

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

*Е. А. Алексеева*

# **ГИДРОБИОЛОГИЯ**

*Методические указания*

*Электронное издание*

Красноярск 2022

## *Рецензент*

*Е.А. Козина, канд. биол. наук, доцент кафедры зоотехнии  
и технологии переработки продуктов животноводства*

**Алексеева, Е.А.**

**Гидробиология** [Электронный ресурс]: методические указания / Е.А. Алексеева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. – 57 с.

Методические указания по дисциплине «Гидробиология» рассматривают общие вопросы гидробиологии, основные понятия гидросферы гидрологии, а также факторы водных экосистем. Важное место занимает изучение жизненных форм гидробионтов и их жизнедеятельности как в отдельных популяциях, так и в гидробиоценозах. Данные указания возможно использовать в проведении научных исследований студентов, а также для подготовки выпускной квалификационной работы.

Предназначено для студентов по направлениям подготовки 06.03.01 – Биология, 36.03.02 – Зоотехния, очной и заочной форм обучения для выполнения лабораторных занятий и самостоятельной работы.

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Красноярского государственного аграрного университета

© Алексеева Е.А., 2022

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный  
аграрный университет», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Занятие 1. Мировой океан: экологическое строение .....	5
Занятие 2. Гидрология рек .....	5
Занятие 3. Морфология и морфометрия озер.....	8
Занятие 4. Распределение температуры воды в озере по вертикали ..	11
Занятие 5. Влияние факторов среды на гидробионтов .....	16
Занятие 6. Определение качества воды в пресном водоеме по видовому разнообразию макрофитов .....	19
Занятие 7. Определение качества воды в водоеме по видовому разнообразию зообентоса .....	22
Занятие 8. Деление водных организмов в зависимости от происхождения .....	26
Занятие 9. Адаптации планктонных организмов к обитанию в толще воды.....	29
Занятие 10. Оценка трофности водоема .....	32
Занятие 11. Спектр питания гидробионтов .....	35
Занятие 12. Численность и биомасса зообентоса .....	37
Занятие 13. Сбор и обработка зоопланктона.....	40
Занятие 14. Виды доминанты в составе биоценоза .....	42
Занятие 15. Интерпретация гидробиологических данных .....	44
Занятие 16. Пищевые цепи .....	46
Занятие 17. Система гидробиологического мониторинга РФ .....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	54
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	55
Приложение А .....	55
Приложение Б .....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Гидробиология изучает надорганизменные системы (популяции и виды в целом, биоценозы, экосистемы), но в рамках популяционных и синэкологических исследований могут проводиться исследования и на отдельных, определенных организмах или выборках из популяций. Гидробиология может быть связана практически со всеми естественными науками, прежде всего биологическими и науками о Земле. Гидробиологические исследования ведутся вместе с физическими, химическими, географическими, на стыке наук возникают новые науки и научные теоретические и прикладные направления.

Цель дисциплины «Гидробиология» – формирование знаний о населении водной среды, о взаимоотношении его с условиями обитания, значении для процессов трансформации энергии и вещества и о биологической продуктивности океана, морей и внутренних вод.

Задачи дисциплины:

- изучить особенности структуры и функционирования водных экосистем, обусловленные совокупностью организмов и неживых компонентов, связанных потоками вещества и энергии;
- освоить методы и приемы лабораторно-экспериментальных полевых и гидробиологических исследований.

Методические указания подготовлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Гидробиология».

## Занятие 1. Мировой океан: экологическое строение

**Цель занятия** – ознакомиться с экологическими зонами Мирового океана.

В экологическом плане акваторию Мирового океана разделяют на две основные экологические зоны: дно – бенталь и пелагиаль – водная толща. В зависимости от глубины бенталь делится на сублиторальную зону – область плавного понижения суши до глубины примерно 200 м, батимальную – область крутого склона и абиссальную зону – область океанического ложа со средней глубиной 3-6 км. Еще более глубокие области бентали, соответствующие впадинам океанического ложа, называют ультраабиссалью. Кромка берега, заливаемая во время приливов, называется литоралью. Выше уровня приливов часть берега, увлажняемая брызгами прибоя, получила название супралиторали.

**Задание 1.1.** Зарисуйте схему экологических зон Мирового океана (рис. 1). Дать определения названиям экологических зон.

