктонному образу жизни.
3. Приведите примеры организмов фитопланктона, для которых характерно увеличение сопротивления формы тела в связи с адаптацией к планктонному образу жизни.

4. Приведите примеры организмов зоопланктона, для которых характерно увеличение сопротивления формы тела в связи с адаптацией к планктонному образу жизни.

Задание. Изучить адаптации планктона к сохранению взвешенного состояния в воде. Отметить на примере описанных гидробионтов анатомо-морфологические особенности в связи с адаптацией к увеличению плавучести. Записать и зарисовать изученный материал.

I СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ МАССЫ

Плотность воды заметно возрастает с понижением температуры, а также с повышением солености и давления, в связи с чем, условия плавучести организмов заметно меняются. В соответствии с этим плотность планктонов регулируется так, что она приближается к плотности воды. Как правило, плотность пресноводных планктонных организмов не превышает 1,01–1,02 г/см³, морских – 1,03–1,06 г/см³, и их плавучесть близка к нейтральной. Сохранению плавучести способствует снижение остаточной массы тела, что может достигаться: уменьшение количества костной ткани, белка в тканях, заменой тяжелых солей более легкими, отложением большого количества жира, заменой более плотного жира менее плотным, образованием полостей, наполненных воздухом.

Редукция скелета

Редукция тяжелых скелетных образований хорошо прослеживается у пелагических моллюсков (головоногих, крылоногих, килевоногих). В качестве примеров рассматриваются представители отряда крылоногих моллюсков (Pteropoda), относящегося к классу брюхоногих моллюсков. Все виды Pteropoda ведут планктический образ жизни, в связи с этим раковина у них или полностью исчезает, или сильно редуцируется. Наиболее обычными видами являются *Clione limacina* и *Limacina helicina*.

Не имеют скелетных образований плавающие кишечнополостные, у пелагических корненожек раковина более пористая, чем у бентосных. У многих радиолярий кремневые иглы становятся полыми. Планктонные диатомовые отличаются от бентосных более тонкими и слабее окремненными оболочками.

Пропитывание водой

В качестве примеров рассматриваются представители зеленых водорослей (*Eudorina*), динофлагеллат (*Noctiluca*), гидромедуз (*Bougainvillia*), сцифомедуз (*Aurelia*) и кладоцер (*Holopeclium*). Различные части тела этих организмов благодаря пропитыванию водой приобретают студенистый характер.

Eudorina (рис. 4.1, А).

Эвдорина часто встречается в пресноводном планктоне, является колониальным организмом. Относится к классу Volvocineae. Клетки заклю-

чены в студенистую оболочку, имеющую эллипсоидальную форму. Колония состоит из 32, реже из 16 шаровидных клеток, расположенных кольцеобразными рядами по периферии колонии.

Noctiluca (рис. 4.1, Б).

Ночесветка часто встречается в планктоне морей. Свое название получила от способности светиться под действием хмеханического или иного какого-либо раздражения. Тело ноктилуки приблизительно шаровидной формы, покрыто крепкой оболочкой. На одном полюсе находится перистом, в глубине которого расположено щелевидное ротовое отверстие, цитостом. Короткий, трудно заметный жгутик отходит около цитостома, а немного далее – большое щупальце, по длине равное приблизительно половине поперечника организма; параллельная исчерченность щупальца зависит от параллельного расположения в нем тонких плазматических тяжей. Плазма образует довольно большое скопление, расположенное в области цитостома; от этого скопления плазмы отходят по всем направлениям тонкие, между собой анастомозирующие плазматические тяжи. Внутри клетки имеется большое количество клеточного сока, благодаря которому ее величина достигается необычайных для простейших размеров, до двух миллиметров в поперечнике. Удельный вес ноктилуки очень близок к удельному весу воды и даже меньше его; опускание организма вызывается его сжиманием в результате выделения в воду клеточного сока. Ноктилуки – хищники, питаются различными организмами планктона; захватывание пищи совершается при помощи щупальца.

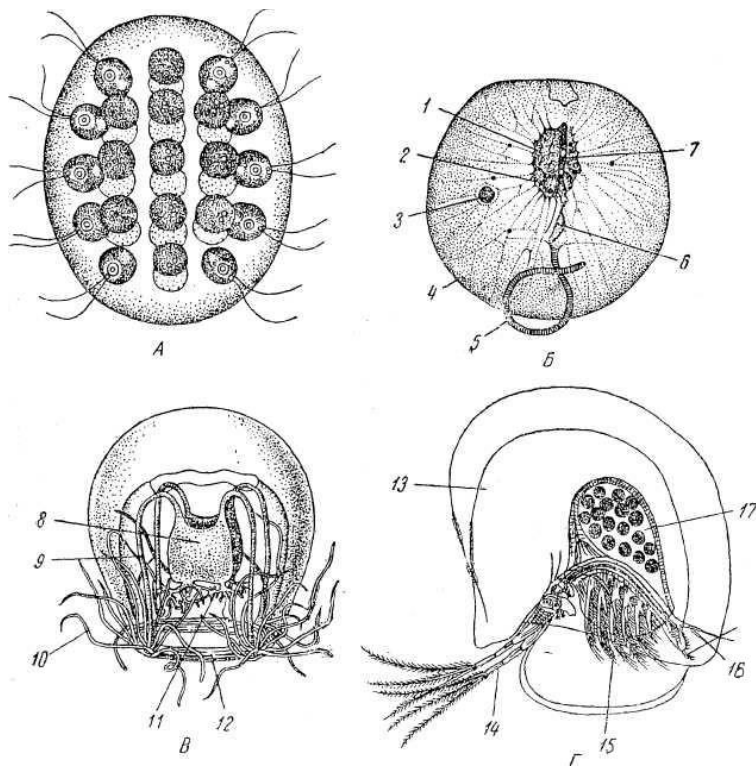


Рис. 4.1 – Уменьшение остаточного веса (пропитывание водой)

A – Eudorina elegans;
Б – Noctiluca miliaris;
В – Bougainvillia superciliaris;
Г – Holopedium gibbeum:

1 – центральное скопление плазмы, 2 – ядро, 3 – пищевая вакуоль, 4 – пелликула.
 5 – щупальце, 6 – жгутик, 7 – цитостом, 8 – манубрий, 9 – радиальный канал, 10 – краевые щупальца, 11 – ротовые щупальца, 12 – парус (velum), 13 – студенистый шар, 14 – антенны, 15 – грудные ноги, 16 – каудальные когти, 17 – выводковая камера.

Bougainvillia (рис. 4.1, В).

Колокол этой обычной гидроидной медузы северных морей имеет почти шаровидную форму; между наружной (эксумбрелла) и внутренней (субумбрелла) поверхностями колокола находится сильно развитая студенистая-мезоглея. Внизу колокола расположена кольцевая складка (парус), играющая большую роль в реактивном движении организма.

Holopedium (рис.4.1, Г).

Встречается в планктоне северных озер, отличается от остальных видов ветвистоусых раков рядом существенных признаков. Все тело животного заключено в большой, диаметром в несколько миллиметров, совершенно прозрачный студенистый шар, образованный разбухшими створками раковины, сброшенными при линьках. Голова очень маленькая, без рострума. Сложный глаз небольшой, глазок присутствует. Антеннулы очень короткие. Антенны, являющиеся органами движения, сильно развиты, у самок одноветвистые, с тремя длинными плавательными щетинками, у самцов двуветвистые. Грудных ног шесть пар. На конце тела находится фурка, образованная двумя изогнутыми фуркальными (каудальными) когтями. Выше фурки по спинной стороне животного расположены две длинные хвостовые щетинки, отходящие от конического выроста.

