



Министерство образования Республики Беларусь  
УО «Витебский государственный университет им. П.М.Машерова»

Литвенкова И.А.

## ГИДРОЭКОЛОГИЯ

*Методические задания к проведению  
лабораторных занятий по гидроэкологии  
для студентов 3 курса  
дневной и заочной формы обучения.*

УДК 574(075.8)  
ББК 28.082 я73

*Авторы:* доцент кафедры экологии и охраны природы УО «ВГУ им. П.М.Машерова», кандидат биологических наук **И.А.Литвенкова**

*Рецензенты:* доцент кафедры географии УО «Витебский государственный университет им. П.М.Машерова, кандидат геолого-минералогических наук **И.А. Красовская**

*Научный редактор:* заведующий кафедрой экологии и охраны природы УО «ВГУ им. П.М.Машерова», кандидат биологических наук **А.М.Дорофеев**

**Литвенкова И.А.**

**М 54** Гидроэкология: методические задания к проведению лабораторных занятий/ И.А.Литвенкова. – Витебск: Издательство УО «ВГУ им. П.М.Машерова», 2007 – с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с типовой учебной программой по курсу «Гидроэкология» для студентов, обучающихся по биологическим специальностям вузов. Рассматриваются вопросы оценки абиотических факторов водной среды, адаптивные особенности гидробионтов к факторам среды, методы расчета вторичной продукции и процессов самоочищения водных экосистем.

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

УДК 574(075.8)  
ББК 28.082 я73

Литвенкова И.А. 2007  
УО «ВГУ им. П.М.Машерова», 2007

## Содержание

Введение		4
Лабораторная работа № 1	Распределение температуры воды в озере по вертикале	5
Лабораторная работа № 2	Цикломорфоз у пресноводных планктических организмов	8
Лабораторная работа № 3	Йодометрическое определение растворенного кислорода по Винклеру	13
Лабораторная работа № 4	Определение биохимического потребления кислорода	15
Лабораторная работа № 5	Количественный учет организмов активного ила	16
Лабораторная работа № 6	Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени их зарастания	18
Лабораторная работа № 7	Адаптация гидробионтов к водно-солевым условиям среды	22
Лабораторная работа № 8	Адаптации гидробионтов к неблагоприятным факторам среды	27
Лабораторная работа № 9	Адаптивные особенности планктона к сохранению взвешенного состояния в воде	30
Лабораторная работа № 10	Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации на примере представителей подотряда Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – Daphnia	44
Лабораторная работа № 11	Определение продуктивности популяции донного сообщества (по А.Ф. Алимову)	47
Лабораторная работа № 12	Оценка качества воды по биотическому индексу (метод Вудивисса)	50
Лабораторная работа № 13	Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек	52
Литература		54

## 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 пособие рассмотрены работы, посвященные оценке абиотических факторов исследуемого водоема, рассматриваются особенности адаптации гидробионтов к факторам внешней среды. Пособие включает практические расчетные работы, в которых отрабатываются основные методы оценки самоочищения рек по гидробиологическим показателям, определения биопродуктивности водных экосистем. 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 пособие подготовлено для студентов биологических специальностей вузов, в частности для использования студентами научной специальности 1-33 01 01 «Биоэкология».

# Лабораторная работа №1

## Распределение температуры воды в озере по вертикале (по Ремесленникова М.Е., 2005)

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

*Контрольные вопросы:*

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

Распределение температуры воды по глубине в пресных замерзающих озерах зоны умеренного климата обусловлено рядом закономерностей термического режима и его характерными особенностями, связанными, в первую очередь; с сезонными колебаниями теплообмена в озере и перемешиванием водной массы.

Нагревание водоема происходит в основном от поступающей на поверхность воды солнечной радиации, в соответствии с годовым ходом которой изменяется и температура водной массы. Тепло проникает в глубину в результате *конвекции*, т. е. путем вертикального перемещения частиц воды в связи с их различной плотностью, а также в результате динамических явлений (волнения, течений). Нагревание и охлаждение глубинных слоев, воды в озере путем конвекции

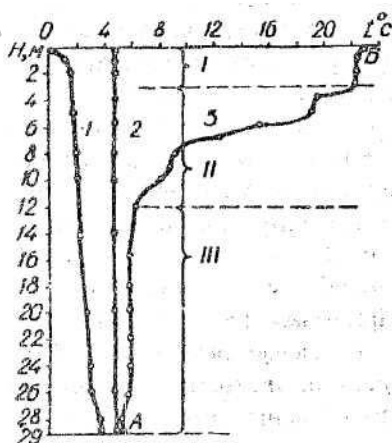


Рис.1 Изменение температуры воды с глубиной в оз. Кривом 1/Ш 1972 г. (1); 25/ХІ1971 г. (2); 29/VI 1970 г. (3);  
I эпилимнион; II - металимнион; III-гиполимнион.

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, возникающая 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, кривая 2) и характерно для переходных периодов термического режима - весны и осени.

При охлаждении воды до температуры ниже  $4^{\circ}\text{C}$  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  $4^{\circ}\text{C}$ . Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рис.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, кривая 3). В глубоких пресных озерах зоны умеренного климата летом, при прямой термической стратификации, сильно и равномерно нагретый верхний слой воды - эпилимнион - подстилается более холодным глубинным слоем - гиполимнионом. Между эпилимнионом и гиполимнионом располагается слой температурного скачка - металимнион (термоклин), в котором температура резко понижается с глубиной (см. рис.1). В эпилимнионе создаются наиболее благоприятные условия жизни (обилие света, тепла, преобладание окислительных процессов), способствующие интенсивному развитию планктона. В металимнионе при резком падении температуры меняется газовый режим; нередко здесь отмечается массовая гибель микроорганизмов. В слое гиполимниона при отсутствии освещения погибают живые растительные организмы, уменьшается, нередко до нуля, содержание кислорода, иногда образуется губительный для всего живого - сероводород. Положение слоя температурного скачка в озере и вертикальный градиент температуры в нем зависит от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гиполимниона.

**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, гиполимнион (рис.). 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 ( $t_{\text{ср}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) 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). По оси ординат откладываются глубины в метрах, по оси абсцисс - температура °С. На график наносятся точки, соответствующие температуре воды на разных горизонтах измерения. Полученные точки соединяют плавной линией, которая, характеризует распределение температуры воды от поверхности до дна водоема. 2. На графике - кривая 3 прямой термической стратификации - определяем участок резкого перепада температуры с глубиной, проводим горизонтальные линии, выделяя слои эпилимниона, металимниона и гиполимниона. 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°С (от 22,6 до 6,2°С) на 9 м глубины (12-3 м), а вертикальный градиент  $\Theta = 1,8$  °С на 1 м (16,4:9). Для определения наибольшего градиента температуры выбираем отрезок кривой в слое скачка с наибольшим перепадом температуры. В нашем примере  $\Theta_{\text{наиб}} = 4$ °С на 1 м в слое 5-6 м. 3. Средняя температура воды по вертикали ( $t_{\text{ср}}$ , °С) может быть вычислена с помощью графика распределения температуры воды по глубине; определяется как частное от деления площади эюры, ограниченной на графике координатными осями, кривой распределения температуры воды и линией дна, на полную глубину вертикали:

$$t_{\text{ср}} = S/H, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где S - площадь эюры (°С м), H - глубина вертикали в метрах.

*Таблица 1 Распределение температуры воды с глубиной в оз. Кривом (Ушачская группа озер, РБ)*

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

## Лабораторная работа № 2

### Цикломорфоз у пресноводных планктических организмов

*Цель работы:* изучить сезонную изменчивость организмов планктона на примере различных видов организмов.

*Контрольные вопросы:*

1. Понятие цикломорфоз.
2. Для каких организмов планктона характерна сезонная изменчивость и в чем ее причины.

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

**Задание.** Рассмотреть и зарисовать сезонные изменения различных представителей планктона. Отметить характерные особенности морфологии в теплый и холодный периоды года.

1. Какие морфологические изменения характерны в процессе цикломорфоза для представителей Diatomeae и Peridineae, в чем их причина.
2. Характерные черты основной зимней формы *Keratella cochlearis*, отличительные черты форм ряда *tecta*, ряд *irregularis*, ряда *hispida*.
3. Характерные черты основной зимней формы *Brachionus calyciflorus*, особенности строения рядов *amphiceros* и *spinosa*.
4. Каковы сезонные изменения морфологии у различных генераций *Daphnia cucullata*. Отметить экологию и отличия летних форм четырех варитетов данного вида.



## 1. Цикломорфоз диатомей (рис.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.

## 2. Цикломорфоз перидиней (рис.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).

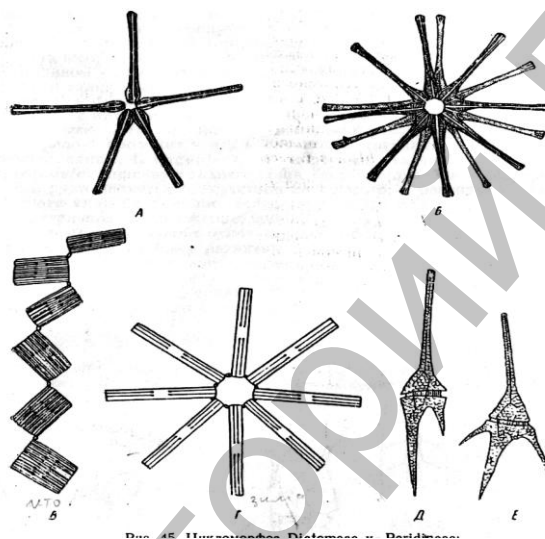


Рис. 1. Цикломорфоз Diatomeae и Peridineae:

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.

## 3. Цикломорфоз *Keratella cochlearis* (рис. 2).

*Keratella cochlearis* относятся 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.

Ряд *tecta* проходит через следующие формы — *f. Turpica*, 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 изменении 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 киля 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 киля 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.

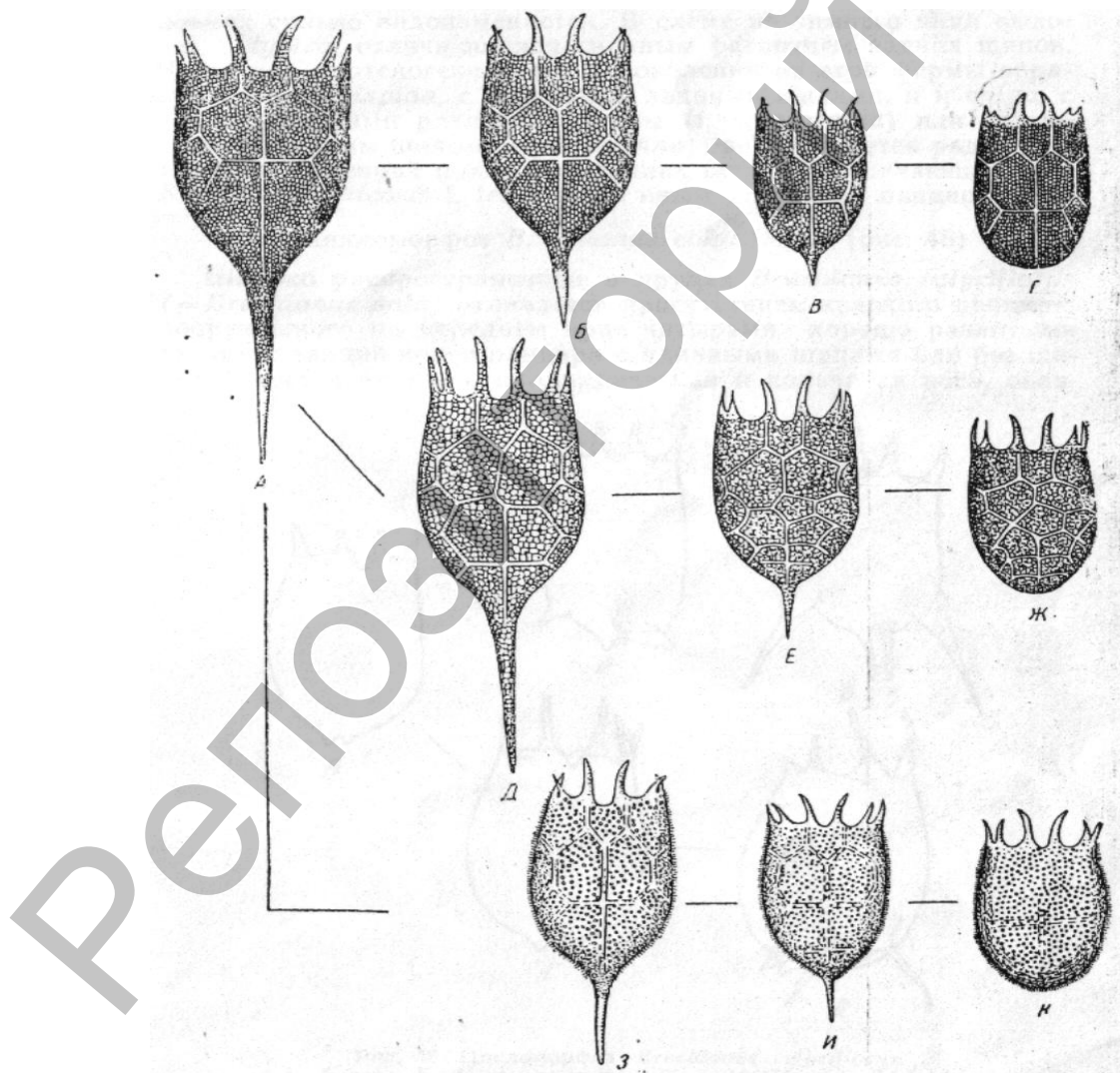


Рис. 2. Цикломорфоз *Keratella cochlearis*

А - *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*.