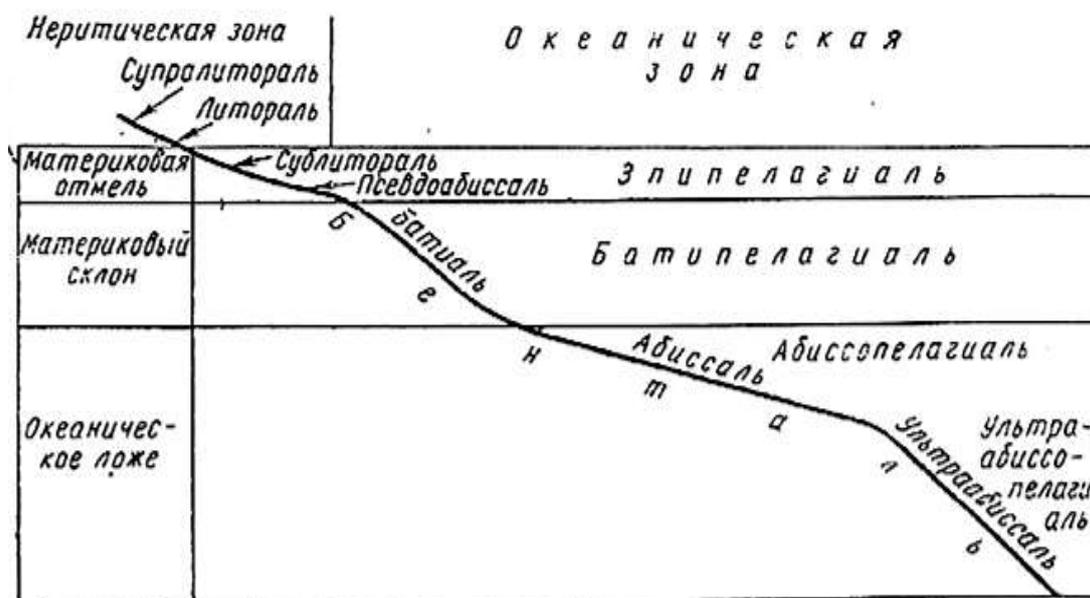


Рисунок 1 – Экологические зоны Мирового океана

## Занятие 2. Гидрология рек

**Цель занятия** – изучить типы и морфологию рек, морфометрические характеристики бассейна реки.

*Река* – это водоток сравнительно крупных размеров, питающийся чаще всего атмосферными осадками, стекающими с водосбора, и имеющий четко выраженное, сформированное самим потоком русло. К рекам обычно относят лишь водотоки с площадью бассейна не менее  $50 \text{ км}^2$ . Водотоки меньшего размера называют *ручьями*.

Реки, как правило, *постоянные водотоки*, текущие в течение всего года.

**Морфометрические характеристики бассейна реки.** Основными морфометрическими характеристиками речного бассейна (рис. 2) служат площадь бассейна  $F$ , длина бассейна  $L_b$ , максимальная ширина бассейна  $B_{b_{max}}$ , средняя ширина бассейна  $B_{b_{ср}}$ , средняя высота бассейна  $H_{ср}$ .

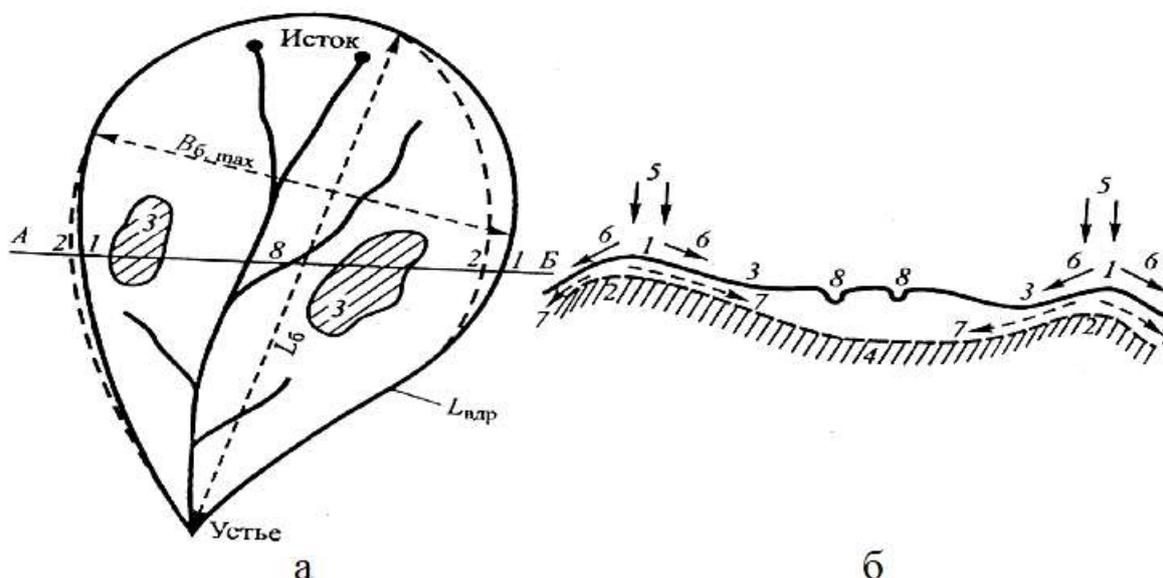


Рисунок 2 – Схема бассейна и водосбора реки в плане (а) и в поперечном разрезе (б) по линии А-Б: 1 – граница бассейна и поверхностного водосбора реки (орографический водораздел); 2 – граница подземного водосбора (подземный водораздел); 3 – бессточные области, не входящие в водосбор реки; 4 – водоупор; 5 – осадки; 6 – поверхностный сток; 7 – подземный сток; 8 – русла рек

Простой способ определения площади бассейна – это использование палетки. Палетка – прозрачная пластина с сеткой квадратов. Накладывая палетку на бассейн реки на карте, считают сначала целые квадратики, затем неполные с оценкой на глаз в десятых долях квадратики. Если площадь квадратики  $0,25 \text{ см}^2$ , то при масштабе  $1:500000$  ( $1 \text{ см}=500000 \text{ см}$ , т.е.  $1 \text{ см}=5 \text{ км}$ ) каждый квадратик палетки в данном масштабе карты будет равен  $6,25 \text{ км}^2$  ( $2,5 \text{ км} \times 2,5 \text{ км}$ ), а  $1 \text{ см}^2$  –  $25 \text{ км}^2$ .

Длина бассейна  $L_b$ , обычно определяемая как прямая, соединяющая устье реки и точку на водоразделе, прилегающую к истоку реки.

Максимальная ширина бассейна  $V_{bmax}$ , которая определяется по прямой, нормальной к длине бассейна в наиболее широкой его части.