Жировые включения (*Daphnia* и *Calanus*)

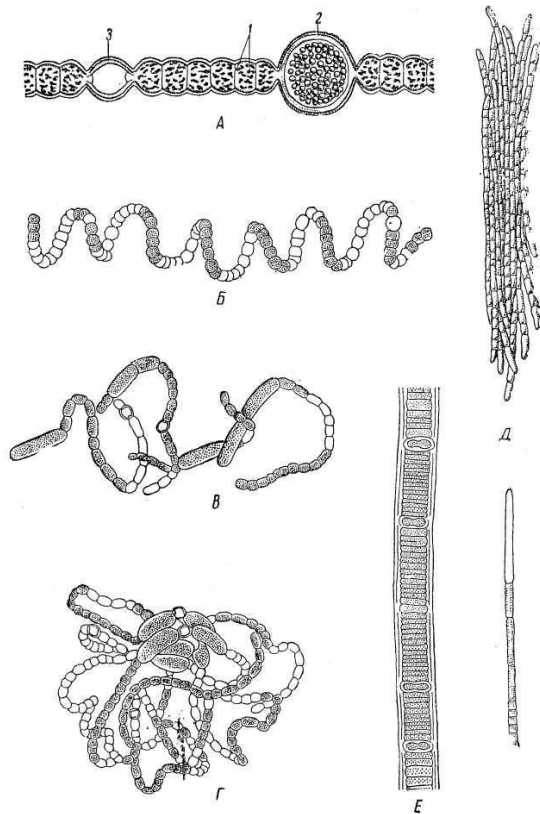
Наиболее обычный способ снижения плотности у гидробионтов – накопление жира. Богаты им ночесветки, радиолярии, ветвистоусые и веслоногие рачки. Жир вместо тяжелого крахмала в качестве запасного питательного вещества откладывается у планктонных водорослей. В качестве примеров рассмотрим жировые капли в теле ветвистоусых и веслоногих раков. У некоторых свободноживущих видов веслоногих раков в переднем отделе тела параллельно кишечнику располагается цилиндрический тонкостенный орган, наполненный жировым веществом. Это так называемый гидростатический орган у *Calanus* проходит в передней своей части над кишечником, а затем постепенно переходит на его левую сторону. При сильном развитии жирового вещества, легко заметного благодаря яркой окраске, гидростатический орган занимает срединное положение в теле организма, оттесняя кишечник вправо. У зрелых самок его передняя часть редуцируется вследствие сильного развития расположенных в этом месте яйцеводов.

Газовые включения

В качестве наиболее обычных примеров рассматриваются воздушные включения синезеленых водорослей (*Cyanophyceae*) и личинок комаров, относящихся к подсемейству *Chaoborinae* семейства *Culicidae*.

***Anabaena*, *Aphanizomenon* и *Nodularia* (рис. 4.2)**

Рассмотреть газовые включения синезеленых водорослей (Суано-phyceae). Зарисовать нить *Anabaena* с газовыми вакуолями.



**Рис. 4.2 – Уменьшение
остаточного веса
(газовые включения)**

А – нить *Anabaena* с газовыми вакуолями (1), спорой (2) и гетероцистой (3);
Б – *Anabaena, spiroides*;
В – *Anabaena flosaqaae*;
Г – *Anabaena letnmevmani*;
Д – *Aphanizomenon flosaqaae*, пучок нитей и конец нити при большем увеличении;
Е – *Nodularia sputigena*.

Планктические синезеленые водоросли, относящиеся к семейству Nostocaceae, как, например, *Anabaena*, *Aphanizomenon* и *Nodularia*, являются главнейшими представителями фитопланктона различных пресноводных водоемов (*Anabaena* и *Aphanizomenon*) и слабо соленых Азовского и Каспийского морей (*Nodularia*) часто встречаются в массовых количествах, вызывая летом явление цветения воды. Водоросли образуют нити из многочисленных клеток, тесно связанных между собой тончайшими плазматическими перемичками (плазмодесмами); оболочки клеток тонкие. Между вегетативными клетками находятся особые пограничные клетки, или гетероцисты, превосходящие обычно величину вегетативных клеток и отличающиеся утолщенностью оболочки и иной окраской, что зависит от исчезновения ассимилирующего пигмента. Кроме гетероцист, в нитях находятся также покоящиеся клетки, споры, способные переносить неблагоприятные условия и прорасти в новую нить; споры отличаются своей величиной и большей толщиной оболочки, по сравнению с вегетативными клетками. У многих видов синезеленых водорослей можно обнаружить присутствие в клетках многочисленных неправильной формы газовых вакуолей; благодаря им удельный вес водорослей становится меньше

удельного веса воды. Особенно велико значение этих образований для планктических водорослей, которые вначале развиваются у дна, а затем при помощи газовых включений всплывают к водной поверхности.

Личинка *Chaoborus* (рис. 4.3)

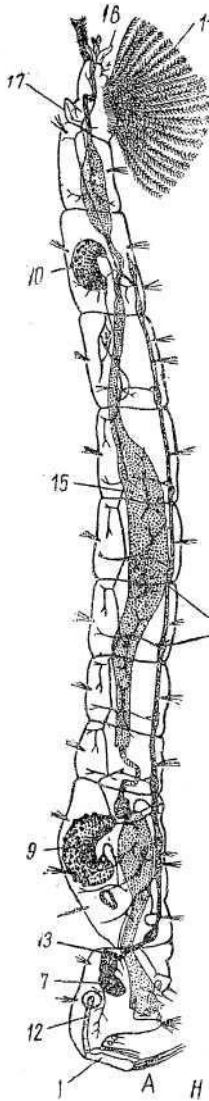
Наряду с газовыми включениями эффективным средством повышения плавучести являются специальные воздушные полости.

*Рассмотреть под биноклем личинку *Chaoborus crystallinus*. Зарисовать внешнее строение, отметить передние и задние трахейные пузыри их значение.*

Личинки комаров подсемейства Chaoborinae отличаются от личинок других комаров присутствием двух пар, а у одного вида трех пар трахейных пузырей, являющихся гидростатическим аппаратом. Благодаря этому аппарату личинки держатся в воде в горизонтальном положении, их удельный вес близок к удельному весу воды. Все личинки относятся к числу хищников, питаются дафниями, циклопами, личинками различных комаров и т.п. Среди всех личинок Chaoborinae личинки коретры (*Chaoborus*, прежнее название – *Corethra*) являются наиболее специализированными. Личинки коретры держатся в воде в горизонтальном положении в определенном слое воды благодаря присутствию гидростатического аппарата; их удельный вес почти равен удельному весу воды. При изменении объема трахейных пузырей личинки перемещаются в вертикальном направлении и могут опуститься на дно. Изменение объема трахейных пузырей происходит вследствие диффузии газа из крови в пузыри, или, наоборот, из пузырей в кровь. Некоторое значение для перемещений личинки имеют также покрывающие пузыри пигментные клетки. Если эти клетки расширяются, то, в результате поглощения ими проникающих в воду лучей, трахейные пузыри, нагреваясь, увеличиваются в объеме, удельный вес личинки становится меньше и она поднимается кверху; сокращение пигментных клеток приводит к увеличению удельного веса и опусканию личинки. Можно простым способом показать значение гидростатического аппарата для вертикальных передвижений личинок. Если поместить несколько экземпляров личинок коретры, до этого длительно содержавшихся при комнатной температуре, в более холодную и более теплую воду, то в первом случае личинки поднимутся наверх, их пигментные клетки сожмутся, во втором случае личинки опустятся вниз, их пигментные клетки расширятся.