#### 4. Цикломорфоз *Brachionus calyciflorus* (рис. 3).

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. amphicerus*, с длинными срединными и особенно боковыми задними шипами. У форм ряда *amphicerus* 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. amphicerus*, отличается от нее сильным развитием передних срединных шипов.



Рис.3. Цикломорфоз *Brachionus calyciflorus*  
А- *f. pala*; Б- *f. anuraeiformis*; В- *f. amphicerus*; Г- *f. dorcas*; Д- *f. Spinosa*.

#### 5. Цикломорфоз *Daphnia cucullata* (рис. 4).

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 сорта 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 berolinensis* — 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.

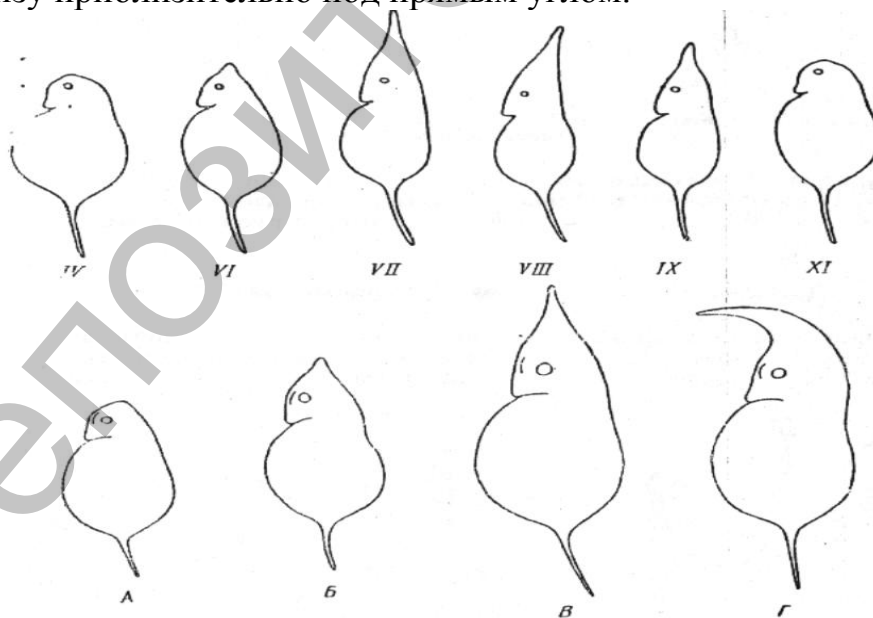


Рис. 4. Цикломорфоз *Daphnia cucullata*

Верхний ряд – генерации *Daphnia cucullata* (цифры обозначают месяцы); нижний ряд – летние формы различных сортов *Daphnia cucullata*: А – var. *apicata*; Б – var. *berolinensis*; В – var. *kahlbergiensis*; Г – var. *procurva*.

### Лабораторная работа № 3

#### Йодометрическое определение растворенного кислорода по Винклеру

*Цель работы:* освоить навыки определения растворенного в воде кислорода.

Количество растворенного кислорода в воде имеет большое значение для оценки состояния водоемов, и его снижение указывает на резкое изменение биологических процессов водоема, а также на загрязнение водоемов веществами, легко биохимически окисляющимися.

Метод основан на способности гидроксида марганца (II) окисляться в щелочной среде до гидроксида марганца (IV). Кислород, растворенный в воде, при этом количественно связывается. При добавлении избытка кислоты из гидроксида марганца (IV) образуется соль двухвалентного марганца. Если вместе с кислотой к осадку гидроксида марганца (IV) добавить йодид калия, то выделяется йод, химически эквивалентный связанному кислороду. Выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом натрия. Предел обнаружения растворенного кислорода - 0,05 мг/л.

Определению мешают взвешенные и органические вещества, нитриты, двух- и трехвалентное железо, а также другие окислители и восстано-нители. Их влияние можно устранить в ходе анализа.

*Материалы и оборудование:* склянки с притертой пробкой вместимостью 100-200 мл; колбы конические плоскодонные вместимостью 500мл.

#### *Реактивы:*

1. Сульфат или хлорид марганца (II), раствор. Растворяют 40 г  $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ , или 48г  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ , или 36,4г  $MnSO_4 \cdot H_2O$ , или 42,5 г  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  в дистиллированной воде и доводят объем до 100 мл. Фильтруют через бумажный фильтр или сливают через сифон после полного отстаивания осадка. Разбавленный раствор в кислой среде при добавлении йодида калия не должен выделять свободного йода.

2. Щелочной раствор йодида калия.

а) Растворяют 15г йодида калия в 10 мл дистиллированной воды. При подкислении разбавленный раствор не должен выделять йода.

б) Растворяют 50г гидроксида натрия или 70г гидроксида калия в 50мл дистиллированной прокипяченной (для удаления углекислого газа) воды (растворение проводят осторожно, небольшими порциями прибавляя гидроксид). Оба раствора смешивают и доводят объем до 100 мл.

3. Соляная кислота, разбавленный 2:1 раствор.

4. Тиосульфат натрия, 0,02 н. раствор.

5. Йод, 0,02 н. раствор в насыщенном растворе NaCl.

6. Йодид калия, 15%-ный раствор.

7. Крахмал, 0,5%-ный раствор.

*Ход определения.* При взятии пробы на кислород соблюдают все предосторожности против попадания в пробу атмосферного воздуха. Пробу берут в калиброванную склянку на 100-200 мл с притертой пробкой. При взятии пробы следят за тем, чтобы наполнить склянку до краев. Наполнение склянки водой лучше осуществлять с помощью батометра.

Кислород фиксируют на месте тотчас после отбора пробы. Для этого в нее вводят опущенной до дна пипеткой 1 мл сульфата или хлорида марганца и 1 мл щелочного раствора йодида калия на каждые 100-150 мл пробы. После введения реактивов закрывают склянку пробкой, следя за тем, чтобы в склянке не осталось пузырьков воздуха. Затем содержимое тщательно перемешивают многократным резким перевертыванием склянки. В таком состоянии пробу можно оставить для транспортировки, но не более чем на сутки.

Перед титрованием (осадок должен хорошо осесть) приливают 5 мл  $\text{HCl}$  (2:1), при этом часть жидкости сливается через край, что не имеет значения для определения. Склянку закрывают пробкой (воздуха под пробкой не должно быть) и содержимое тщательно перемешивают. Осадок гидроксида марганца, выпавший в щелочной среде, растворяется, окисляет йодид-ион до йода, который окрашивает раствор в желтый цвет. После этого всю пробу переливают в колбу на 250-300 мл и быстро титруют 0,02н. тиосульфатом натрия при непрерывном помешивании до слабо-желтого цвета, после чего прибавляют 1 мл 0,5% крахмала и продолжают по каплям титровать до исчезновения синей окраски. Окраска должна исчезнуть от одной капли тиосульфата.

Содержание растворенного кислорода в воде (мг кислорода/л) рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{V \cdot C_H \cdot 8 \cdot 1000}{V_1 - V_2}, \text{ где}$$

$V$  - объем раствора тиосульфата, пошедшего на титрование пробы, мл;

$C_H$  - нормальная концентрация тиосульфата с учетом поправки;

8 - эквивалентная масса кислорода, соответствующая 1 мл 1н. раствора тиосульфата;

$V_1$  - объем пробы воды в склянке, мл; ;

$V_2$  - объем воды, вылившейся при введении реактивов для фиксации кислорода (7 мл).

*Определение растворенного кислорода в присутствии мешающих веществ.* Если вода содержит много органических веществ или минеральных восстановителей, то необходимо вводить поправку на их йодо-потребление. Для этого исследуемую воду отбирают в две склянки одинакового объема и затем пипетками с длинными носиками вносят в каждую по 3-5 мл 0,02н. йода в насыщенном растворе хлорида натрия. Склянки закрывают пробками, перемешивают и через 5 мин. вносят по 1 мл щелочного раствора йодида калия в обе склянки, а затем в склянку «а» - 1 мл соли марганца, в склянку «б» - 1 мл дистиллированной воды. Закрывают пробками и перемешивают. После оседания осадка в обе склянки вносят в одинаковом количестве кислоту и йод оттитровывают тиосульфатом. Содержание растворенного кислорода рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{8 \cdot C_H \cdot (V_3 - V_4) \cdot 1000}{V_1 - V_2}, \text{ где}$$

$V_3$  - объем 0,02 н. раствора тиосульфата, пошедшего на титрование раствора в склянке «а», мл;

$V_4$  - то же для склянки «б»;

$C_n$  - нормальность раствора тиосульфата с учетом поправки;

$\delta$  - эквивалентная масса кислорода, соответствующая 1 мл 1н. раствора тиосульфата;

$V_1$  - объем кислородной склянки, мл;

$V_2$  - объем всех реактивов, внесенных в воду для фиксации кислорода, мл.

## Лабораторная работа № 4

### Определение биохимического потребления кислорода

*Цель работы:* приобрести навыки определения биохимического потребления кислорода. (БПК)

Биохимического потребления кислорода (БПК) - это количество кислорода (мг), требуемое для окисления находящихся в 1 л воды органических веществ в аэробных условиях при 20 °С в результате протекающих в воде биохимических процессов за определенный период времени (БПК за 3, 5, 10, 20 суток и т. д.). В аналитической практике чаще всего определяют 5-суточное БПК<sub>5</sub> (установлено, что БПК<sub>5</sub> составляет 70% БПК полного). Величина полного БПК регламентируется в зависимости от категории водоема: не более 3 мг кислорода/л для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг кислорода/л для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования.

Среди различных методов установления БПК наиболее распространено определение по разности содержания растворенного кислорода до и после инкубации при стандартных условиях (20 °С, аэробные условия без дополнительного доступа воздуха и света). В величину БПК не входит расход кислорода на нитрификацию. Для подавления этого процесса в пробу воды можно ввести вещества, ингибирующие нитрифицирующие микроорганизмы и не влияющие на микроорганизмы, осуществляющие основные биохимические процессы (например, этилентииокарбамид), из расчета 1 мл 0,05 % раствора на 1 л исследуемой воды.

*Ход определения.* Пробу воды для определения БПК обрабатывают в день отбора. Температура исследуемой воды должна быть 20°С, рН в пределах 6,5 - 8,5. БПК относительно чистых речных вод чаще всего исследуют без разбавления. Для этого исследуемую воду переливают в бутылку, наполнив ее на 2/3 объема, и аэрируют воду в течение 1 минуты путем встряхивания. Затем разливают ее в 6 кислородных склянок до краев. В трех из них фиксируют и определяют количество растворенного кислорода. Остальные склянки ставят в термостат с температурой 20 °С и через 5 суток в них также определяют растворенный кислород. Величину БПК, рассчитывают по формуле:

$$\hat{A}iE_5 = \hat{A}_0 - \hat{A}_5,$$

где  $A_0$  -  $A_5$  - концентрация кислорода в пробе до начала инкубации (нулевой день) и после (через 5 суток), мг кислорода/л.