Средняя ширина бассейна  $V_{бср}$ , вычисляемая по формуле

$$V_{бср} = \frac{F}{L_b}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь речного бассейна;

$L_b$  – длина водораздельной линии (длина бассейна).

**Река и речная сеть.** Для схематического изображения речной системы составляется гидрографическая схема (рис. 3), дающая наглядное представление о том, куда какая река и после какой впадает, и какова ее длина по сравнению с другими реками. При построении гидрографической схемы по горизонтальной линии откладывают в масштабе длину главной реки. Притоки вычерчивают в том же масштабе в виде прямых линий, отходящих от места впадения под некоторым углом (обычно порядка 30-40°) к этой горизонтальной линии. Места впадения притоков определяются по расстоянию от устья главной реки.

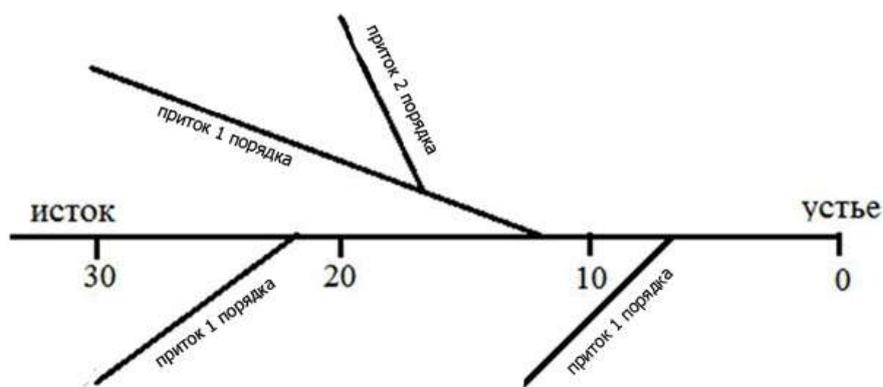


Рисунок 3 – Гидрографическая схема бассейна реки

Длина реки  $L$  – расстояние вдоль русла между истоком и устьем реки. Длины рек обычно определяют по крупномасштабным картам или аэрофотоснимкам (расстояния измеряют по геометрической оси русла или фарватеру). При определении длины рек по мелкомасштабным картам должны вводиться поправки на масштаб и извилистость русла.

**Задание 2.1.** Соберите общую информацию об одной из рек: Абакан, Кан, Ангара, Мана и их притоках (не менее 5). Найдите морфометрические характеристики реки и ее бассейна, используя данные, размещенные на сайте Государственного водного реестра. Заполните таблицу 1. Постройте гидрографическую схему реки. Сделайте выводы.

Таблица 1 – Морфометрические характеристики реки и ее бассейна

Река и ее притоки	Берег, по которому приток впадает в реку (левый, правый)	Длина, км	Бассейн, км <sup>2</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Исток	Устье
Река						
Притоки:						

**Указания:** для ускорения сбора информации в поисковом окне Википедии (<https://ru.wikipedia.org/wiki>) задать название реки, например, «Енисей река». В правом верхнем углу открываемой страницы «Енисей (река)» находятся координаты, показывающие положение устья р. Енисей: 71°49'47" с. ш. 82°42'58" в. д.

Для построения гидрографической схемы реки на сайте Государственного водного реестра (<http://www.textual.ru/gvr/>) заполнить форму поиска. Будут показаны все притоки реки. Нажав на название притока, можно посмотреть, на каком расстоянии от истока и по какому берегу он впадает в главную реку.

**Задание 2.2.** Определите площадь бассейна реки  $F$ , длину бассейна  $L_b$ , максимальную ширину бассейна  $B_{max}$  и среднюю ширину бассейна  $B_{ср}$ , используя карту с указанным масштабом. За длину бассейна приближенно примите расстояние между устьем реки и точку на водоразделе, прилегающую к истоку реки.

### Занятие 3. Морфология и морфометрия озер

**Цель занятия** – изучить экологические зоны бентали и пелагиали озер, морфометрические характеристики озер.

*Озеро* – естественный водоем суши с замедленным водообменом. Как правило, озера обладают выработанными под воздействием ветрового волнения берегами. Для образования озера необходимы два условия – наличие естественной котловины, т.е. замкнутого понижения земной поверхности, и находящегося в этой котловине опреде-

ленного объема воды. Разные авторы выделяют разные экологические зоны бентали и пелагиали озер (рис. 4).



Рисунок 4 – Экологические зоны бентали и пелагиали озер:  
 А – по: Зернов, 1949; В – по: Ruthner, 1962; С – по: Хатчинсон, 1969

Основными морфометрическими характеристиками озера служат (рис. 5): площадь озера  $F_{оз}$ ; объем воды в озере  $V_{оз}$ ; длина береговой линии  $L_{бер.л}$ , проведенной по урезу воды; длина озера  $L_{оз}$  – кратчайшее расстояние по поверхности воды вдоль оси озера между наиболее удаленными точками береговой линии; ширина озера  $B_{оз}$  – расстояние между противоположными берегами озера, измеренное по линии, перпендикулярной оси озера в любой его части. Наибольшее значение последней величины называют максимальной шириной озера  $B_{оз.max}$ .

Среднюю ширину озера вычисляют по формуле

$$B_{оз. ср} = \frac{F_{оз}}{L_{оз}}, \quad (2)$$

где  $F_{оз}$  – площадь озера;

$L_{оз}$  – кратчайшее расстояние по поверхности воды вдоль оси озера между наиболее удаленными точками береговой линии.