В темное время суток личинки коретры находятся в воде, при дневном освещении они опускаются на дно и погружаются на глубину нескольких сантиметров в иловые отложения. Во время погружения в ил личинки сгибают на брюшную сторону задний конец тела вместе с хвостовым плавником и анальными папиллами, таким образом, в ил вбуравливается суженный дорсальный выступ, которым теперь оканчивается задний конец тела личинки. Личинки коретры живут в самых разнообразных водоемах, от озер до небольших лесных луж.

Рис. 4.3 – Уменьшение остаточного веса на примере *Chaoborus crystallinus*



- 1 – антенна,
- 2 – верхняя губа,
- 3 – секреторные волоски,
- 4 – эпифаринкс,
- 5 – мандибула,
- 6 – максилла,
- 7 – глаз,
- 8 – глазок,
- 9 – передние трахейные, пузыри,
- 10 – задние трахейные пузыри,
- 11 – хвостовой плавник,
- 12 – зачаток имагинальной антенны,
- 13 – мозг,
- 14 – брюшные ганглии,
- 15 – кишечник,
- 16 – анальные папиллы,
- 17 – дорсальный выступ.

Личинк *Mochlonux* (рис. 4.4)

Рассмотреть и зарисовать строение личинки Mochlonux. Отметить особенности строения, способствующие уменьшению остаточного веса.

Личинки *Mochlonux culiciformis*, желто-коричневого цвета, отличаются от личинок *Chaoborus* рядом признаков. Голова широкая, на переднем крае находятся широко расставленные антенны, вооруженные на конце четырьмя хватательными щетинками. Верхняя губа представлена четырьмя небольшими согнутыми щетинками, расположенными между основаниями антенн. Хорошо развитый эпифаринкс на конце несет шипы. Мандибулы с зубцами и хватательным веером. Грудной сегмент широкий, с двумя большими трахейными пузырями, вторая пара находится в седьмом брюшном сегменте. На спинной стороне восьмого брюшного сегмента расположен длинный, слабо пигментированный сифон (дыхательная трубка). Хвостовой плавник хорошо развит, анальные папиллы небольшие. У личинки мохлоникса главные трахейные стволы хорошо развиты, но более тонкие,

чем у личинок других комаров. Несмотря на присутствие сифона, личинки никогда не поднимаются к поверхности воды, клапанный аппарат на конце сифона не раскрывается, дыхание личинок исключительно кожное. Личинки живут в небольших, преимущественно временных водоемах.

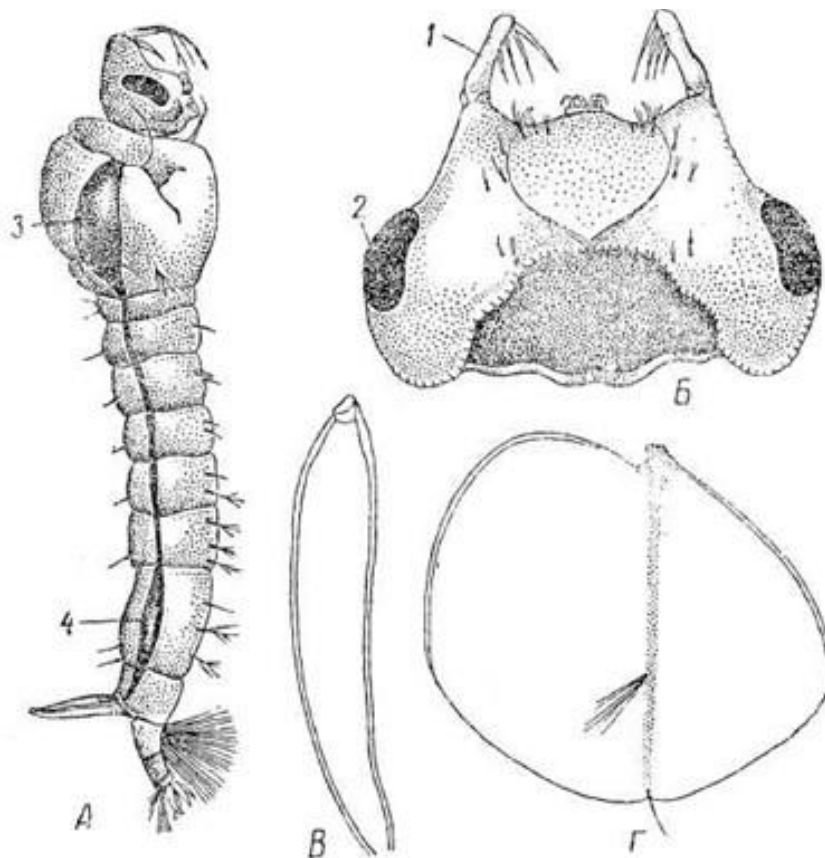


Рис. 4.4 – Уменьшение остаточного веса

A – личинка *Mochlonux culiciformis*; *Б* – голова личинки;
В – куколка *Mochlonux culiciformis*, трахейная трубка (*В*), левый хвостовой плавник (*Г*):
 1 – антенна, 2 – глаз, 3 – передние трахейные пузыри, 4 – задние трахейные пузыри

II УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФОРМЫ

Чем больше удельная поверхность тела, тем медленнее в результате трения организмы погружаются в воду. Отсюда наиболее характерные черты планктона – малые размеры, уплощение, сильное расчленение тела, образование выростов, шипов, придатков.

Рассмотреть и зарисовать внешний вид Rhizosolenia hebetate и отметить особенности строения, увеличивающие способность организмов к плавучести.

К числу обычных форм планктона морей относятся различные виды *Rhizosolenia*. Цилиндрические, слабо пропитанные кремнеземом клетки имеют игловидную или палочковидную форму благодаря сильному разви-

тию в зоне пояска многочисленных промежуточных пластинок в виде ромбов или трапеций. Створки на концах клетки вытянуты в асимметричные конусы, оканчивающиеся обычно эксцентрично лежащим острием или волоском. Клетки не могут длительное время погружаться в вертикальном направлении, так как благодаря асимметричному строению концов падение их происходит по кривой, поэтому через короткое время диатомеи возвращаются в первоначальное горизонтальное положение. Хроматофоры мелкие, многочисленные.

Обычный вид северных морей *Rhizosolenia hebetata* встречается в двух формах – *f. semispina* (концы створок с небольшим волоском) и *f. hiemalis* (концы створок тупые, без волоска). Массовой формой Азовского и Каспийского морей является *Rhizosolenia calcar-avis*. Различные виды *Melosira*, встречающиеся преимущественно в планктоне пресноводных водоемов, относятся, как и виды *Rhizosolenia*, к группе Centricae. В противоположность последним, у которых зона пояска сильно развита, так что клетка получает вид очень высокого цилиндра, у *Melosira* высота отдельной клетки обычно не превышает диаметра створки более чем в два-три раза. Клетки плотно соединены шипиками или студенистой массой в длинные колонии, благодаря чему значительно увеличивается их сопротивление погружению. Все клетки колонии одинакового строения.