Для сильнозагрязненных речных и сточных вод, как правило, требуется предварительное разбавление пробы, иначе растворенного кислорода может не

хватить для биохимического окисления загрязнений. Разбавленную воду аэрируют, разливают в кислородные склянки и определяют, как указано выше. Параллельно обязательно устанавливают БПК разбавляющей воды. В качестве разбавляющей воды можно использовать дехлорированную (отстоенную) водопроводную воду. В этом случае величину БПК (мг кислорода/л) вычисляют по следующей формуле:

$$БПК_5 = [(A_0 - A_5) - (B_0 - B_5)] \cdot n,$$

где  $A_0$  - концентрация кислорода в пробе до начала инкубации (нулевой день), мг кислорода/л;

$B_0$  - то же в разбавляющей воде, мг кислорода/л;

$A_5$  - концентрация кислорода в пробе в конце инкубации (через 5 дней), мг кислорода/л;

$B_5$  - то же в разбавляющей воде, мг кислорода/л;

$n$  - кратность разбавления.

## Лабораторная работа № 5

### Количественный учет организмов активного ила

*Цель работы:* изучить методы относительного и абсолютного количественного учета гидробионтов.

*Материалы и оборудование:* проба активного ила, пипетка, предметное, покровное стекло, микроскоп.

**Задание.** Произвести подсчет организмов активного ила:

-определить относительную численность по шкале Вислоуха, по шкале Шеффера;

-определить абсолютную численность организмов в единице объема.

Полученные данные по количественной обработке проб занести в таблицу.

Таблица 1. Количественная характеристика организмов активного ила

Наименование группы организмов	Число видов	Количество особей в пробе	Оценка численности по шкале Вислоуха	Оценка численности по шкале Шеффера

### Методы учета относительной численности

Количественная обработка проб. Если точный учет числа особей сделать невозможно, производится учет относительной численности и частоты встречаемости тех или других форм. Для этого пользуются шкалами, которые цифрами или словесными обозначениями дают представление о порядке величин. Преимущество метода — быстрота проведения метода (при достаточном навыке — 10—15 мин для каждой пробы). В связи с этим метод используется при



повседневных массовых анализах. Недостаток метода — субъективность оценки. Поэтому надежные результаты могут быть получены только при достаточной квалификации исполнителя. При учете по пятибалльной системе желательно использование покровных стекол размером 24x24 мм. Как и при качественном определении, желательно взятие по крайней мере двух капель из каждой пробы (с поверхности колбы и со дна сосуда). В каждой капле следует просмотреть по 40 полей зрения, причем препарат под объективом проводят зигзагообразно, как показано на рис. 1, так что материал просматривается практически полностью.

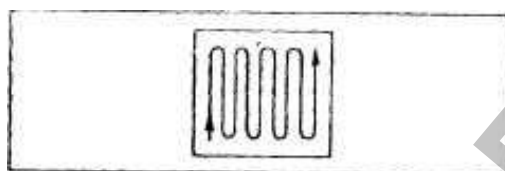


Рис.1 Ход просмотра препарата с пробой под микроскопом

По шкале Вислоуха массовое нахождение организмов обозначается значком (бесконечность), очень частое — цифрой 5; частое — 4, нередкое — 3, редкое — 2 и очень редкое — 1.

В шкале Шеффера и Роббинсона применяются слова;

«масса» - для организмов, встречаемых в 60-100% полях зрения;

«много» для 30-60%;

«порядочно» для 5 — 30%;

«мало» для 1-5%;

«редко» для менее чем 1%.

### Определение абсолютного количества организмов в единице объема

**Метод «откалиброванной капли».** В практической работе наиболее удобным при абсолютном учете организмов является метод «откалиброванной капли». Принцип метода заключается в том, что в капле, точно измеренной пипеткой и помещенной под покровное стекло, учитываются организмы в нескольких полях зрения микроскопа; путем подсчета определяется количество организмов в капле, а затем в 1 мл.

**Выполнение работы.** Микропипеткой набирают 0,1 мл жидкости, наносят каплю на предметное стекло и покрывают покровным стеклом (18x18 мм). Таких препаратов делают 3—5. В каждом препарате по диагонали покровного стекла подсчитывают организмы в 10 полях зрения. При значительном количестве организмов, пробу разводят вдвое (тогда полученные результаты соответственно увеличивают вдвое). После подсчета количества гидробионтов в 30—50 полях зрения находят среднее арифметическое для 1 поля зрения. Количество организмов в 1 мл определяют по формуле:

$$D = Sd/\pi r^2 p;$$

где  $D$  — количество исследуемых организмов в 1 мл жидкости;  $d$  — количество организмов в одном поле зрения (среднее арифметическое из числа просмотренных

полей зрения);  $\pi r^2$  - площадь поля зрения объектива в квадратных миллиметрах (радиус  $r$  поля зрения объектива определяется по линейке объект-микрометра);  $S$  — площадь покровного стекла в квадратных миллиметрах (18x18);  $p$  — объем закапанной жидкости.

## Лабораторная работа № 6

### Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени их зарастания

*Цель работы:* получить навыки оценки и выделения типа водоема по характеру и степени их зарастания.

*Контрольные вопросы:*

1. Характерные растительные формации, выделяющиеся в озерах по условиям произрастания.
2. Какими факторами определяется степень зарастания озер разных типов.
3. Показатели, лежащие в основе типизации водоемов по характеру и степени зарастания водной растительностью.
4. Типы и подтипы озер по характеру зарастания, выделенные на территории Беларуси.

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.

**Задание.** На основе табл. 1, 2, определить к какому типу по характеру и степени зарастания их водной растительностью относится исследуемый водоем.

Таблица 1. Список высших водных растений и их встречаемость в озере Червоное [1]

Название вида	Встречаемость*
Тростник южный	++++
Камыш озерный	+++
Рогоз узколистный	+++
Рогоз широколистный	++
Манник волный (большой)	++
Камыш лесной	++
Аир обыкновенный	++
Ежеголовник простой	++
Ситняг иголецкий	++
Частуха полорожниковая	++
Рдест пронзеннолистный	++++
Рдест курчавый	+++
Штуkenия гребенчатая	+++
Рдест Фриза	+
Роголистник полводный	+++
Элодея каналская	++
Телорез алоэвидный	++++
Рдест плавающий	++
Горец земноводный	+
Кубышка желтая	++
Волокрас обыкновенный	+
Многокоренник обыкновенный	++
Трехлопастная трехбороздчатая	+
Ряска малая	+

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

Таблица 2. Степень зарастания и биомасса высших водных растений в озере Червоное [3]

Группа формаций	Площадь зарослей, м <sup>2</sup>	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 м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup>).

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/м<sup>2</sup> 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, выстланных 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup>. 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 *моховый*.

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 м<sup>2</sup> зарослей. Биомасса харовых зарослей может достигать 1,5 кг/м<sup>2</sup>.

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/м<sup>2</sup> зарослей).

В озерах *полушникового подтипа* основную площадь зарослей занимает полушник озерный, встречается также водяной мох фонтиналис, единично - узколистный рдест, 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 детритового 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/м<sup>2</sup> 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/м<sup>2</sup> зарослей).

## Лабораторная работа № 7

### Адаптация гидробионтов к водно-солевым условиям среды

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

*Контрольные вопросы:*

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

**Задание.**

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

### СТЕНОГАЛИННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

**Пресноводные организмы.** Большинство растений и животных, обитающих в пресноводных водоемах, относится к стеногалинным организмам. Некоторые группы встречаются преимущественно или исключительно в пресной воде — жаброногие раки, ветвистоусые раки, коловратки, малощетинковые черви, водяные клещи, земноводные; среди других групп имеются чисто пресноводные виды, например, среди веслоногих раков, моллюсков, рыб и т. д.

**Морские организмы.** Типичными морскими стеногалинными организмами являются кокколитофориды, радиолярии, гидроидные полипы, коралловые полипы, сцифоидные медузы, многощетинковые черви, крылоногие моллюски, килевогие моллюски, головоногие моллюски, плеченогие, щетинкочелюстные, усконогие раки, эвфаузиды, ротоногие раки, иглокожие, оболочники и ряд других групп; большое число морских видов встречается среди диатомей, перидиней, корненожек, инфузории, губок, веслоногих раков, ракушковых раков, равноногих раков, амфипод, мизид, десятиногих раков, брюхоногих моллюсков, двустворчатых моллюсков, мшанок, рыб и других групп.

**Солоноватоводные организмы.** Сравнительно небольшое количество видов можно считать типичными мезогалинными, обитающими только в солоноватоводных водоемах. В качестве примеров рассматриваются некоторые коловратки (виды *Brachionus*, *Pedalia*), обитающие в слабо соленых Азовском и Каспийском морях.

#### 1. *Brachionus* и *Pedalia* (рис. 1).

Панцирь *Brachionus plicatilis* гладкий, сравнительно тонкий. На переднем конце панциря находится шесть зубцов; промежуток между средними зубцами глубже других. Основания зубцов вздутые, широкие, сами зубцы небольшие, острые. Брюшной край панциря подразделен на четыре округлые лопасти. На конце панциря находится отверстие для ноги, по бокам с варьирующими по длине

отростками. Нога длинная, кольчатая (у фиксированных экземпляров часто втянута внутрь панциря), на конце с двумя небольшими пальцами. Имеется глаз. Мاستак большой, широкий. *Brachionus plicatilis* отличается от других видов *Brachionus* по форме передних зубцов и по отсутствию на панцире задних шипов.

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

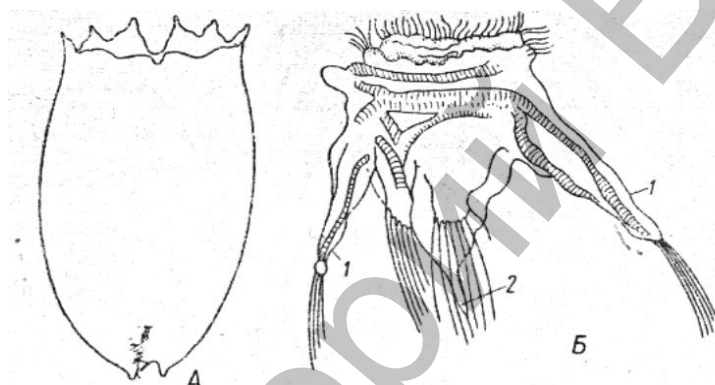


Рис. 1. Солоноватоводные организмы

А—*Brachionus plicatilis*, панцирь; Б—*Pedalia oxyure*: 1-рукообразные придатки, 2-вырост на конце тела.

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

*Artemia* (рис. 2-3).

Артемии (*Artemia salina*) широко распространены в различных соленых озерах Европы, Азии и других частей света. Относятся к подотряду *Anostraca* отряда *Branchiopoda*. Тело вытянуто в длину, явно членистое.