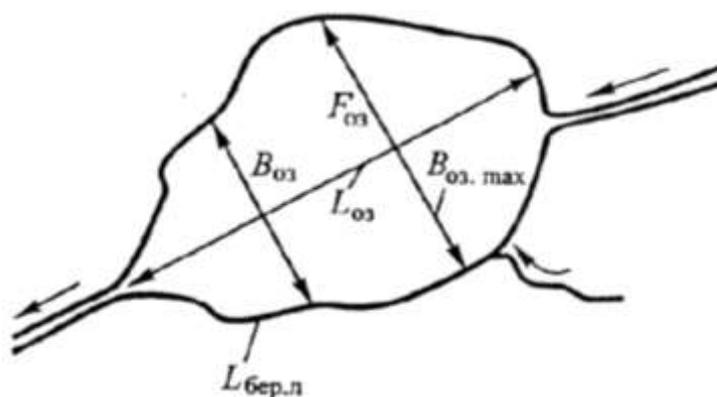


Рисунок 5 – Морфометрические характеристики озера

Важными морфометрическими характеристиками озера являются его глубина  $h_{оз}$  (в разных частях озера она различна), максимальная глубина  $h_{оз.max}$ , средняя глубина  $h_{оз.ср}$ , которая определяется по формуле

$$h_{оз.ср} = \frac{V_{оз}}{F_{оз}}, \quad (3)$$

где  $F_{оз}$  – площадь озера;

$V_{оз}$  – объем воды в озере.

Все перечисленные выше морфометрические характеристики озера зависят от высоты стояния уровня воды в нем или от выбранного в толще воды отсчетного горизонта (или глубины). Наиболее важно знать, как изменяются с изменением уровня (или глубины) такие характеристики, как площадь озера, объем воды в нем, средняя и максимальная глубина.

Показателем водообмена в озере, или интенсивности водообмена (смены) вод в озере, служит так называемый коэффициент условного водообмена ( $Kв$ ) (проточности). Его определяют по формуле

$$Kв = \frac{Vв}{V_{оз}}, \quad (4)$$

где  $Vв$  – объем воды, вытекающий из озера;

$V_{оз}$  – объем воды в озере.

Если составляющие водного баланса озера представлены в  $км^3/год$ , то период условного водообмена (водообновления) ( $T$ ), выраженный в годах, определяют по формуле

$$T = \frac{1}{Kв}. \quad (5)$$

Наиболее общая закономерность, свойственная водообмену озера, следующая: чем меньше объем озера, тем при прочих равных ус-

ловиях коэффициент водообмена больше. Так, у оз. Ильмень  $K_v=1,35$ , т.е. обновление вод в озере происходит в среднем за 0,74 года. У небольших проточных озер на Кольском полуострове  $K_v$  достигает 1000 (вода в среднем обновляется за 0,001 часть года, т.е. почти за 9 ч). У крупных водоемов, таких как оз. Байкал и Каспийское море,  $K_v$  составляет 0,0032 и 0,0049, т.е. время условного обновления вод соответственно равно 312 и 204 годам.

**Задание 3.1.** Зарисуйте схему экологических зон озера (рис. 5). Дайте определения названиям экологических зон.

**Задание 3.2.** Определите основные морфометрические характеристики озера Иссык-Куль, используя карту с масштабом. Сделайте вывод.

**Задание 3.3.** Длина озера Телецкое составляет 77,8 км. Максимальная ширина 5,2 км, минимальная 0,6 км. Площадь озера 223 км<sup>2</sup>, наибольшая глубина 325 м, средняя 174 м. Объем озера 40 км<sup>3</sup>. Сток – 6,76 км<sup>3</sup>. Определите период условного водообмена (водообновления). Сделайте вывод.

#### **Занятие 4. Распределение температуры воды в озере по вертикали**

**Цель занятия** – изучить сезонную динамику распределения температур по вертикали в озерах.

Нагревание водоема происходит в основном от поступающей на поверхность воды солнечной радиации, в соответствии с количеством которой изменяется и температура водной массы. Тепло проникает в глубину в результате конвекции, т. е. путем вертикального перемещения частиц воды в связи с их различной плотностью, а также в результате динамических явлений (волнения, течений). Нагревание и охлаждение глубинных слоев воды в озере путем конвекции происходит в пресных водоемах только в том случае, когда температура верхних слоев воды ниже или выше 4°С (температура наибольшей плотности). При нагревании (в пределах от 0° до 4°С) или охлаждении (при температуре выше 4°С) верхних слоев воды увеличивается их плотность, что приводит к погружению слоев на глубину и замещению более легкими (менее плотными) глубинными слоями воды. Таким образом, возникающая вертикальная конвективная циркуляция обуславливается разной плотностью воды на различных глубинах (табл. 2). Конвективное перемешивание прекращается, когда вся вода

в озере принимает однородную температуру, равную температуре придонного слоя воды, а для неглубоких озер 4°C, такое состояние в озере называется *гомотермией* (рис. 6, кривая 2) и характерно для переходных периодов термического режима – весны и осени.

Таблица 2 – Распределение температуры воды с глубиной в оз. Кривом (Ушачская группа озер, Республика Беларусь)

Глубина (м)	1.03.1972 г.	25.09.1971 г.	29.06.1970 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

При охлаждении воды до температуры ниже 4°C поверхностные слои ее становятся легче нижележащих более теплых и плотных слоев. Поэтому в зимний период, когда водные массы озер содержат наименьшее количество тепла, температура поверхностного слоя воды близка к 0 °С. С глубиной температура увеличивается и у дна большинства водоемов находится в пределах 1,5-4,0°C, а при прогреве от теплоотдачи дна иногда несколько выше 4°C. Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рис. 6, кривая 1).