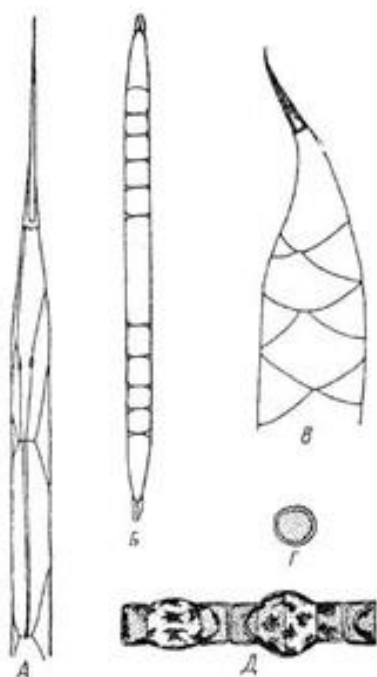


Рис. 4.5 – Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)

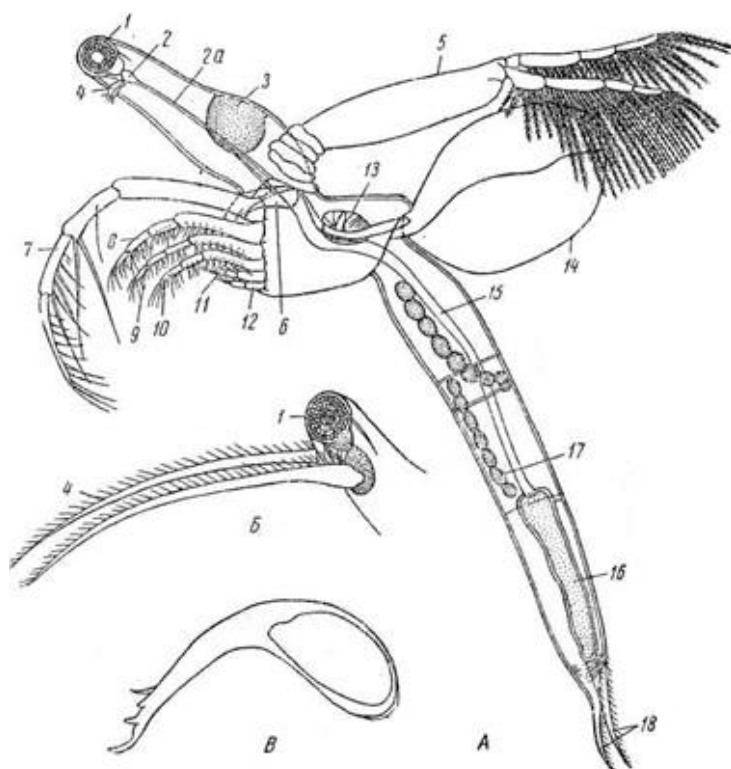
- A* – *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*,
конец клетки;
B – *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis*;
B – *Rhizosolenia calcar-avis*;
Г, Д – *Melosira islandica*, вид со створки
(*Г*) и с пояска (*Д*).

Рассмотреть и описать особенности строения *Leptodora Rindti* и *Sagitta elegans* *Leptodora* (рис. 4.6)

Лептодора (единственный вид *Leptodora rindti*) по своей организации значительно отличающийся от всех остальных ветвистоусых раков. Тело сильно вытянуто в длину, почти цилиндрической формы, с тонкими

покровами, разделено довольно резко на пять сегментов. Первый сегмент образован головой и грудью, остальные входят в состав брюшка (абдомена). Голова сильно вытянутая, на суженном переднем конце находится большой сложный глаз, содержащий несколько сотен омматидиев; глазок отсутствует. Антеннулы, расположенные позади глаза, у самок короткие, у самцов имеют вид длинных, слегка изогнутых щетинок, несущих большое число тонких хитиновых придатков (эстетаски) – органов химического чувства (хемотрецепторы). Антенны являются мощным органом движения, внутри них видна сильно развитая мускулатура. Они состоят из большого основного членика и двух четырехчленистых ветвей (эндоподита и эксоподита), несущих большое число длинных плавательных щетинок. Грудные ноги членистые, относятся к типу скелетных конечностей, встречающихся среди ветвистоусых раков только у хищных видов – лептодоры и представителей семейства Polyphemidae. Всего имеет шесть пар ног, сближенных между собой и сдвинутых к ротовому отверстию. Своими ногами лептодора захватывает добычу, состоящую главным образом из животных планктона; шипы и щетинки, находящиеся по внутреннему краю ног, облегчают это захватывание.

В спокойном состоянии лептодора держится в горизонтальном положении, неподвижно паря в воде. Относится к числу самых крупных представителей ветвистоусых раков, достигает длины 15–20 мм. Встречаются в озерах и слабо соленых морях.



**Рис. 4.6 – Увеличение
сопротивления формы
(удлинение одной оси)
*Leptodora kindti***

- A. 1 – глаз,
2 – головной мозг,
2-a – окологлоточные коннективы,
3 – головной щит,
4 – антеннула,
5 – антенна,
6 – мандибула,
7–12 – ноги первой – шестой пар,
13 – сердце,
14 – раковина (выводковая камера),
15 – пищевод,
16 – кишечник,
17 – яичник,
18 – каудальные когти.

Стрелки, или сагитты (*Sagitta*) – морские животные, относящиеся к классу щетинкочелюстных (*Chaetognatha*), ведут исключительно планктонический образ жизни. В живом состоянии почти совершенно прозрачны, слегка просвечивают лишь мышцы головы и органы размножения; в фиксированном виде животные уплотняются и теряют прозрачность.

Длинное тело делится на три отдела – головной, туловищный и хвостовой (рис. 4.7). На голове находятся темноокрашенные парные глаза и мощно развитый челюстной аппарат, приспособленный к хватанию добычи. Для сохранения положения в воде служат боковые плавники, расположенные по бокам задней части тела, и непарный хвостовой плавник. В состоянии покоя сагитты, находящиеся в горизонтальном положении, медленно опускаются, они немного тяжелее воды. Так как плавники, увеличивающие поверхность тела, находятся только в его задней части, то животное скоро начинает опускаться головой вниз. Несколькими одиночными ударами хвоста сагитта выравнивает положение тела.

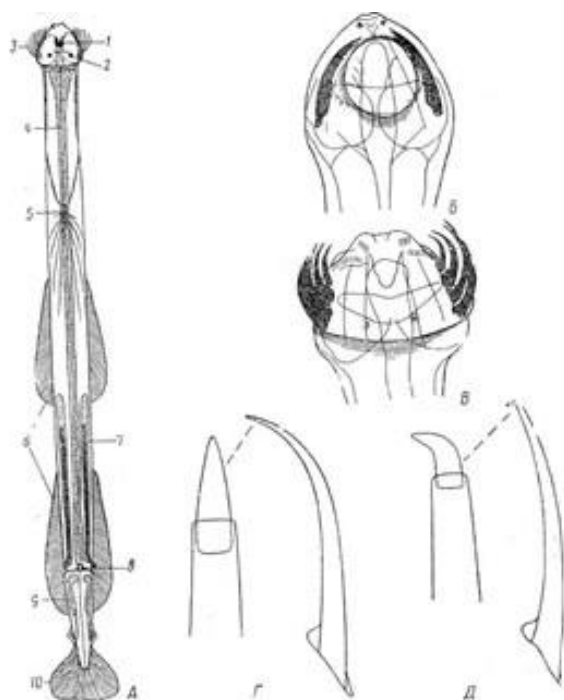


Рис. 4.7 – Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)

A – *Sagitta elegans*;
Б, В – голова *Sagitta*, закрытая кожной складкой (*Б*) и со сдвинутой кожной складкой (*В*);
Г, Д – челюстные щетинки *Sagitta elegans* (*Г*) и *Eukrohnia hamata* (*Д*):
 1 – ротовое отверстие, 2 – глаз,
 3 – челюстные щетинки, 4 – кишечник,
 5 – брюшной ганглий;
 6 – боковые плавники,
 7 – яичник,
 8 – анальное отверстие,
 9 – семенник,
 10 – хвостовой плавник.

Удлинение двух осей

В качестве примеров рассматриваются представители диатомей (*Coscinodiscus*, *Asterionella*, *Tabellaria*) и зеленых водорослей (*Pediastrum*).