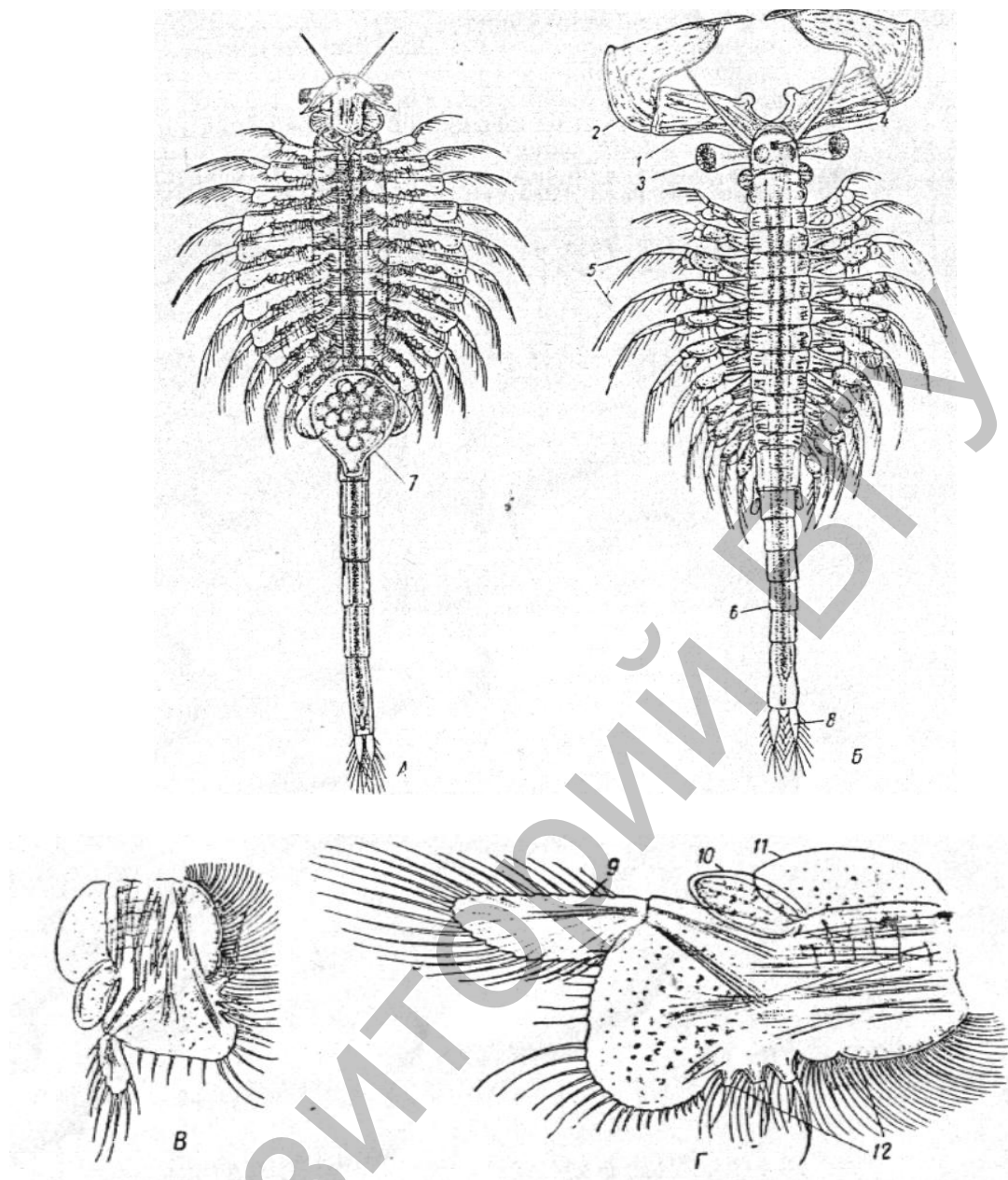


Рис. 2. Ультрагалинные организмы

*Artemia salina*. А-самка снизу; Б-самец сверху; В - нога первой пары; Г - нога шестой пары: 1 - антеннула, 2 - антенна, 3 - глаза, 4 - глазок, 5 - грудные ноги, 6- брюшко, 7 - яйцевой мешок, 8 - фурка, 9 - эксоподит, 10 - эпиподит, 11- преэпиподит, 12 - эндиты.

Голова небольшая; парные глаза стебельчатые; антеннулы нитевидные; антенны самок небольшие, а у самцов превращены в хватательный орган, конечные членики, которого несут большие плоские придатки. Грудные ноги, в числе одиннадцати пар, имеют вид широкой пластины (протоподит), внутренний край которой подразделен на эндиты; по наружному краю расположены эксоподит, эпиподит и преэпиподит. Брюшко образовано восемью сегментами. К последнему брюшному сегменту причленяются две плоские ветви фурки, вооруженные по краям щетинками. Число щетинок и размеры фурки варьируют в зависимости от количества растворенных в воде солей.



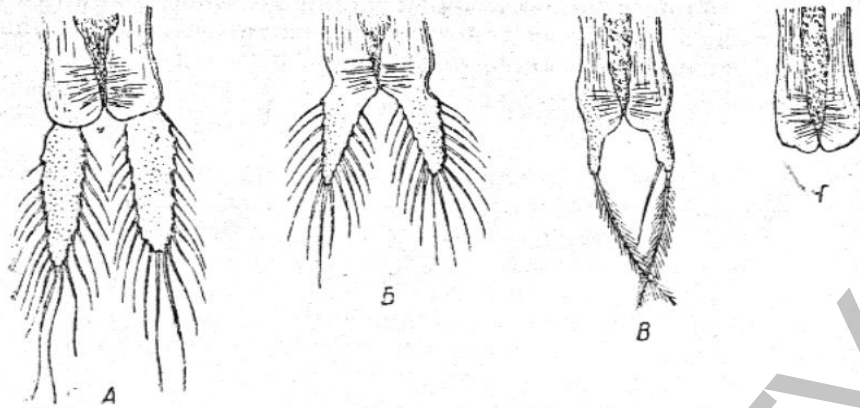


Рис. 3. Ультрагалинные организмы *Artemia salina*, конец abdomена с фуркой различных вариететов: А-*var.principalis*; Б-*var.arietina*; В-*var.milhauseni*; Г-*var.koppeniana*.

Артемия обитает в соленых озерах, содержащих хлориды, карбонаты и сульфаты в различной концентрации вплоть до насыщенного состояния. Во многих водоемах, благодаря притоку пресных вод или испарению, концентрация солей может колебаться в широких пределах. Артемии представляют пример весьма пластического организма, легко изменяющегося под воздействием условий среды. Соответственно количеству растворенных в воде солей форма тела артемии претерпевает сильные изменения. Прежде всего, варьирует общая длина тела — от 20—30 мм при небольшой солености до 6—10 мм при значительной концентрации солей; относительная длина брюшка по отношению к длине груди возрастает параллельно увеличению количества растворенных солей; восьмой брюшной сегмент при незначительной солености более или менее ясно разделяется на два сегмента; таким образом, брюшко становится девятичленистым, в то время как в большинстве случаев оно имеет восемь сегментов; варьируют также по форме и размерам эпиподиты ног (жаберные придатки) и выросты антенн самцов. Однако наибольшими изменениями подвергается фурка, которая при небольшой солености воды хорошо развита, явно отчленена от последнего сегмента брюшка и несет большое число длинных щетинок (артемии с таким вооружением фурки относятся к *var.principalis*). С увеличением концентрации солей фурка уменьшается в размерах и сливается с последним сегментом брюшка (*var.arietina*). В крайних случаях, при очень большой концентрации солей, фурка приобретает вид небольших выростов, снабженных одной или двумя щетинками (*var.milhauseni*) или же полностью отсутствует (*var.koppeniana*). Как показали экспериментальные исследования, изменение концентрации солей влечет за собой соответствующие изменения морфологии организмов в течение двух-трех генерации.

### ЭВРИГАЛИННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

В качестве типичных представителей эвригалинных организмов рассматриваются виды бурых водорослей (*Fucus* и *Ascophyllum*), брюхоногих моллюсков (*Nucella* и *Littorina*, *Acmaea*, *Patella*), двустворчатых моллюсков (*Mytilus*), полихет (*Arenicola*), раков (*Gammarus*, *Pachygrapsus*). Эти организмы обитают на литорали северных морей или псевдолиторали южных морей, где наблюдаются резко выраженные изменения солености воды; некоторые из этих

видов встречаются в массовых количествах в морях пониженной солености, например в Балтийском и Азовском морях.

Кроме того, рассматриваются два вида крабов (*Eriocheir* и *Ryithropanopeus*) и один брюхоногий моллюск (*Rapana*), которые благодаря пассивному переносу проникли в течение последних десятилетий, когда их транспорт стал легко осуществимым, в новые для них водоемы пониженной солености, в Балтийское, Черное, Азовское и Каспийское моря.

### 1. *Eriocheir* (рис. 4, А).

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

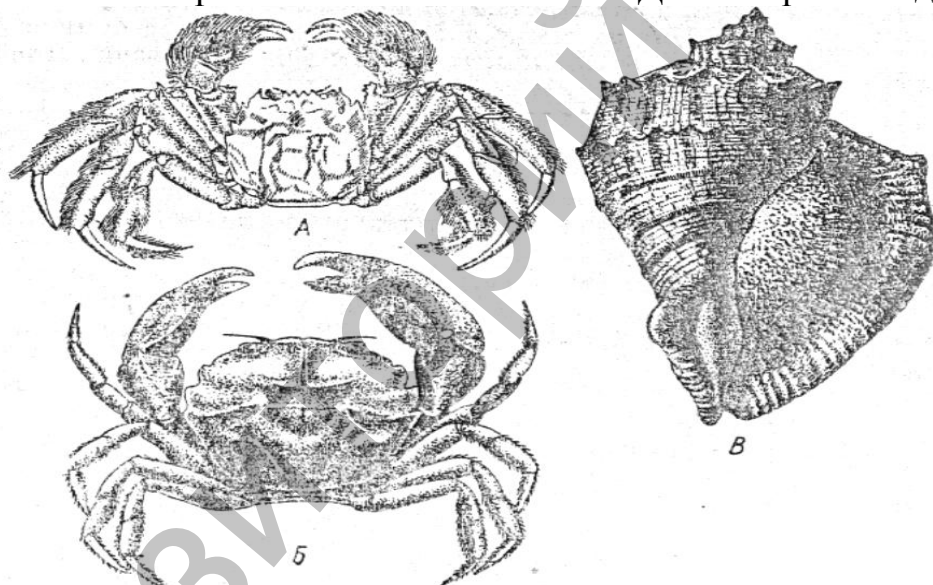


Рис. 4. Эвригалинные иммигранты  
А-*Eriocheir sinensis*; Б-*Rhithropanopeus harrisi tridentatus*; В-*Rapana thomasiana*.

Китайский краб распространен по азиатскому побережью Желтого и Восточно-Китайского морей к югу от Кореи до широты Тайваня, проникает также в реки, в которых поднимается на значительное расстояние. Вместе с балластной водой океанских судов краб был завезен в начале текущего столетия (вероятно, около 1912 г.) в устьевые участки Эльбы и Везера. Отсюда он распространился на юг до Бельгии и на север до Финского и Ботнического заливов. В европейских реках краб поднялся на расстояние десятков и даже сотен километров от моря.

Типичный представитель эвригалинных крабов. Относится к числу вредителей, разрушает берега, дамбы и плотины своими горами, портит рыболовные сет.

### 2. *Ryithropanopeus* (рис. 4, Б).

Краб *Rh. Harrisii tridentatus*, относящийся к семейству Xanthidae, отличается следующими признаками. Лобный край карапакса широкий, гладкий,

с небольшой срединной выемкой. Рострум отсутствует. Боковые края карапакса вооружены тремя зубцами. Клешни короткие, мощно развитые, правая клешня обычно больше левой, но встречаются и обратные соотношения. Абдомен самки состоит из семи свободных сегментов, у самцов третий, четвертый и пятый сегменты слиты в один большой. Длина карапакса 1,7—2,0 см.

Основная форма, *Rh. Harrisii*, обитает в солоноватых и пресных водах атлантического побережья Северной Америки. В 70-х годах прошлого столетия краб на судах был пассивно перевезен в Европу, в залив Зейдерзее, где образовал подвида *Rh. Harrisii tridentatus*. В 30-х годах текущего столетия краб был перевезен также судами из Зейдерзее в Черное море, где впервые был обнаружен в Днепровском лимане. В последующие годы он распространился на восток, проник в Азовское море и, после открытия Волго-Донского канала, в Каспийское море. Известен также из слабосоленых водоемов Болгарии и Румынии. В Европе краб встречается исключительно в солоноватых водах, в настоящее время широко распространился по берегам Северного и Балтийского (до Вислинского залива) морей.

### 3. *Rapana* (рис. 4, В).

Дальневосточная рапана, *R. Thomasiana*, относящаяся к семейству пурпурных моллюсков Muricidae, обладает крупной толстостенной раковиной, с большим последним оборотом и тупозубчатыми спиральными ребрами. Внутренняя поверхность раковины окрашена в красивый оранжево-розовый цвет. Высота раковины достигает 12 см.

Основное местообитание рапаны находится в Японском море, где она встречается в прибрежных заливах и бухтах в воде пониженной солености. В послевоенные годы океанскими судами рапана была пассивно перевезена в Черное море. Впервые была обнаружена в 1947 г. в Новороссийской бухте. В течение нескольких лет моллюск широко распространился по кавказскому и крымскому побережью. Хищник, в Черном море рапаной уничтожены почти все устричные банки.

## Лабораторная работа № 8

### Адаптации гидробионтов к неблагоприятным факторам среды

*Цель работы:* изучить отличительные особенности покоящихся стадий гидробионтов.

Большинство обитающих в водоемах Беларуси беспозвоночных способны образовывать покоящиеся стадии, благодаря которым водные организмы уходят от неблагоприятного воздействия факторов среды, кроме того, они выполняют важную роль в расселении вида.

**Задание. 1.** Рассмотреть, зарисовать и охарактеризовать покоящиеся стадии гидробионтов: статобласты мшанок, геммулы губок, покоящиеся яйца коловраток. Описать покоящиеся стадии ракушковых рачков и циклопов.

**2.** Перечислить основные отличительные характеристики покоящихся стадий гидробионтов. Рассмотреть и зарисовать эфиппий ветвистоусых.