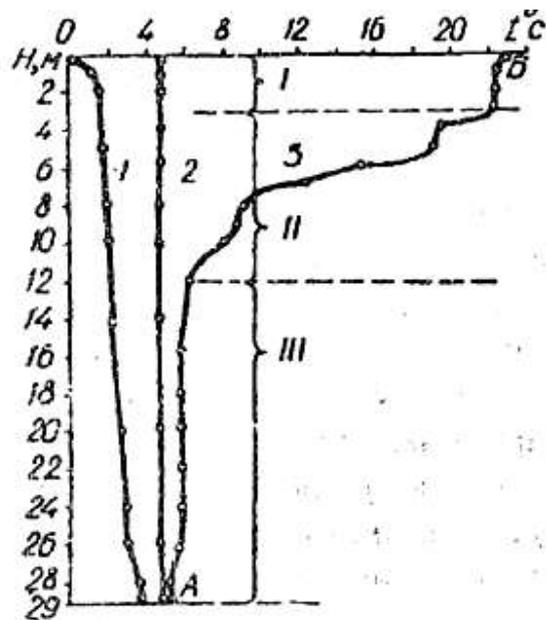


Рисунок 6 – Изменение температуры воды с глубиной в оз. Кривом:  
 1 – 01.03.1972 г.; 2 – 25.09.1971 г.; 3 – 29.06.1970 г.; I – эпилимнион;  
 II – металимнион; III – гиполимнион

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** (см. рис. 6, кривая 3).

В глубоких пресных озерах зоны умеренного климата летом, при прямой термической стратификации, сильно и равномерно нагретый верхний слой воды – **эпилимнион** – подстиляется более холодным глубинным слоем – **гиполимнионом**. Между эпилимнионом и гиполимнионом располагается слой температурного скачка – **металимнион (термоклин)**, в котором температура резко понижается с глубиной (см. рис. 6).

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 гради-

ент температуры в нем зависит от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гипolimниона.

Вертикальный градиент температуры (изменение температуры на 1 м глубины) в слое температурного скачка определяется по формуле

$$\theta\theta = \frac{T_{max} - T_{min}}{H_{max} - H_{min}}, \quad (6)$$

где  $\theta$  – вертикальный градиент температуры;

$T_{max}$  – наибольшая температура в слое металимниона, °С;

$T_{min}$  – наименьшая температура в слое металимниона, °С;

$H_{max}$  – наибольшая глубина в слое металимниона, м;

$H_{min}$  – наименьшая глубина в слое металимниона, м.

Средняя температура воды по вертикали ( $t_{cp}$ , °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:

$$t_{cp} = \frac{S}{H}, \quad (7)$$

где  $S$  – площадь эюры, °См;

$H$  – глубина вертикали, м.

### **Пример выполнения работы:**

1. По данным наблюдений за температурой воды в озере построить график распределения температуры воды по вертикали для периодов гомотермии, прямой и обратной термической стратификации. График распределения температуры воды по глубине строится на миллиметровой бумаге по данным измерений температуры на вертикали в озере (см. табл. 2). На листе миллиметровой бумаги рядом с построенным графиком помещается таблица распределения температуры воды по глубине, расчеты градиентов температуры и средней температуры для периода прямой термической стратификации.

По оси ординат откладываются глубины в метрах, по оси абсцисс – температура, °С. На график наносятся точки, соответствующие температуре воды на разных горизонтах измерения. Полученные точки соединяют плавной линией, которая характеризует распределение температуры воды от поверхности до дна водоема.

2. Выделить горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион, гипо-

лимнион (см. рис. 6). Определить вертикальный градиент температуры в слое температурного скачка. Рассчитать наибольшее значение вертикального градиента температуры  $\Theta_{наиб}$ .

Рассматривая на графике кривую 3, определяем участок резкого перепада температуры с глубиной, проводим горизонтальные линии, выделяя слои эпилимниона, металимниона и гиполимниона. На рис. 6 (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  $16,4^{\circ}\text{C}$  (от  $22,6$  до  $6,2^{\circ}\text{C}$ ) на 9 м глубины (12-3 м), а вертикальный градиент  $\Theta = 1,8^{\circ}\text{C}$  на 1 м ( $16,4:9$ ). Для определения наибольшего градиента температуры выбираем отрезок кривой в слое скачка с наибольшим перепадом температуры. В нашем примере  $\Theta_{наиб} = 4^{\circ}\text{C}$  на 1 м в слое 5-6 м.

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

Площадь эюры распределения температуры воды по глубине определяется с помощью планиметра или палетки. В нашем примере площадь эюры (площадь 0БА29)  $S=284,8^{\circ}\text{Cм}$ , глубина вертикали  $H=29$  м, следовательно  $t_{cp}=284,8/29 = 9,8^{\circ}\text{C}$ .

**Задание 4.1.** По данным таблицы 3 постройте график распределения температуры воды в озере по вертикали для периодов гомотермии, прямой и обратной термической стратификации.