Coscinodiscus и *Cyclotella* (рис. 4.8, А–З)

Виды *Coscinodiscus* встречаются почти исключительно в морях, нередко в очень больших количествах; в пресноводных водоемах они заменяются близкими по строению видами *Cyclotella*. Обычно одиночные клетки *Coscinodiscus* имеют вид плоских дисков или низких цилиндров, по расположению створок в точности соответствуют чашкам Петри. При рассмотривании со стороны створки имеют вид кружков с сетчатой или ячеи-

стой скульптурой, образованной радиальными или тангентальными рядами кружочков или мелких точек. Со стороны пояска имеют вид сглаженных на углах прямоугольников, без скульптуры, часто с промежуточными кольцами. Мелкие хроматофоры многочисленны.

Asterionella (рис. 4.8, И)

К числу самых распространенных диатомей наших пресноводных водоемов относятся колониальные *Asterionella*, входящие в группу Pennatae. Удлиненные клетки, лишённые промежуточных пластинок, соединены своими утолщенными концами в характерного вида звездчатую колонию. Ранее считали, что они связаны также слизистым веществом, однако последующие наблюдения этого не подтвердили.

Два вида *Asterionella* различаются между собой по способу соединения клеток в колонии. Клетки *A. gracillima* соприкасаются только в одной точке, а у *A. formosa* – небольшими плоскостями.

Tabellaria (рис. 4.8, К)

Клетки *Tabellaria fenestrata*, единственного планктического вида этого рода, соединены своими углами в зигзагообразные (var. *intermedia*) или звездчатые (var. *asterionelloides*) коло нии. При рассматривании с пояска имеют вид табличек с четырьмя и более промежуточными пластинками, со створки – линейные, с небольшими расширениями в середине и по концам.

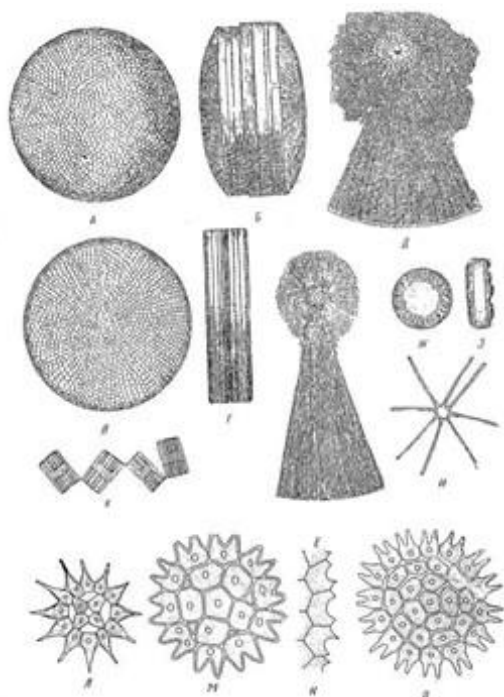


Рис. 4.8. Увеличение сопротивления формы (удлинение двух осей)

А, Б – *Coscinodiscus oculus iridis*, вид со створки (А) и с пояска (Б);

В, Г – *Coscinodiscus radiatus*, вид со створки (В) и с пояска (Г);

Д – *Coscinodiscus centralis*, часть створки;

Е – *Coscinodiscus concinnus*, часть створки;

Ж, З – *Cyclotella comta*, вид со створки (Ж) и с пояска (З);

И – *Asterionella Formosa*, колония;

К – *Tabellaria fenestrata*, колония;

Л – *Pediastrum simplex*;

М – *Pediastrum duplex*;

Н – *Pediastrum angulosum*, часть колонии;

О – *Pediastrum boryanum*.

Pediastrum (рис. 4.8, Л–О)

Педиастры (*Pediastrum*), относящиеся к зеленым водорослям, к классу Chlorococcineae (= Protococcineae), часто встречаются в планктоне озер и прудов. Образуют пластинчатые колонии (ценобии) из многогранных

клеток, расположенных в одной плоскости. Число клеток обычно колеблется от 32 до 64, но бывает и меньше и больше. Краевые клетки отличаются от срединных. присутствием одного или нескольких выростов. Срединные клетки плотно соединены между собой или разделены промежутками. Хроматофоры зеленого цвета, пластинчатые, реже рассеченные, с одним пиреноидом. Размножение происходит путем образования зооспор.

Образование выростов

Задание. Рассмотреть и зарисовать особенности строения, обуславливающие сопротивление формы для следующих представителей планктона: а) фитопланктон: представители диатомей (*Chaetoceros*); перидиней (*Ceratium*). б) зоопланктон: ветвистоусых раков (*Bythotrephes*); десятиногих раков (личинка *Porcellana*).

Chaetoceros (рис. 4.9)

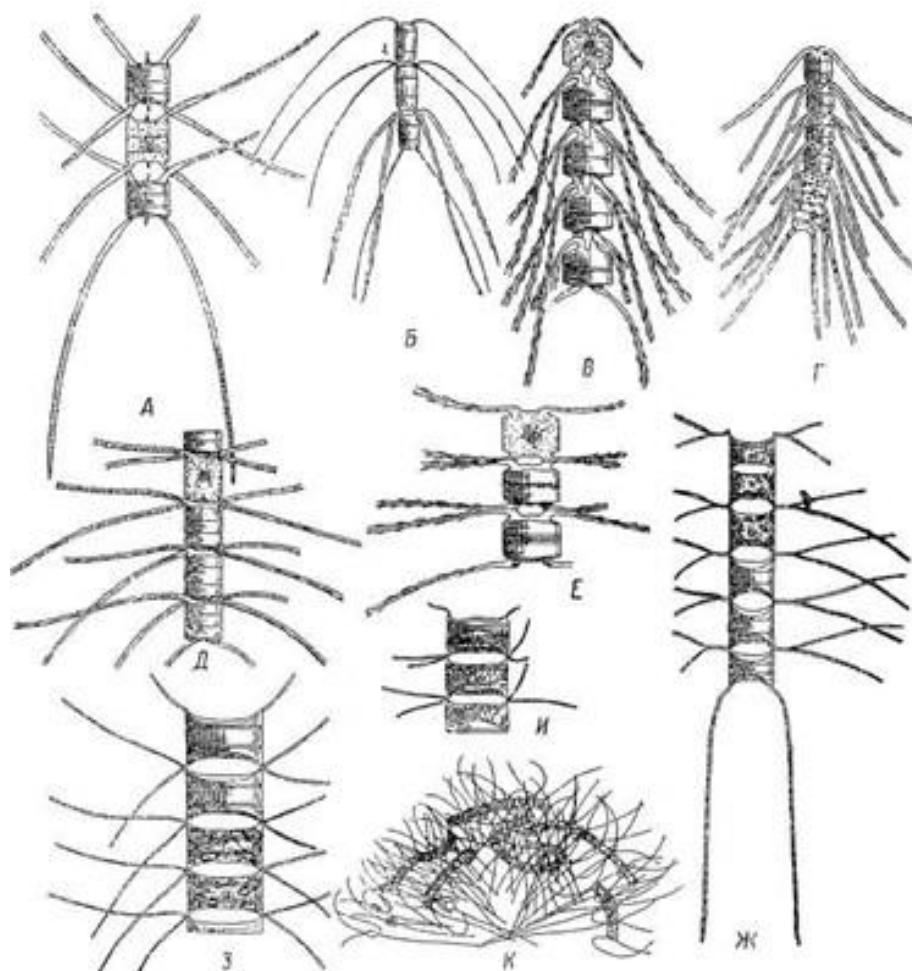


Рис. 4.9 – Увеличение сопротивления формы (образование выростов)

А – *Chaetoceros ailanticus*; Б – *Chaetoceros compressus*; В – *Chaetoceros concavicornis*;
 Г – *Chaetoceros convolutus*; Д – *Chaetoceros densus*; Е – *Chaetoceros b or calls*;
 Ж – *Chaetoceros declpiens*; З – *Chaetoceros mitra*; И – *Chaetoceros subsecundus*;
 К – *Chaetoceros soclalis*.