3. Рассмотреть, зарисовать и охарактеризовать эфиппиум ветвистоусых ракообразных. Отметить на рисунке зоны (А,Б,В,Г,Д).

**Мшанки.** Особи данной систематической группы встречаются практически во всех типах водоемов. Покоящиеся стадии – статобласты (представляют собой многоклеточные комплексы) - образуются в большом количестве, иногда составляя более 70 % всех покоящихся стадий гидробионтов водоемов. Статобласты свободно переносятся по поверхности воды, а также, будучи выброшенными на берег, легко подхватываются ветром и переносятся на большие расстояния, эта их исключительная особенность позволяет мшанкам первыми заселять вновь образованный водоем.

**Губки.** Губки в водоемах представлены пресноводной губкой-бадягой. Колонии губок ведут преимущественно прикрепленный к высшей водной растительности образ жизни, заселяя пересыхающие водоемы с относительно чистой водой. Покоящиеся стадии губок - гемуллы (как и статобласты мшанок представляют собой многоклеточные комплексы) - расселяются точно так же, как и статобласты мшанок.

**Коловратки.** Покоящиеся стадии коловраток в эфиппиальных выбросах встречаются в массе только в водоемах, богатых органикой. Для коловраток характерно размножение, с образованием трех типов яиц. Первый тип – партеногенетически развивающиеся яйца, дающие самок, которые обуславливают увеличение количества коловраток в данном водоеме. Второй тип – яйца, развивающиеся тоже партеногенетически, но дающие самцов, необходимых для образования третьего типа яиц – оплодотворенных (покоящихся). Покоящиеся яйца имеют сложную систему оболочек, защищающих эмбрион от всевозможных неблагоприятных воздействий. Снаружи они покрыты непрозрачной скорлупой с очень разнообразными скульптурными образованиями. В стадии покоя яйца могут переносить промерзание и высыхание.

**Ракушковые рачки.** Наиболее часто в эфиппиальных выбросах встречаются стадии развития, не достигшие максимального для вида размера. При неблагоприятных условиях среды различные рачки смыкают края створки, которые склеиваются по периметру, и в этом состоянии могут пережить неблагоприятные условия и расселяться. Кроме данной покоящейся стадии они могут образовывать и истинно покоящиеся стадии, представляющие овальное яйцо, по размеру не отличающееся от обычного яйца, но имеющие темно-коричневый цвет. Покидая выводковую камеру, яйцо покрывается студенистой оболочкой и в этом состоянии переживает неблагоприятные условия. Ракушковые рачки практически всеядны, при недостатке корма могут просто питаться грунтом, пропуская его сквозь кишечник.

**Циклопы.** Как и раковинные рачки, циклопы имеют два типа покоящихся стадий. Одна из них - это стадия развития, способная при неблагоприятных условиях покрываться слизью, образуя этим подобие кокона. Эта стадия способна переноситься током воды по дну водоема. Для расселения ветром предназначена другая стадия - циста. При неблагоприятных условиях в яйцевом мешке самки одно или несколько яиц интенсивно заполняется белком, что придает им темно-коричневую окраску. После смерти материнской особи все остальные яйца

погибают, а цисты, покрытые тонким слоем загустевшей слизи, остаются неповрежденными, и в этом состоянии способны переносить пересыхание до 10 лет. В эфиппиальных выбросах цисты встречаются довольно редко, что говорит о большем значении в расселении именно личиночной стадии.

**Ветвистоусые ракообразные.** Данная группа гидробионтов по количеству видов в эфиппиальных выбросах представлена наиболее широко (50 - 95 %). Все они имеют только одну покоящуюся стадию - эфиппиум, служащую им как для переживания неблагоприятных условий, так и для расселения.

Отличительные морфологические признаки покоящихся стадий гидробионтов:

1. **Размер и форма** покоящихся стадий гидробионтов является их видовой характеристикой.

2. **Внешние покровы** покоящихся стадий гидробионтов могут служить их отличительными признаками. Покровы можно разделить на несколько характерных групп: ячеистые, бугорчатые, гладкие, несущие выросты. Часто на поверхности одной покоящейся стадии встречаются несколько разных покровов.

3. **Цвет.** Интенсивность окраски покоящихся стадий гидробионтов со временем претерпевают некоторые изменения, а именно: от практически бесцветной (в момент схода эфиппиума с особи), до интенсивной (в момент заполнения воздушных камер и всплытия эфиппиума). Если же покоящиеся стадии лежали на берегу год и более, они просто выцветают на солнце, тем и отличаются от остальных. Наиболее отличается по цвету покоящиеся стадии ветвистоусых рачков - эфиппиумы. В эфиппиуме по цвету выделяются зоны - А, Б, В, Г, Д (рис.1), цветом отличающиеся между собой по интенсивности коричневого цвета, от темно-коричневого, почти черного цвета, до светло-соломенного. Отдельные участки могут иметь матовую поверхность, другие - ровную блестящую. Пигментация эфиппиума имеет назначение только в задержке падающего света, чем обеспечивается дополнительный нагрев яйца.

4. **Базисные зоны, точки.** Базисные зоны (характерные участки) большей частью отличимые на эфиппиумах - покоящихся стадиях ветвистоусых рачков (рис 1). Базисные точки выделены для того, чтобы иметь возможность различать эфиппиумы разных видов при их одинаковых размерах. Например у *Daphnia Pulex* расстояние от А до Б, равно расстоянию от Б до Е, у других видов рода *Daphnia* эти расстояния не равны.

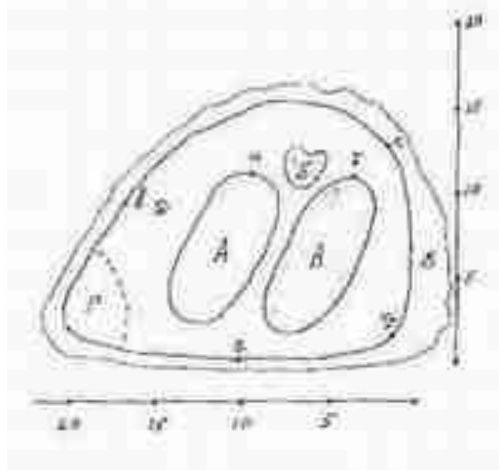


Рис. 1. Эфиппиум ветвистоусых ракообразных

Зона А - пигментное пятно, находящееся в оболочке эфиппиума, снаружи покрывающее яйцо. У разных видов от одного до двух. Может отличаться морфологически от остальных структур.

Зона Б - пигментное пятно, под покровом которого находится воздушная камера, укутывающая изнутри зимовальное яйцо. Присутствует у большинства видов, но только у некоторых несет в себе пигмент.

Зона В - кайма, образующаяся от склеивания створок. При длительном нахождении эфиппиума на берегу обламывается. Отличается морфологически.

Зона Г - находится на задней стороне эфиппиума может отличаться от зоны Д цветом.

Зона Д - по площади занимает большую часть эфиппиума, отличается как по цвету, так и морфологически от остальных структур.

## Лабораторная работа №9

### 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. Фиксированный в 4-% формалине препарат личинки *Chaoborus crystallinus*.

**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.

Плавучесть, характерная для представителей планктона, определяется как погружение с наименьшей скоростью.

$$a = \frac{b}{c \times d};$$

где а – скорость погружения, b – остаточная масса (масса между массами организма и вытесненной им воды), с – вязкость воды, d - сопротивление формы.

Из этой формулы следует, что организмы могут увеличивать плавучесть, уменьшая остаточную массу и повышая трение о воду.

### 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/см<sup>3</sup>, морских – 1,03-1,06 г/см<sup>3</sup>, 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, киленогих). 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**

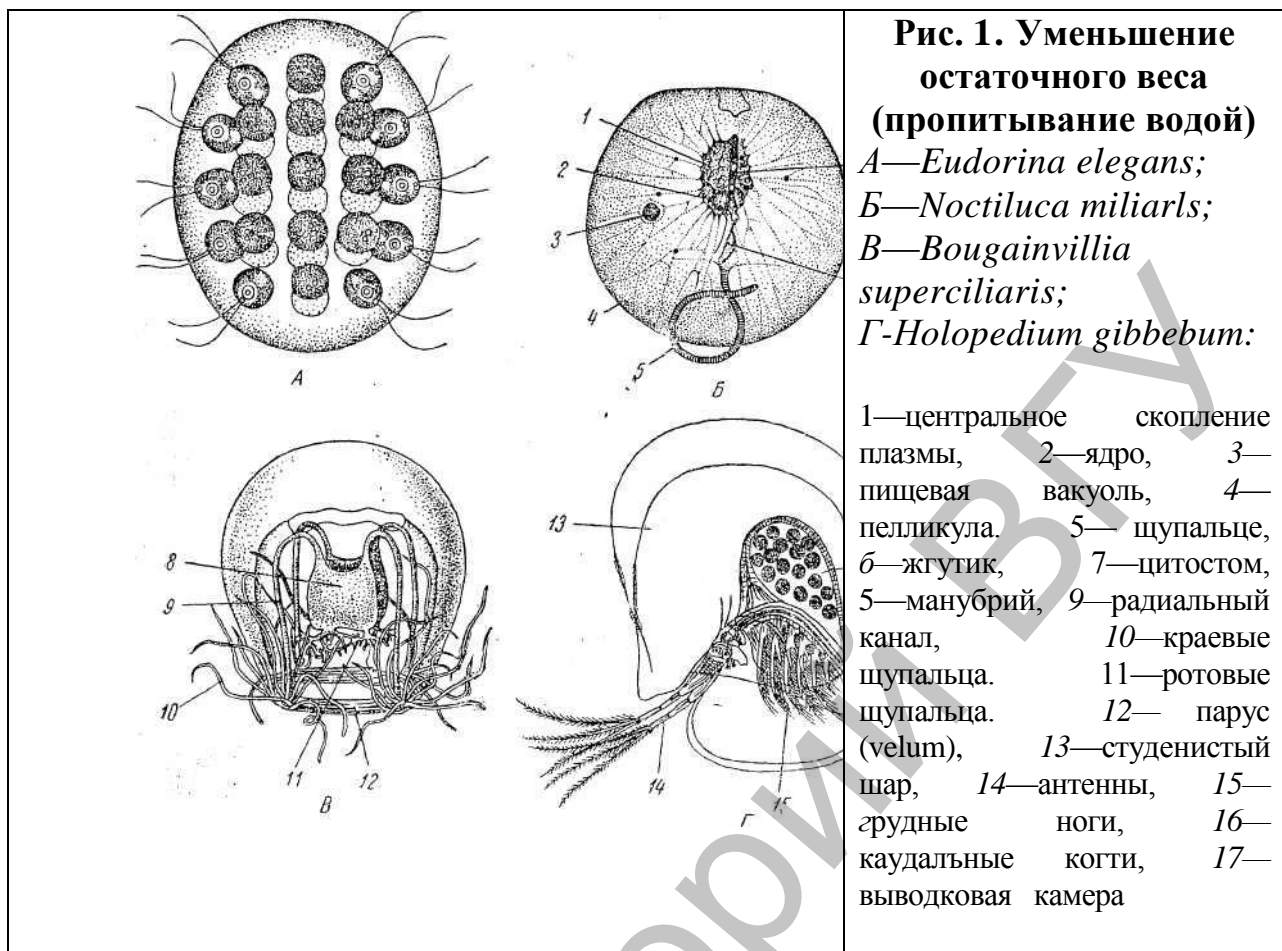
В качестве примеров рассматриваются представители зеленых водорослей (*Eudorina*), динофлагеллат (*Noctiluca*), гидромедуз (*Bougainvillia*), сцифомедуз (*Aurelia*) и кладодер (*Holopeclium*). Различные части тела этих организмов благодаря пропитыванию водой приобретают студенистый характер.

#### **1. *Eudorina* (рис. 1, А)**

Эвдорина часто встречается в пресноводном планктоне, является колониальным организмом. Относится к классу Volvocineae. Клетки заключены в студенистую оболочку, имеющую эллипсоидальную форму. Колония состоит из 32, реже из 16 шаровидных клеток, расположенных кольцеобразными рядами по периферии колонии.

#### **2. *Noctiluca* (рис. 1, Б)**

Ночесветка часто встречается в планктоне морей. Свое название получила от способности светиться под действием механического 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 достигает 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.



### 3. *Bougainvillia* (рис. 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.

### 5. *Holopedium* (рис.11, 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 роstrума. 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.