Таблица 3 – Температуры воды в озере Байкал

Глубина (м)	Март	Июль	Октябрь
0	1,2	3,6	8,9
10	1,3	3,3	8
20	1,9	3,3	7,9
30	2	3,1	4,9
40	2,1	3,1	4,4
50	2,2	3,1	4,4
60	2,4	3	4,4
70	2,7	3	4,2
80	2,9	3,3	4,1
90	3	3,4	4,1
100	3,3	3,5	3,8
110	3,3	3,5	3,7

Выделите горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион, гипolimнион. Определите вертикальный градиент температуры в слое температурного скачка и его наибольшее значение. Вычислите среднюю температуру воды по вертикали для периода прямой термической стратификации. Сделайте вывод.

**Задание 4.2.** На рисунке 7 показана температурная стратификация водоема. Поясните процессы, которые происходят в водоеме в разные сезоны года и назовите возможные причины подобных явлений.



Рисунок 7 – Температурная стратификация

## Занятие 5. Влияние факторов среды на гидробионтов

**Цель занятия** – рассмотреть лимитирующие факторы среды, оптимальные условия для гидробионтов, кривые толерантности.

Факторы среды, исключаящие или ограничивающие процветание вида, называются лимитирующими. Относительное действие отдельного фактора тем сильнее, чем в большей степени по сравнению

с другими факторами ощущается его нехватка. Этот принцип Ю. Либих сформулировал в 1840 г. как «закон минимума» (бочка Либиха). Согласно ему, величина урожая (продукции) зависит от количества питательных веществ, находящихся в минимуме. Имеются некоторые ограничения: дефицитное вещество может быть заменено другим (например, при построении раковин моллюсков кальций заменяется стронцием); принцип не применим к системам с неустойчивым состоянием. Эффект дефицита может сниматься благоприятной комбинацией других факторов: Е. Митчерлих назвал это явление «закон совокупного действия факторов». Американский ученый В. Шелфорд в 1913 г. сформулировал «закон толерантности». Лимитирующим фактором процветания вида (организма) может быть как минимум, так и максимум фактора, диапазон между которыми определяет величину выносливости – толерантности организма к данному фактору (рис. 8).



Рисунок 8 – Реакция организма на изменение экологических факторов (кривая толерантности)

**Задание 5.1.** Постройте кривую толерантности, для образца воспользуйтесь рисунком 8. Взрослые особи зеленой жабы активны при относительной влажности от 51 до 100 %, из них 91 % встречается при влажности от 51 до 90 %, 9 % – от 91 до 100 %; оптимум влажности для животных – 61 %. Сделайте вывод.

**Задание 5.2.** Часть жизненного цикла камчатский краб существует в виде личиночной стадии – зоеа. Во взрослом состоянии особей относят к стеногалинным организмам, так как они существуют в интервале солености 20-32 г/л, при этом оптимум отмечается при

25-28 г/л. В момент оплодотворения оптимальная соленость сужается до 26-27,5 г/л при неизменных пределах толерантности. Отложенные яйца сохраняют свою жизнеспособность только при солености 17-28 г/л. Максимальное вылупление зоеа происходит при солености 23-26 г/л. Одновременно изменяется и устойчивость к солености. Если нижний предел снижается до 18 г/л, то верхний повышается до 33 г/л. До репродуктивного возраста, при сохранении солености в интервале 23-28 г/л, доживает 82% особей. Определите пределы толерантности для камчатского краба как вида в целом. Иллюстрацией к какому закону, описывающему закономерности действия факторов, является данный пример? Сформулируйте этот закон.

**Задание 5.3.** На рисунке 9 показано горизонтальное распределение особей трех видов бокоплавов (*Gammarus*) в зависимости от солености среды в эстуарии реки. Используя данные, постройте кривые толерантности к солености для представленных видов. Какие из данных видов организмов можно отнести к олигогаллинным в зависимости от отношения к уровню солености воды?