Различные виды *Chaetoceros*, относящиеся к группе Centricae, широко распространены в морях, являются массовыми формами, вызывающими весеннюю вспышку фитопланктона.

Наиболее характерным признаком всех видов *Chaetoceros* является присутствие длинных щетинок, расположенных попарно у краев створок; при помощи этих щетинок клетки соединены в длинные колонии, имеющие вид цепочек. Щетинки, значительно увеличивающие трение организма о воду, могут быть сплошными или полыми, гладкими или с шипиками; к концу обычно утончаются. Расположены они чаще всего в одной плоскости под тупым или острым углом к длинной оси колонии, но могут быть прижаты к ней или распростерты в разные стороны. У некоторых видов щетинки, отходящие от концов колонии, отличаются по форме от остальных. Промежутки между клетками могут быть самой разнообразной формы – круглые, овальные, прямоугольные и т.д.

Ceratium (рис. 4.10)

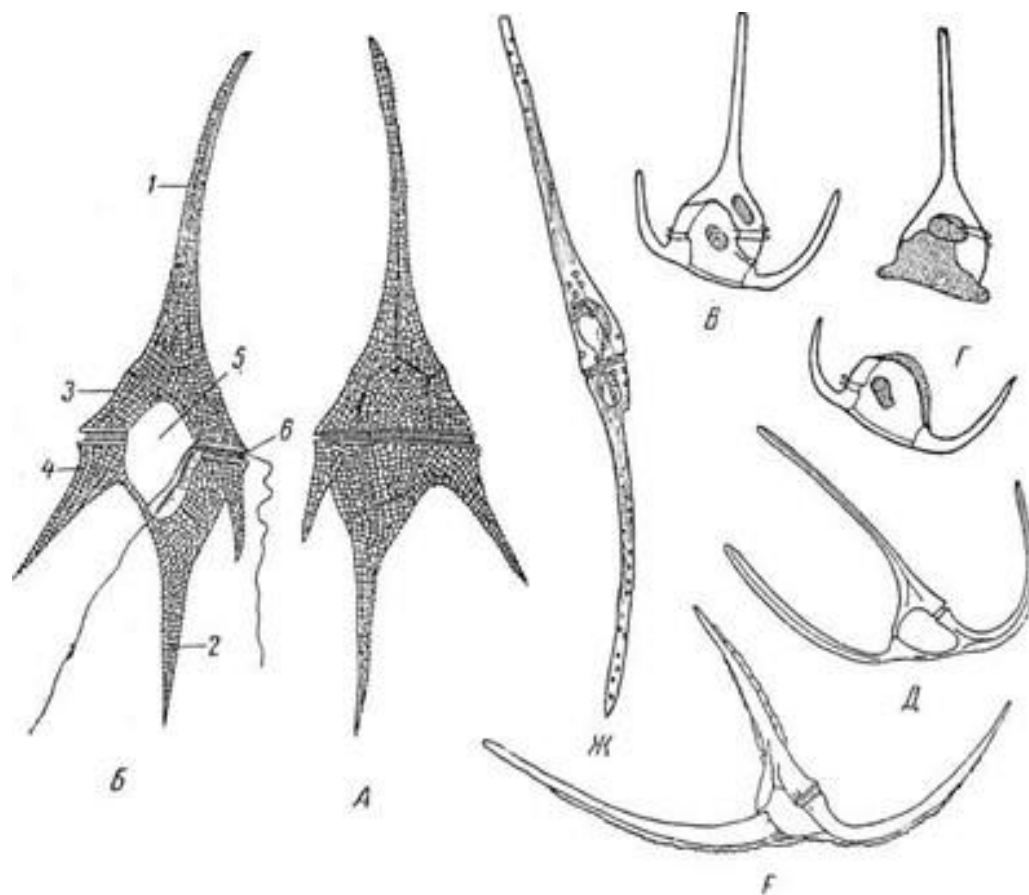


Рис. 4.10 – Увеличение сопротивления формы (образование выростов)
 А, Б – *Ceratium hinindinella*, со спинной стороны (А) и с брюшной стороны (Б);
 В, Г – *Ceratium tripos*, в начале деления (В) и после расхождения половин клетки (Г);
 Д – *Ceratium longipes*; Е – *Ceratium arcticuni*; Ж – *Ceratium fusus*: 1 – апикальный рог,
 2 – антапикальный рог, 3 – эпитека, 4 – гипотека, 5 – продольная борозда,
 6 – поперечная борозда.

Перидинеи (Peridineae или Dinoflagellata) относятся к числу наиболее распространенных форм фитопланктона, уступая в этом отношении только диатомеям. Обитают преимущественно в морях, в пресноводных водоемах встречается относительно небольшое число видов.

К числу самых обыкновенных представителей перидинией относятся различные виды цератиумов (*Ceratium*), обитающие почти исключительно в морях; в пресных водах встречаются только два вида, из которых *Ceratium hirundinella* относится к числу самых обычных компонентов пресноводного планктона. Все цератиумы характеризуются присутствием больших длинных выростов, называемых рогами. На верхней половине тела находится только один апикальный рог, на нижней половине в большинстве случаев два антапикальных рога. Поперечная борозда резко выражена, продольная борозда широкая. Поверхность панциря покрыта мелкими шипами или морщинистая.

Bythotrephes

Bythotrephes относятся к семейству Polyphemidae. Представители этого семейства отличаются от остальных ветвистоусых раков рядом существенных признаков. Карапакс (раковина) сильно редуцирован, не покрывает всего тела, а защищает лишь находящуюся внутри него выводковую камеру и по краям полностью прирастает к спинной стороне тела. Таким образом, выводковая камера, покрытая гиподермой, лежит под покровами тела, т.е. внутри организма, и представляет образование, совершенно отличное от выводковой камеры всех остальных ветвистоусых раков, у которых она находится вне тела, между его спинной стороной и створками карапакса. *Bythotrephes* относится к числу самых крупных видов, достигает в длину 10 мм обитает, главным образом, в северных районах, в озерах и небольших водоемах.

Самым характерным признаком *Bythotrephes* является присутствие длинного хвостового шипа, в несколько раз превышающего длину тела. В нормальном положении этот шип расположен горизонтально, поэтому сильно увеличивает сопротивление, оказываемое водой при погружении организма. Хвостовой шип битотрефеса гомологичен тому небольшому выросту, на котором у всех остальных видов кладоцер сидят хвостовые щетинки.

Личинки *Porcellana* (рис. 4.11, Б)

Личинки краба *Porcellana*, встречающегося у нас в Черном море, ведут планктический образ жизни. Наиболее отличительной чертой служит присутствие длинного роstralного выроста, в два раза превосходящего длину тела; задние углы карапакса вытянуты в длинные выросты. Рострум и выросты карапакса представляют большое сопротивление погружению в воде, тонкие покровы также, облегчают плавание личинки.