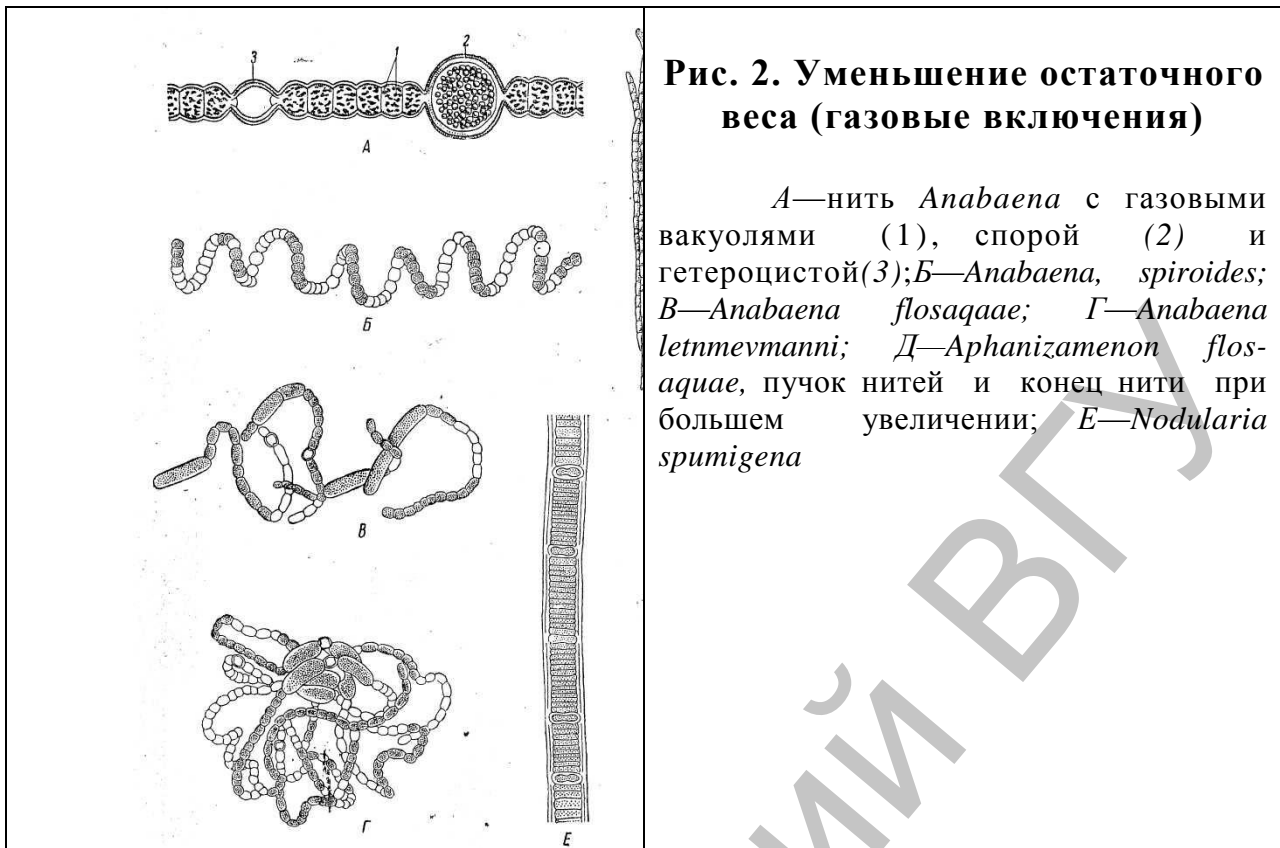
### Газовые включения

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

#### 1. *Anabaena*, *Aphanizomenon* и *Nodularia* (рис. 2)

Рассмотреть газовые включения синезеленых водорослей (Cyanophyceae). Зарисовать нить *Anabaena* с газовыми вакуолями.

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 перемычками (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.



**Рис. 2. Уменьшение остаточного веса (газовые включения)**

A—нить *Anabaena* с газовыми вакуолями (1), спорой (2) и гетероцистой(3); B—*Anabaena spiroides*; C—*Anabaena flosaquaе*; Г—*Anabaena letnmevmani*; Д—*Aphanizamenon flosaquaе*, пучок нитей и конец нити при большем увеличении; E—*Nodularia spumigena*

### Личинка *Chaoborus* (рис. 3)

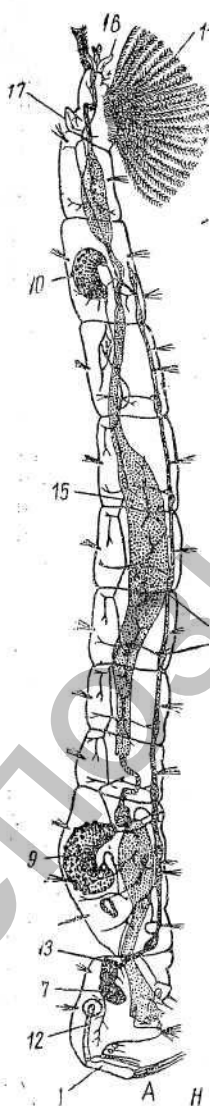
Наряду с газовыми включениями эффективным средством повышения плавучести являются специальные воздушные полости.

Рассмотреть под бинокляром 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 вверх, 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. 3. Уменьшение остаточного веса на примере *Chaoborus crystallinus***

1—антенна, 2—верхняя губа, 3—секретаидные волоски, 4—эпифаринг, 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)

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.

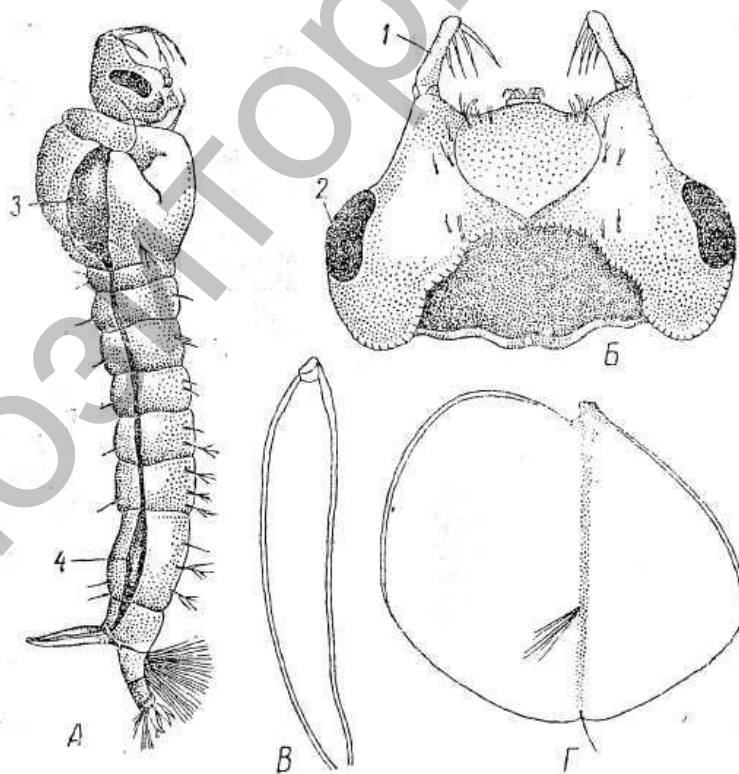


Рис. 4. Уменьшение остаточного веса

А—личинка *Mochlonux culiciformis*; В- голова личинки; В, Г—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 hebetata* 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 развитию 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.

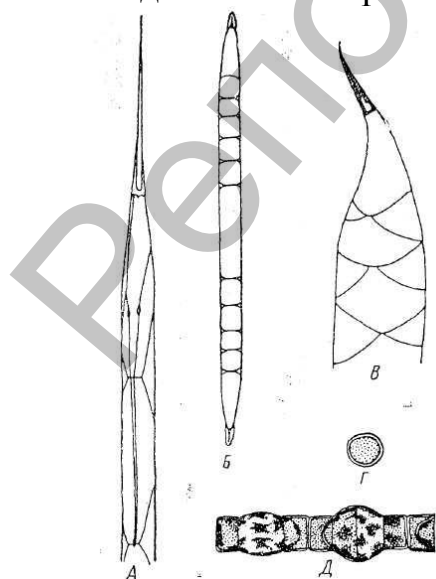


Рис. 5. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)

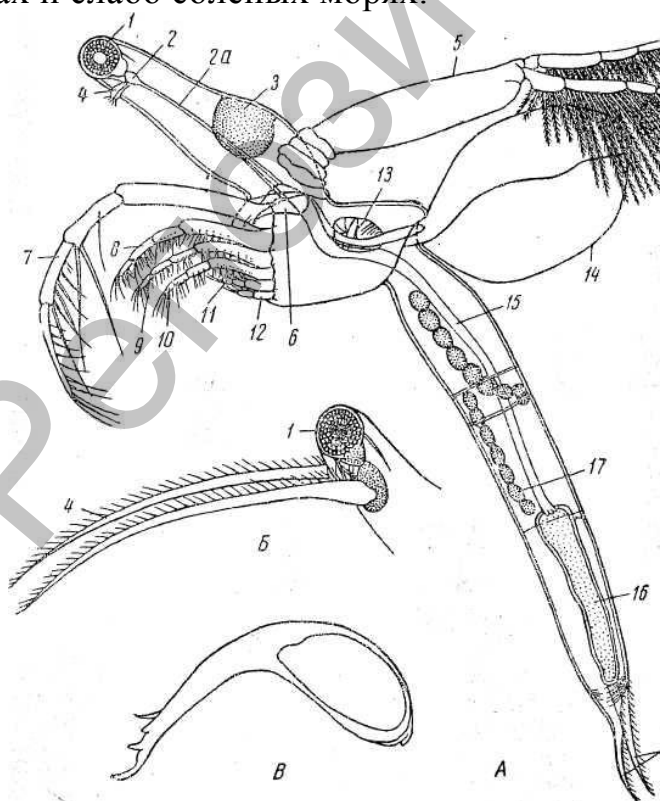
A—*Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*, конец клетки; Б—*Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis*; В—*Rhizosolenia calcar-avis*; Г, Д—*Melosira Islandica*, вид со створки (Г) и с пояска (Д).

*Рассмотреть и описать особенности строения Leptodora Rindni uSagitta elegans*

*Leptodora* (рис.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 (хеморецепторы). Антенны являются мощным органом движения, внутри них видна сильно развитая мускулатура. Они состоят из большого основного членика и двух четырехчленистых ветвей (эндоподита и экзоподита), 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.



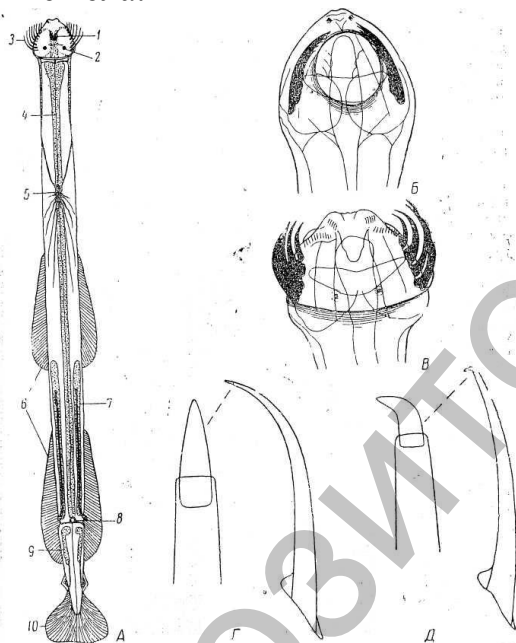
**Рис. 6. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)**

*Leptodora kindti*.

А. 1—глаз, 2—головной мозг, 2-а—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 планктический 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. 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. 7. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)**

А—*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 диато-мей (*Coscinodiscus*, *Asterionella*, *Tabellaria*) и зеленых водорослей (*Pediastrum*).

#### 1. *Coscinodiscus* и *Cyclotella* (рис. 8, А —3)

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 рассматривании со стороны створки имеют вид кружков с сетчатой или ячеистой 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.

## 2. *Asterionella* (рис. 8, И)

К числу самых распространенных диатомей наших пресноводных водоемов относятся колониальные *Asterionella*, входящие в группу Pennatae. Удлиненные клетки, лишенные 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.