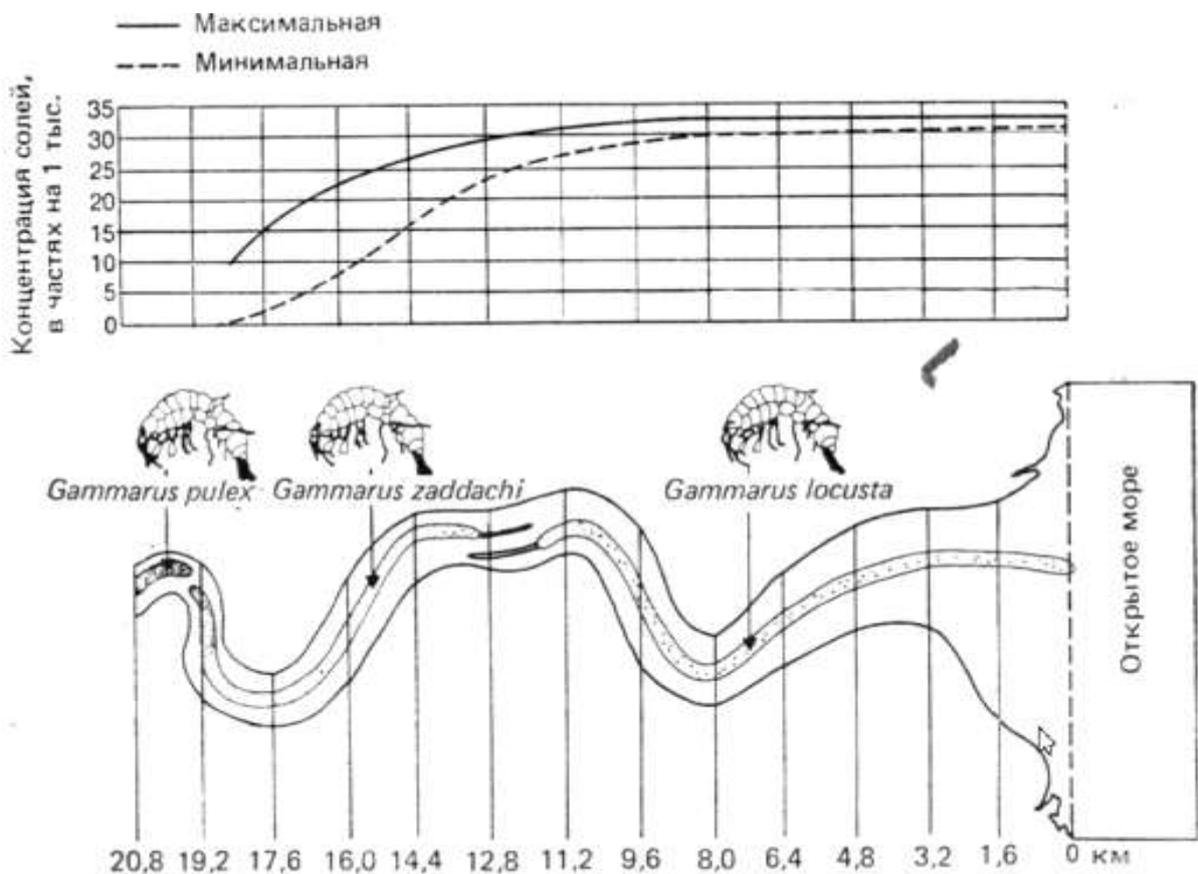


Рисунок 9 – Горизонтальное распределение особей трех видов *Gammarus* в зависимости от солености воды в эстуарии реки

**Задание 5.4.** Постройте график зависимости концентрации растворенного в воде кислорода от температуры воды, пользуясь таблицей 4. По оси абсцисс отмечаются температуры (°С), по оси ординат – концентрация кислорода (мг/л). Определите оптимальные условия для организмов, заштрихуйте на графике. Сделайте выводы.

Таблица 4 – Зависимость концентрации растворенного в воде кислорода от температуры воды

Температура, °С	Концентрация Кислорода, мг/л	Температура, °С	Концентрация Кислорода, мг/л
0	14,6	16	9,8
2	14	18	9,5
4	13	20	9
6	12,2	22	8,8
8	11,6	24	8,5
10	11	26	8,2
12	10,6	28	7,9
14	10	30	7,8

### **Занятие 6. Определение качества воды в пресном водоеме по видовому разнообразию макрофитов**

**Цель занятия** – изучить классификацию водоемов по степени загрязненности вод, определить качество воды в пресноводном водоеме по видовому разнообразию макрофитов.

Многие водоемы загрязнены как органическими веществами, так и сбросами различных промышленных предприятий. Водоемы, загрязненные органическими веществами, как и организмы, способные жить в них, называют сапробными (от греческого слова «сапрос» – гнилой). По степени загрязненности вод органическими веществами водоемы классифицируют:

- на полисапробные – органических веществ много, кислорода нет; происходит расщепление белков и углеводов;
- мезосапробные – неразложившиеся белки отсутствуют, зато присутствуют сероводород, диоксид углерода и кислород, так как происходит минерализация органических веществ;
- альфа-мезосапробные – вода умеренно загрязнена органическими веществами, есть аммиак и аминокислоты, кислорода мало;

- бета-мезосапробные – органических загрязнителей мало, кроме аммиака, есть продукты его окисления (азотная и азотистая кислоты), много кислорода;

- олигосапробные – практически нет растворенных органических веществ, кислорода много, вода чистая.

Сапробность находится во взаимосвязи с видовым составом и численностью обитателей водоема. При исследовании рек обращают внимание на места быстрого течения – перекаты, плотины и т. д. Для получения представления об общем состоянии реки станции (места взятия проб) необходимо выбирать именно здесь. Если же определяем разовые или местные загрязнения, необходимо исследовать обитателей дна в местах со слабым течением – в заводях, бочагах и т.п. После попадания в реку загрязненных стоков, они сносятся течением вниз по реке и откладываются в более глубоких местах реки с замедленным течением.

Биологическое исследование стоячих водоемов подразумевает проведение комплексных исследований с тем, чтобы иметь более полное представление о состоянии водоема. Чем крупнее исследуемый водоем, тем большее количество станций надо выбирать по его периметру.

Высшие цветковые водные растения и некоторые виды водорослей в той или иной мере отвечают требованиям интегральной оценки степени загрязнения водной среды (приложение А).

Часто в водоеме присутствует несколько индикаторных видов, произрастающих в среде разной степени загрязненности. Следовательно, необходимо определить общую суммарную степень загрязнения. С этой целью подсчитывают сумму всех частот встречаемости растений-индикаторов. Находят произведение степени загрязнения, на которое указывают присутствие растения-индикатора и частота его встречаемости, и суммируют эти произведения для всех индикаторных видов, обнаруженных в данном водоеме.

Разработан специальный ключ к определению степени загрязненности поверхностных вод. Принцип метода заключается в обнаружении в водной среде индикаторных видов растений, адаптированных к определенной степени загрязнения (от крайне слабого до очень сильного). Пример вычисления общей суммарной загрязненности приведен в таблице 5.

По степени загрязненности водоемы делят на пять классов: 1 – крайне слабо, 2 – слабо, 3 – умеренно, 4 – сильно и 5 – очень сильно загрязненные.

Частоту их встречаемости учитывают по девятибалльной шестиступенчатой шкале частот со следующими обозначениями: 1 – очень редко, 2 – редко, 3 – нередко, 5 – часто, 7 – очень часто, 9 – масса.