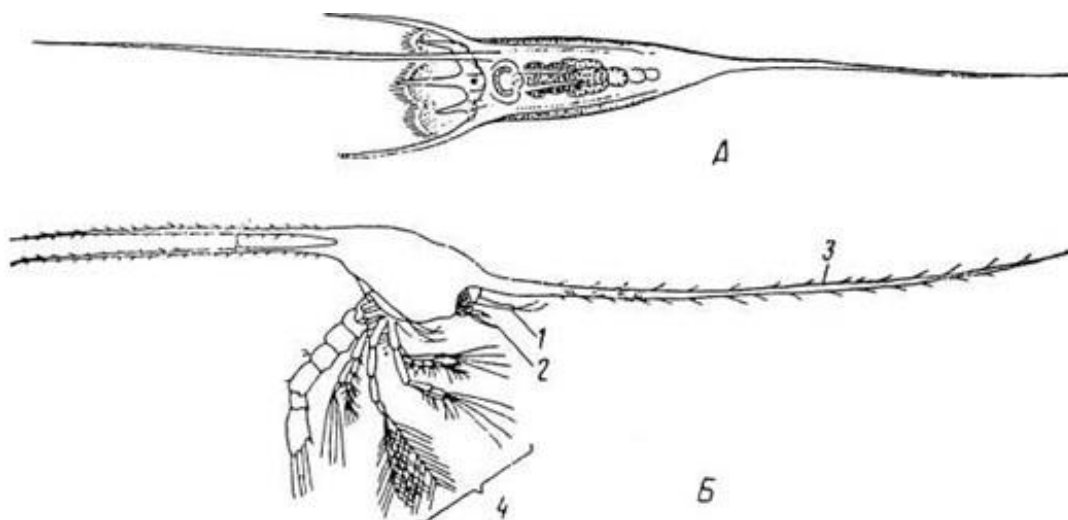


Рис. 4.11 – Увеличение сопротивления формы
A – Notholca longispina; B – личинка краба Porcellana:
 1 – антеннула, 2 – антенна, 3 – рострум, 4 – максиллярные ноги

Лабораторная работа № 5

Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек

Цель работы: приобрести навыки в расчете самоочищения малых рек по гидробиологическим показателям.

Контрольные вопросы:

1. Общие тенденции и принципы функционирования системы самоочищения воды.
2. Роль химических, физических и биологических процессов в самоочищении водных экосистем.
3. Основные элементы теории о полифункциональной роли биоты в самоочищении водоемов и водотоков.
4. Основные функциональные блоки системы самоочищения водных экосистем.
5. Участие основных крупных таксонов в процессах самоочищения.

Биологическое самоочищение рассматриваем как процесс, в котором в результате биотического круговорота веществ, осуществляемого через трофические связи бактериального, растительного и животного населения вод, происходит деструкция и трансформация органического загрязнения в биомассу гидробионтов. Потребление определенного звена в трофической цепи другими гидробионтами стимулирует его биоактивность, поэтому считаем, что средняя для исследуемого участка биомасса всех основных

звеньев трофической цепи отражает состояние динамического равновесия водной экосистемы в данный момент. Разложение биохимически разрушающихся загрязнений сопровождается изменением кислородного баланса водоемов, ввиду чего в качестве меры присутствующих органических загрязнений определяли БПК₅ седимента (по изложенной выше методике) и ХПК воды как показатели суммарного содержания биохимически окисляющихся органических примесей в донных отложениях и воде. Методом БПК₅ определяются только биохимически окисляющиеся вещества, но и они не окисляются полностью; некоторая часть их не реагирует, а другая усваивается микроорганизмами с образованием ила. В общем кислородном балансе потребление кислорода гидробионтами в процессе обмена вряд ли играет существенную роль, поскольку в малых реках дефицит кислорода покрывается за счет атмосферной аэрации. В силу этого потребление кислорода гидробионтами не учитывалось и принимали, что БПК₅ и ХПК отражают общее содержание органического загрязнения в водотоке.

За основу количественного исследования процессов самоочищения взят метод экспериментального определения основных количественных показателей самоочищения в зависимости от гидрологических параметров водотока, свойств и содержания органического загрязнения в водотоке.

Задание. Произвести расчет величин, определяющих количественные показатели самоочищения р. Рауна, р. Светупе. Проанализировать полученные показатели по двум водоемам. Расчеты производят на основе осредненных величин ведущих групп гидробионтов летней межени за годы исследований и показателей гидрологических параметров, близких к норме для этого периода (табл. 5.1, 5.2). Полученные и промежуточные результаты занести в таблицу 5.2. Сделать выводы.

1). **Рассчитать величину самоочищения водоемов.** Данный показатель отражает уменьшение влекомой потоком органики на исследованном участке. Она зависит от расхода воды и концентрации «органического» вещества.

$$S_m = Q \cdot (C_0 - C_t), \text{ г/с,}$$

где Q (л/сек) – расход воды, C_0 – количество органического загрязнения в начале участка, C_t – то же в конце участка. Полученный результат перевести в граммы.

2) **Рассчитать скорость самоочищения водоемов.** Данный показатель отражает уменьшение концентрации органического вещества за единицу времени. Рассматривая поток переноса загрязнений на исследуемом участке как транзитный (без учета циркуляционных водоворотных образований), принимаем за «время самоочищения» время добегания воды на данном участке.

$$S_r = \frac{(C_0 - C_t)}{t}, \text{ г/л}\cdot\text{с},$$

где C_0 – количество органического загрязнения в начале участка, C_t – то же в конце участка, t (с) – время добегаания воды на участке.

3) **Рассчитать удельную самоочищающую способность биомассы.** Данный показатель рассматривается как интенсивность самоочищения (как объем органического загрязнения, которое за единицу времени перерабатывает 1 г биомассы). Этот показатель зависит преимущественно от расхода воды Q и скорости течения v .

$$S_c = -\frac{Q \cdot (C_0 - C_t)}{t(g' \cdot P \cdot v + g'' \cdot Q)}, \text{ гO}_2/\text{л}\cdot\text{с},$$

где Q (л/сек) – расход воды, P (м) – ширина русла, v (м/с) – скорость течения, g' – биомасса гидробионтов в грунтах и фитофильных биоценозах с учетом коэффициента зарастания (k), g'' – взвешенная биомасса.

$$g' = g/(1-k), \text{ г/м}^2$$

Таблица 5.1 – Осредненные биомассы основных групп гидробионтов на исследованных участках

Группа гидробионтов	р. Рауна	р. Светуге
Биомасса гидробионтов в грунтах и фитофильных биоценозах, г/м ²		
Бактериопланктон		0,6
Простейшие	0,75	0,89
Коловратки и ракообразные	10,5	24,6
Макробентос	33	16,6
Всего		
Взвешенная биомасса, г/л		
Бактериопланктон	0,002	0,0006
Фитопланктон	0,001	0,002
Зоопланктон	0,001	0,016
Всего		

Таблица 5.2 – Количественные показатели процессов самоочищения в реках

Параметр	р. Рауна	р. Светуге	Обозначения в таблице
Q , л/с	90	120	Расход воды
v , м/с	0,3	0,1	Скорость течения
t , с	26666	80000	Время добегаания воды на участке
P , м	6	10	Ширина русла

k	0,4	0,6	Коэффициент зарастаемости
$g/(1-k)$, г/м ²			Биомасса гидробионтов в грунтах и фитオフィльных биоценозах с учетом k
g'' , г/л			Взвешенная биомасса
C_0 (ХПК _{воды} + БПК _{5седим})	(61+332)=393	(35+438)=473	Кол-во органического загрязнения в начале участка
C_t (ХПК _{воды} + БПК _{5седим})	(32+172)=204	(35+262)=295	Кол-во органического загрязнения в конце участка
S_m , г/с			Величина самоочищения
$S_r \cdot 10^{-3}$, г/л*с			Скорость самоочищения
$S_r \cdot 10^{-3}$, гO ₂ /л*с			Интенсивность самоочищения

Лабораторная работа № 6

Определение видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества

Цель работы: приобрести навыки определения видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества с использованием индекса Шеннона и индекса Бергера-Паркера.