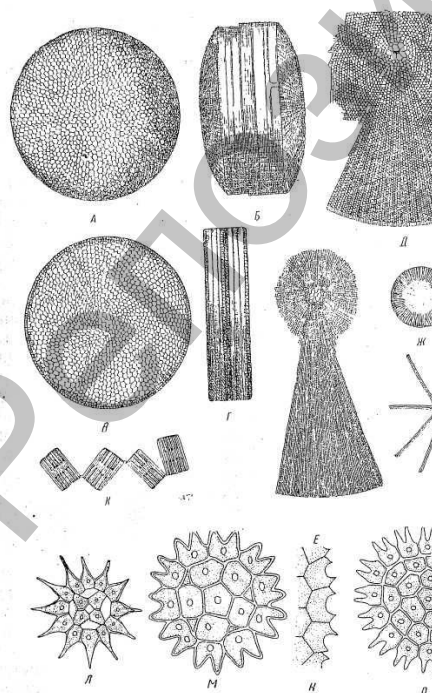
Два вида *Asterionella* различаются между собой по способу соединения клеток в колонии. Клетки *A. gracillima* соприкасаются только в одной точке, а у *A. formosa* — небольшими плоскостями.

## 3. *Tabellaria* (рис. 8, К)

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

## 4. *Pediastrum* (рис. 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.



**Рис. 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*.



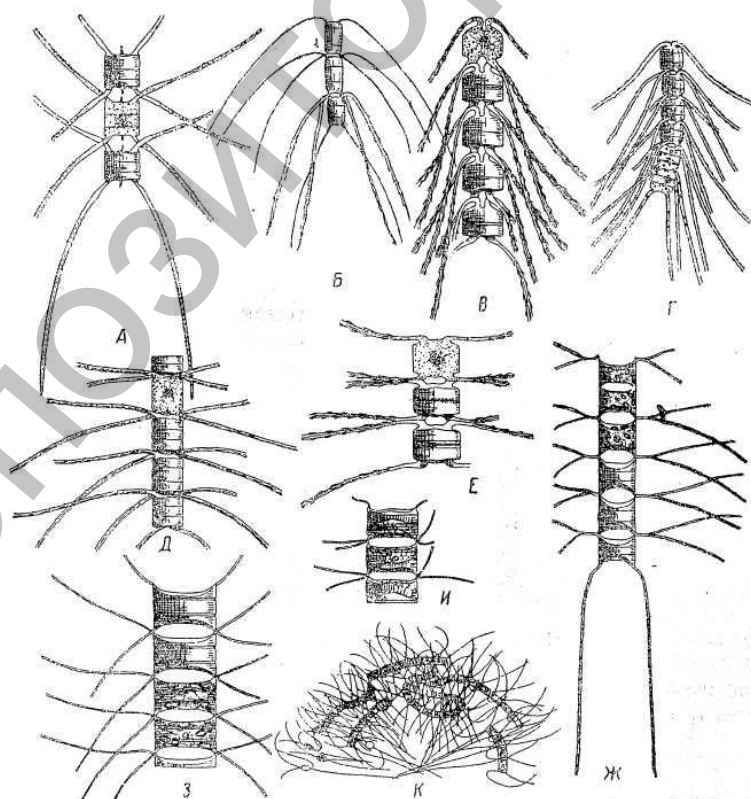
## Образование выростов

**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*).

### 1. *Chaetoceros* (рис. 9)

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.



**Рис. 9. Увеличение сопротивления формы (образование выростов)**

А—*Chaetoceros aillanticus*; Б—*Chaetoceros compressus*; В—*Chaetoceros concavicornis*; Г—*Chaetoceros convolutus*; Д—*Chaetoceros densus*; Е— *Chaetoceros b or calls*; Ж—*Chaetoceros declpiens*; З—*Chaetoceros mitr'a*; И— *Chaetoceros subsecundus*; К—*Chaetoceros soclalis*

## 2. *Ceratium* (рис. 10)

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.

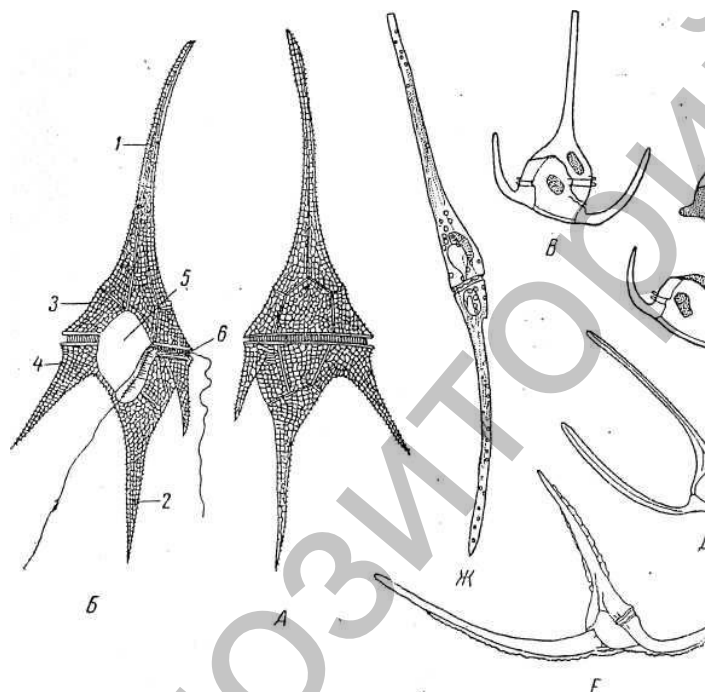


Рис. 10. Увеличение сопротивления формы (образование выростов)

А, Б—*Ceratiuni hinindinella*, со спинной стороны (А) и с брюшной стороны (Б); В, Г—*Ceratiuni tripos*, в начале деления (В) и после расхождения половин клетки (Г); Д—*Ceratiuni longipes*; Е—*Ceratiuni arcticum*; Ж—*Ceratiuni fusus*: 1 — апикальный рог, 2 — антапикальный рог, 3 — эпитека, 4 — гипотека, 5 — продольная борозда, 6 — поперечная борозда.

## 3. *Bythotrephes* (рис. 11)

*Bythotrephes* относится 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.

### 5. Личинки *Porcellana* (рис. 12, 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.

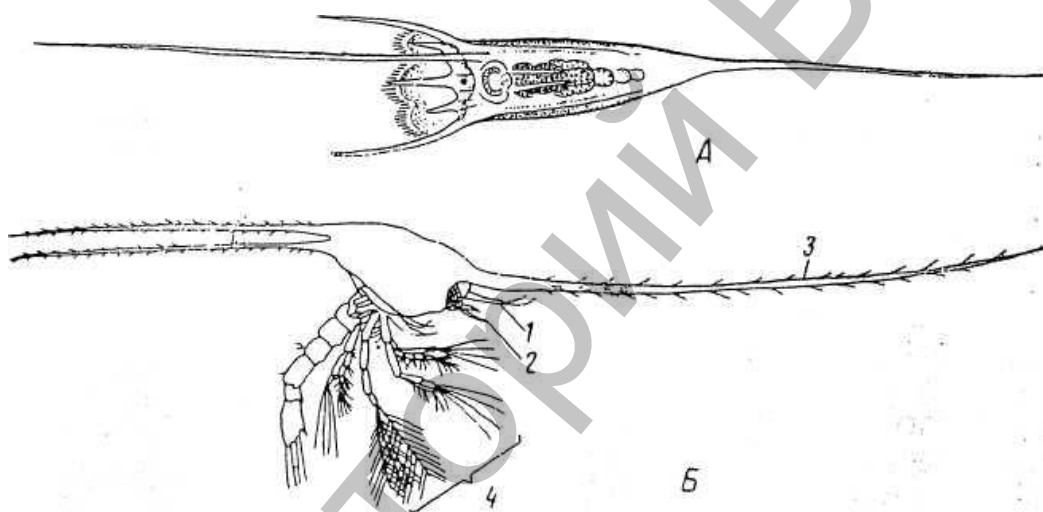


Рис. 12. Увеличение сопротивления формы.

А-*Notholca longispina*; Б-личинка краба *Porcellana*:

1-антеннула, 2 - антенна, 3-рострум, 4-максиллярные ноги

### Лабораторная работа № 10

Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации

## на примере представителей подотряда Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – Daphnia

*Цель работы:* познакомиться с особенностями процесса фильтрации представителей подотряда Cladocera.

**Задание: 1.** Изучить строение и работу фильтрационного аппарата Daphnia, ответить на вопросы:

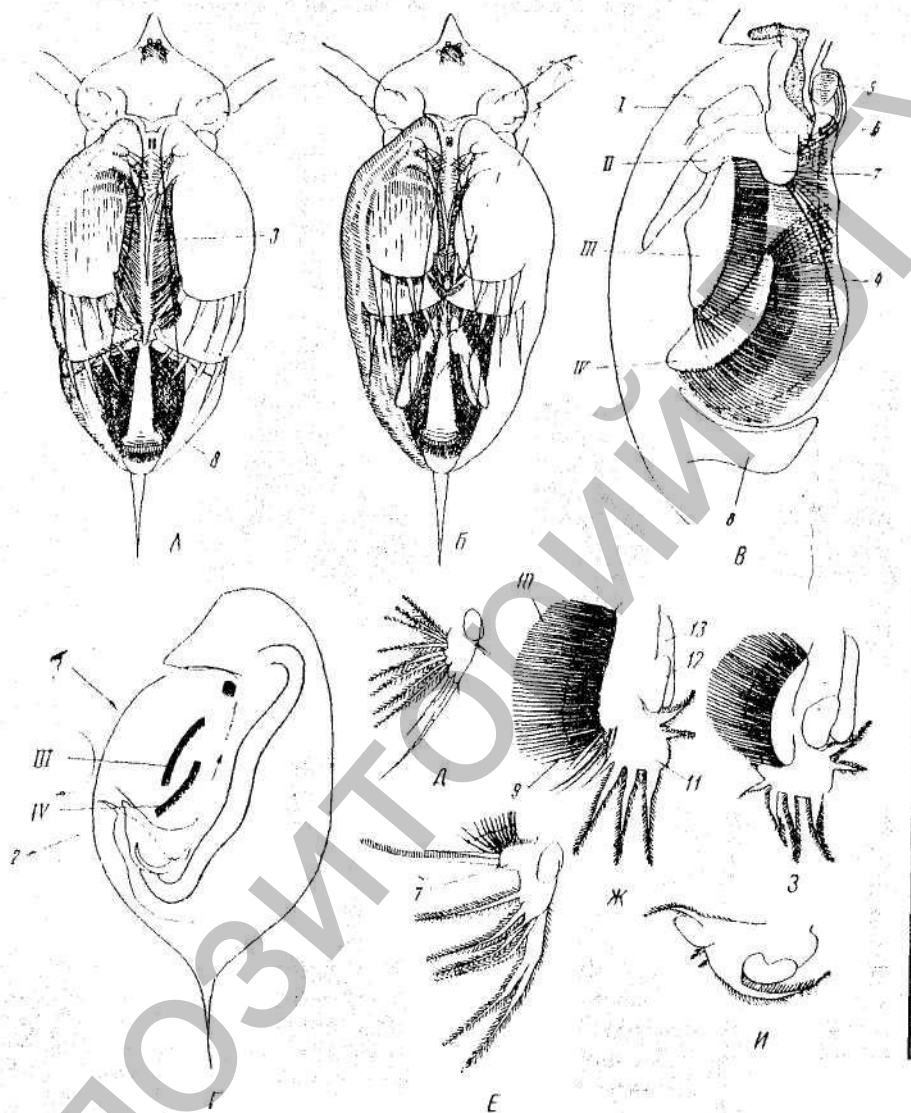
1. Особенности строения первой пары конечностей.
2. Особенности строения второй пары конечностей: функции щетинок максиллярного выроста.
3. Особенности строения 3 и 4 пар ног: сходства и различия. Функции гребня щетинок.
4. Строение и функции 5 пары конечностей.
5. За счет чего осуществляется процеживание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

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. Внутренний край ног первой пары разделен на пять снабженных длинными щетинками лопастей; из которых первые три соответствуют эндитам, а два последних эндоподиту и эксоподиту типичной ноги жаброногих раков; кроме того, имеется эпиподит, являющийся жаберной пластинкой. Ноги второй пары характерного строения; на удлиненном 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 эксоподитом 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 эддита; в естественном положении этот гребень отогнут под острым углом к плоскости самой ноги: остальные эндиты, слабо



**Рис. 1. Питание фильтратов.**

*Daphnia*. А – фаза абдукции; Б – аддукции; В – 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.