Материалы и оборудование: фиксированная проба макрозообентоса, бинокляр, пинцет, иглы для препарирования, определительные таблицы.

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы влияют на формирование донных биоценозов?
2. Как влияют неблагоприятные экологические условия на видовое разнообразие биоценоза?
3. В чем отличия альфа и бета разнообразия?
4. Перечислите индексы видового разнообразия.

Видовое (таксономическое) разнообразие того или иного сообщества является показателем его экологического состояния. Известно, что в благоприятных условиях формируются богатые по числу видов (таксонов) биоценозы, которые отличаются полидоминантностью, то есть высокими показателями численности и биомассы могут характеризоваться сразу 5–6 и более видов. В сообществах, обитающих в экстремальных условиях, как правило, снижается видовое (таксономическое) разнообразие, и они становятся

моnodоминантными, то есть высокую численность и биомассу имеет 1, в крайнем случае, 2 вида. В таких условиях происходит изменение структуры донных сообществ, которое может быть выражено индексами видового разнообразия. Приведём примеры расчёта двух из них.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ СТРУКТУРЫ ПЕЛОФИЛЬНОГО ДОННОГО СООБЩЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСА ШЕННОНА

Индекс Шеннона (H) широко используется для оценки видового разнообразия сообщества:

$$H_N = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

где n_i и b_i – общая численность и биомасса вида, N и B – общая численность и биомасса сообщества. Таким образом, $\frac{n_i}{N}$ и $\frac{b_i}{B}$ – доля особей i -го вида в численности и биомассе сообщества. Достоинством индекса H является его комплексность, он учитывает количество видов (видовую плотность) и их выравненность. Мы имеем возможность дать оценку видового разнообразия каждого ценоза в отдельности. В сообществах сбалансированных, имеющих высокое видовое разнообразие, величина индекса – от 3 до 5. В экстремальных условиях, в частности при загрязнении, его величина снижается.

Алгоритм определения видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества с использованием индекса Шеннона

1. Занести исходные данные по численности (N) и биомассе (B) видов донного сообщества в таблицу 1 (Абсолютные средние: N (экз./м²), B (г/м²)).

2. Рассчитать общую численность и биомассу сообщества, полученные данные занести в таблицу 1 (Всего).

3. Рассчитать долю особей i -го вида в численности $\frac{n_i}{N}$ и биомассе $\frac{b_i}{B}$ сообщества, результаты занести в таблицу 1 (Относительные средние: N (%), B (%)).

4. На основе данных таблицы 1 рассчитать индекс Шеннона по численности донного сообщества:

$$H_N = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

где n_i – общая численность вида, N – общая численность сообщества.

5. На основе данных таблицы 6.1 рассчитать индекс Шеннона по биомассе донного сообщества:

$$H_N = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

где b_i – общая биомасса вида, B – общая биомасса сообщества.

6. Полученные данные по пунктам 4 и 5 внести в таблицу 6.2.

7. Сделать вывод о видовом разнообразии на основании рассчитанного индекса Шеннона.

Таблица 6.1 – Абсолютные и относительные средние величины численности (N) и биомассы (B) донных животных глубоководной части пруда

Вид	Абсолютные средние		Относительные средние	
	N (экз./м ²)	B (г/м ²)	N (%)	B (%)
<i>Tubifex tubifex</i>	4272	10,04	64	30
<i>Stylaria lacustris</i>	80	0,23	1	1
<i>Pisidium amnicum</i>	40	2,10	1	6
<i>Procladius choreus</i>	882	2,80	13	8
<i>Chironomus plumosus</i>	1380	18,89	21	55
Всего	6654	34,06	100	100

Таблица 6.2 – Расчет индекса Шеннона для пелофильного сообщества глубоководной зоны пруда

Вид	H_N (по численности)	H_B (по биомассе)
<i>Tubifex tubifex</i>	$= 64 \cdot \log_2 64 = -0,41$	$= 30 \cdot \log_2 30 = -0,52$
<i>Stylaria lacustris</i>		
<i>Pisidium amnicum</i>		
<i>Procladius choreus</i>		
<i>Chironomus plumosus</i>		
Сумма (со знаком «-»)		

II. Определение видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества с использованием индекса Бергера-Паркера

Индекс выравнинности Бергера-Паркера (d) более прост для вычисления:

$$d = \frac{N}{n_{i \max}}$$

где N – общая численность сообщества, $n_{i \max}$ – численность самого обильного вида. Увеличение индекса показывает увеличение разнообразия и снижение степени доминирования одного вида, то есть состояние сообщества улучшается.

**Алгоритм определения видового разнообразия структуры
пелофильного донного сообщества
с использованием индекса Бергера–Паркера**

1. Занести исходные данные (табл. 6.3) по численности (N) и биомассе (B) видов донного сообщества в таблицу 6.4 за данные периоды наблюдений.

2. Рассчитать общую численность и биомассу организмов донного сообщества, полученные данные занести в таблицу 6.4 (Всего).

3. Рассчитать индекс Бергера–Паркера за каждую дату наблюдений, данные занести в таблицу 6.4.

4. Сделать вывод об изменении видового разнообразия и степени доминирования одного вида на протяжении предложенного периода наблюдений.

Задание 2. Проследить за изменением структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда в июле 2005 г. Для этого рассчитать индекс Бергера–Паркера за каждую дату. Численность донных животных привести по таблице 6.3. Результаты занести в таблицу 6.4. Сделать выводы.

Таблица 6.3 – Видовой состав, численность (N, экз./м²), биомасса (B, г/м²) донных животных в пробах из глубоководной части пруда (биоценоз профундали)

Вид	02.07.		08.07		17.07.		25.07		31.07	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Tubifex tubifex</i>	4000	7,81	5550	9,68	6290	5,55	1600	3,29	3920	23,88
<i>Stylaria lacustris</i>	0	0	0	0	0	0	400	1,15	0	0
<i>Pisidium amnicum</i>	0	0	100	4,55	0	0	100	5,94	0	0
<i>Procladius choreus</i>	1160	2,61	0	0	0	0	450	1,35	2800	10,06
<i>Chironomus plumosus</i>	1200	17,09	3060	25,01	1660	18,25	900	28,74	80	5,34

Таблица 6.4 – Численность донных животных (экз./м²) и расчет индекса Бергера–Паркера для пелофильного донного сообщества в июле

Вид	02.07.	08.07	17.07.	25.07	31.07
<i>Tubifex tubifex</i>					
<i>Stylaria lacustris</i>					
<i>Pisidium amnicum</i>					
<i>Procladius choreus</i>					
<i>Chironomus plumosus</i>					
Всего					
<i>d</i>					

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
2. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. – СПб.: ЗИН РАН, 2000. – 147 с.
3. Константинов, А.С. Общая гидробиология / А.С. Константинов. – М.: Высшая школа, 1986. – 466 с.
4. Гидроэкология: учеб.-метод. комплекс по учебной дисциплине для спец. (направление спец.) 1-33 01 01 Биоэкология / сост. И.А. Литвенкова; Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова», Каф. экологии и охраны природы. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – 138 с.
5. Романенко, В.Д. Основы гидроэкологии / В.Д. Романенко. – К.: Генеза, 2004. – 664 с.

Учебное издание

ГИДРОЭКОЛОГИЯ

Методические рекомендации
к выполнению лабораторных работ

Составитель

ЛИТВЕНКОВА Инна Александровна

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Компьютерный дизайн

Л.В. Рудницкая

Подписано в печать 20.09.2023. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,82. Тираж 40 экз. Заказ 96.

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

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.