выраженные и снабженные небольшим количеством щетинок. Находятся у дистадьного (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 четвертом пары в общем сходны с ногами третьей пары,

отличаясь, 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 полосками преэпиподит и две боковые щетинки экзоподита; с нижней стороны всасывательная камера закрыта хорошо развитой пластинкой экзоподита, кончающейся оперенными щетинками. Пространство между экзоподитом и фильтрационной решеткой закрывается во всасывательных камерах третьей пар щетинками рудиментарных эндитов ног третьей пары, а в четвертых всасывательных камерах - направленным внутрь выростом, экзоподитов 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 аддукции эксоподиты ног четвертой пары 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 № 11**

#### **Продуктивность популяции донного сообщества (по А.Ф. Алимову)**

*Цель работы:* приобрести навыки оценки продуктивности популяции донного сообщества по предложенному алгоритму.

*Контрольные вопросы:*

1. Методы расчета вторичной продукции.
2. Факторы, оказывающие влияние на величину вторичной продукции.
3. Продукция различных групп гетеротрофов в водных экосистемах.

*Оборудование и материалы:* линейки, калькуляторы, бумага, словарь видового состава с указанием трофического статуса, коэффициентов  $a$  и  $b$ .

#### **Алгоритм расчетов**

Пример расчета по *Sphaerium sueticum* (см. табл. 1).

**1. Индивидуальная масса особи *i*-го вида в граммах сырой массы:**

$$W_i = B_i / N_i, \text{ г/особь}, \quad (1)$$

где  $B_i$  - биомасса *i*-го вида (см. табл. 1);  $N_i$  - численность *i*-го вида (см. табл. 1).

$$W_i = 8000/160 = 50 \text{ мг/особь} = 0,05 \text{ г/особь}.$$

**2. Скорость потребления кислорода особью *i*-го вида:**

$$Q_i = a \cdot W_i^b, \text{ мгО}_2/\text{ч}, \quad (2)$$

где  $W_i$  из (1);  $a$  и  $b$  из словаря видового состава.

$$Q_i = 0,129 \cdot 0,05^{0,895} = 0,0088 \text{ мгО}_2/\text{ч}.$$

**3. Индивидуальные траты на обмен:**

$$R_i = Q \cdot 3,38 \cdot 24/q, \text{ кал/сут}, \quad (3)$$

$$q = 2,25^{0,1(20-t)} = 1,57$$

$$R_i = 0,0088 \cdot 3,38 \cdot 24/1,57 = 0,456 \text{ кал/сут}.$$

**4. Траты на обмен всей популяции *j*-го вида:**

$$R_j = R_i \cdot N_j, \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (4)$$

где  $R_i$  из (3);  $N_j$  из табл. 1.

$$R_j = 0,456 \cdot 160 = 73,03 \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

**5. Продукция популяции *j*-го вида:**

$$P_j = K / (1 - K_2) \cdot R_j, \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (5)$$

где  $R_j$  из (4);  $K_2$  из таблиц видового состава для *j*-го вида.

$$P_j = 73,03 \cdot 0,26 / (1 - 0,26) = 25,66 \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

**6. Рацион питания мирных ( $C_m$ ) и хищных ( $C_x$ ) животных донного сообщества:**

$$C_{jm} = (R_{jm} + P_{jm}) \cdot 1,66, \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (6)$$

$$C_{jx} = (R_{jx} + P_{jx}) \cdot 1,25, \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (7)$$

где  $R_{jm}, P_{jm}$  — для мирных животных;  $R_{jx}, P_{jx}$  - для хищных животных; 1,66 и 1,25 из табл. 1.

$$C_j = (73,03 + 25,66) \cdot 1,66 = 163,8 \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}) = 163,8 \cdot 4,19 \text{ Дж} = 686,4 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

**7. Энергетические траты на обмен всего донного сообщества:**

$$R_c = \sum_{i=1}^n R_i, \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (8)$$

$R_j$  из (4).

**8. Реальная продукция зообентоса по (8):**

$$P_c = P_m + P_x - (C_{jxo} + 0,5C_{jxf}), \text{ кал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (9)$$

где  $P_m, P_x$  из (5),  $C_{jxo}, 0,5C_{jxf}$  из (7)

**9. Величины энергетического бюджета зообентосного сообщества по (8) и (9)**



переводятся в эквивалентные величины - Дж (1 кал = 4,19 Дж).  
 Величины, рассчитанные по п. 1-8, заносят в табл. 2.

Таблица 1. Исходные данные к расчету продукции зообентоса  
 (Водоем "К",  $t = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $H = 10$  м, июль 1996 г.)

Вид (i)	Способ питания	Численность ( $N_i$ ), экз./м <sup>2</sup>	Биомасса ( $B_i$ ), мг/м <sup>2</sup>	Коэффициент		$K_2$
				a	b	
<i>Sphaerium sueticum</i>	Мирный	160	8000,0	0,129	0,75	0,26
<i>Ephemera lineata</i>	Мирный	120	312,0	0,235	0,78	0,40
<i>Chironomus plumosus</i>	Факультативно-хищный	1320	2776,0	0,126	0,75	0,40
<i>Stylaria lacustris</i>	Мирный	80	12,0	0,105	0,75	0,30
<i>Berosus luriduse</i>	Облигатно-хищный	40	120,0	0,159	0,75	0,30

Таблица 2. Расчетные величины показателей энергетического бюджета зообентосного сообщества (водоем К,  $t = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $q = 2,25^{0,1(20-15)} = 1,57$ ,  $H = 10$  м)

Вид (j)	$W_i$ , г/особь по (1)	$Q_i$ , мгО <sub>2</sub> /ч по (2)	$R_i$ , кал/сут по ( )	$R_j$ , кал/(м <sup>2</sup> · сут), по ( )	$P_j$ , кал/(м <sup>2</sup> · сут), по ( )	$C_j$ , кал/(м <sup>2</sup> · сут), по ( )	$R_c$ , кал/(м <sup>2</sup> · сут), (Дж /м <sup>2</sup> ·сут)) по ( )	$P_c$ , кал/(м <sup>2</sup> · сут), (Дж/м <sup>2</sup> · сут)) по ( )
<i>Sphaerium sueticum</i>	0,05	0,008	0,456	73,03	25,66	163,8		

**Задание.** 1. Самостоятельно рассчитать продукцию популяций донного сообщества по одному из примеров для индивидуальной работы (Табл. 3). 2. Подготовить отчет о выполненной работе со всеми таблицами и выводами.

Таблица 3. Варианты примеров для индивидуальной работы

Вид (i)	Численность ( $N_i$ ), экз./м <sup>2</sup>	Биомасса ( $B_i$ ), мг/ м <sup>2</sup>
<i>Ст. 1, H = 10 м, t = 17 °C</i>		
<i>Harnischia fuscimana</i>	40	100,0
<i>Pentapedilum exectum</i>	2720	1500,0
<i>Procladius ferrungineus</i>	600	356,0
<i>Nais bretscheri</i>	80	24,0
<i>Euglesa obtusalis</i>	40	220,0
<i>Ст. 2, H = 18 м, t = 10 °C</i>		
<i>Uncinaiis uncinata</i>	40	4,0
<i>Ephemera lineata</i>	40	8,0
<i>Tanytarsus bathophilus</i>	400	220,0

<i>Chloroperla apicalis</i>	480	120,0
<i>Tanytus punctipennis</i>	160	134,0
<i>Ст. 3, H = 30 м, t = 9°C</i>		
<i>Tubifex tubifex</i>	3640	956,0
<i>Procladius ferrungineus</i>	120	210,0
<i>Cryptochironomus defectus</i>	40	108,0
<i>Nematoda, sp</i>	160	12,0
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	320	572,0

### Лабораторная работа № 12 Оценка качества воды по биотическому индексу (метод Вудивисса)

*Цель работы:* приобрести навыки определения класса чистоты воды по показателям макрозообентоса с использованием биотического индекса.

*Материалы и оборудование:* фиксированная проба макрозообентоса, бинокляр, пинцет.

**Задание 1.** Произвести качественную обработку пробы организмов макрозообентоса: определить видовой состав и основные индикаторные группы организмов (Табл. 1).

Определение класса чистоты воды производится по таблице 1, в которой показана наиболее часто наблюдаемая последовательность исчезновения животных из биоценозов по мере увеличения загрязнения: в столбце № 3 выбирают нужную строку в зависимости от обнаруженных индикаторных организмов; в столбце № 4 выбирают обнаруженное количество «групп» гидробионтов. На пересечении выбранной строки и столбца получают биотический индекс, выражаемый количественно в баллах.

После оценки данных по методу Вудивисса и получении определенного значения биотического индекса, производят оценку класса качества воды по таблице 2.

*Таблица 1. Биотический индекс р.Трент*

Чис- тая вода	Наличие индикаторных групп	Количество видов индикаторных групп	Биотический индекс по наличию общего числа групп <sup>3</sup>				
			0-1	2-5	6-10	11- 15	16+
Организмы, которые имеют тенденцию исчезать при повышении уровня загрязнения	Личинки веснянок имеются	Больше одного вида Только один вид	-	7	8	9	1
	Личинки поденок имеются	Больше одного вида <sup>1</sup> Только один вид <sup>1</sup>	-	6	7	8	0 9
	Личинки ручейников имеются	Больше одного вида <sup>2</sup> Только один вид <sup>2</sup>	-	5	6	7	8
	Гаммарус имеются	Все вышеуказанные виды отсутствуют	4	5	6 5	6	8
	Asellus имеются	То же	3	4	5	6	7
	Тубифициды и (или) личинки мотыля имеются	То же	2	4	5	6	7
	Все вышеуказанные типы отсутствуют	Возможно наличие некоторых организмов, не требующих растворенного кислорода, например Eristalis	1	3	3	4	6
				2			-
			0		2	-	-
				1			

Примечание:

<sup>1</sup>За исключением *Baetis rhodani*.

<sup>2</sup>*Baetis rhodani* (поденка) включается только для классификации.

<sup>3</sup>Понятие «группа» определяет границы определения, достигаемые без трудоемких таксономических исследований.

Эти группы следующие:

Все известные виды плоских червей (*Plathelminthes*).

Черви (*Annelida*) (исключая род *Nais*).

Род *Nais* (черви).

Все известные виды пиявок (*Hirudinea*).

Все известные виды моллюск (*Mollusca*).

Все известные виды ракообразных (креветки).

Все известные виды веснянок (*Plecoptera*).

Все известные виды поденок (*Ephemeroptera*) исключая *Baetis rhodani*.

Поденка *Baetis rhodani*.

Все семейства ручейников (*Trichoptera*).

Все виды личинок вислокрылок (*Megaloptera*).

Семейство *Chironomidae* (личинки звонцов), кроме *Chironomus Ch.thummi*.

Личинки комаров-дергунов (*Chironomus Ch. thummi*).

Семейство *Simulidae* (личинки мошек).

Все известные виды других личинок мух.

Все известные виды *Coleoptera* (жуки и их личинки).

Все известные виды водяных клещей (*Hydracarnia*).

Все известные виды клопов (*Hemiptera*).

Таблица 2. Класс качества воды по биотическому индексу

Класс качества воды	Степень загрязнения	Биотический индекс по Вудивиссу
I	Очень чистые	10
II	Чистые	7-9
III	Умеренно-загрязненные	5-6
IV	Загрязненные	4
V	Грязные	2-3
VI	Очень грязные	0-1

### Лабораторная работа № 13

#### 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. 1,2).

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.

2) **Рассчитать скорость самоочищения водоемов.** Данный показатель отражает уменьшение концентрации органического вещества за единицу времени.

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

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.

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

## Литература

1. *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию. -Л.: Гидрометеиздат - 1989. -151 с.
2. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
3. *Гигевич Г.С.* Высшие водные растения Беларуси: Эколого – биологическая характеристика, использование и охрана / Общ. Ред.Гигевич Г.С. – Мн.: БГУ, 2001. -231с.
4. Зоопланктон и его продукция: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. -Л.: ЗИН АН СССР, ГОСНИОРХ. -1984. -33 с.
5. *Константинов А.С.* Общая гидробиология. М.: Высш. шк. -1986. -427 с.
6. *Ремесленникова М.Е.* Общая гидрология: лабораторный практикум/ М.Е. Ремесленникова –Могилев: МГУ им. А.А.Кулешова. -2005. -62с.
7. *Романенко В.Д.* Основы гидроэкологии: Учебн. Для студентов высших учебных заведений. –К.: Генеза -2004. -664с.
8. *Яшинов В.А.* Практикум по гидробиологии. –М.: «Высш. шк.» -1969. -265с.