Таблица 5 – Вычисление общей суммарной степени загрязнения

Вид	Степень загрязнения (1)	Частота встречаемости (2)	(1)×(2)=(3)
<i>Utricularia minor</i>	1	1	1
<i>U. australis</i>	2	1	2
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2	3	6
<i>M. verticillatum</i>	3	2	6
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	3	2	6
<i>P. crispus</i>	4	7	28
<i>P. pectinatus</i>	4	3	12
<i>Ranunculus circinatus</i>	4	3	12
<i>P. nodosus</i>	5	2	10
<i>Elodea canadensis</i>	4	7	28
Сумма		$\Sigma(2)=31$	$\Sigma(3)=111$

Полученную сумму произведений делят на сумму частот: этот коэффициент покажет общую суммарную степень загрязнения. Общая суммарная степень загрязнения  $\Sigma(3) / \Sigma(2)=111 / 31=3,6$ , что соответствует промежуточной степени загрязнения водоема между умеренной и сильной.

Многие виды водных растений могут быть использованы для определения сапробности вод и типа загрязнения. Макрофиты развиваются в основном в олигосапробной и бета-мезосапробной зонах. Сведения о растениях-индикаторах приведены в приложении А.

**Задание 6.1.** По данным таблицы 6 определите степень загрязнения водоемов по растениям-индикаторам (см. пример – табл. 5). Найдите латинское название и изображение растения, используя каталоги-определители и сеть Интернет. Сделайте вывод.

## Занятие 7. Определение качества воды в водоеме по видовому разнообразию зообентоса

**Цель занятия** – определить качество воды в водоеме по видовому разнообразию зообентоса с использованием индексов.

**I. Биотический индекс Вудивисса** используется во всем мире для определения качества воды в водотоках по структурным характеристикам зообентоса (донных организмов). Индекс учитывает общее разнообразие населяющих водоем донных беспозвоночных и наличие в нем организмов, принадлежащих к индикаторным группам.

Таблица 6 – Вычисление степени загрязненности водоема

Вид растений, название		Изображение	Степень загрязнения (1)	Частота встречаемости (2)	(1)×(2)=(3)
русское	латинское				
Водокрас лягушачий				3	
Манник плавающий				3	
Рдест узловатый				5	
Рогоз широколистный				7	
Телорез алоэвидный				10	
Трехдольница трехбороздчатая				4	
Штукения гребенчатая				5	
Элодея канадская				7	
Сумма					

Методика определения:

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

2. В намеченных станциях с помощью различных орудий лова отбираются пробы зообентоса. Затем в течение 15-20 минут на каждой станции осуществляется дополнительный сбор всех бентических животных, которые попадут в поле зрения исследователей. Проба промывается в промывальнике, выкладывается в кювету. Животных выбирают из кюветы с помощью пинцетов или пипетки и определяют группы.

3. Выясняют, какие индикаторные группы есть в водоеме. К индикаторным относятся: личинки веснянок, поденок, ручейников, рачки бокоплав, равноногие раки, трубочники, личинки хирономид.

4. Оценивают общее разнообразие донных беспозвоночных, подсчитывают число групп. Методика Вудивисса не требует определить всех пойманных животных с точностью до вида (это бывает трудно сделать даже профессионалу). Достаточно определить количество обнаруженных в пробах «групп» бентосных организмов, под группой понимают:

- а) любой вид плоских червей;
- б) класс малощетинковых червей (кроме р. *Nais*);
- в) р. *Nais*;
- г) любой вид моллюсков, пиявок, ракообразных, водных клещей;
- д) любой вид веснянок, перепончатокрылых жуков;
- е) любой вид поденок, кроме *Baetis rodani*;
- ж) любое семейство ручейников;
- з) семейство комаров звонцов, кроме видов р. *Chironomus* sp.;
- и) *Chironomus* sp.;
- к) личинки мошек *Simuliidae*;
- л) каждый известный вид личинок других летающих насекомых.

5. Находят индекс водоема по таблице 7 на пересечении значения общего количества групп и индикаторной группы, начиная сверху с личинок веснянок.

6. Определяют степень загрязнения водоема по таблице 8.

**Пример:** во время исследования верховьев реки Рощинки (Карельский перешеек) в пробах были обнаружены представители наиболее чувствительной к загрязнению индикаторной группы – нимфы веснянок, причем только одного вида – *Nemoura cinerea*. Значит, мы должны работать со второй строкой таблицы 8.

Всего же среди организмов бентоса были отмечены представители шестнадцати различных групп (в том числе малощетинковые черви, личинки мошки, личинки других двукрылых, представитель равноногих раков – водяной ослик и др.). Поэтому выбираем столбец «Общее количество групп – 16-20». На перекрестке этого столбца и второй строки находим значение индекса – 9 баллов. Это говорит о том, что сообщество водных организмов находится в хорошем состоянии, загрязнение не обнаружено.

**II. Индекс Гуднайта-Уотлей** показывает долю олигохет от общего количества бентоса в процентах, можно использовать для непроточных водоемов в качестве характеристики загрязнения. Ход анализа: отбирают пробы бентоса; собранные бентические организмы просчитываются (отдельно олигохет).

Находят отношение численности олигохет к числу всех организмов в процентах; по таблице 8 определяют степень загрязнения воды.

Таблица 7 – Определительная таблица расчета индекса Вудивисса

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

\* Поденку *Baetis rhodanii* учитывают в группе ручейников, а не поденок.

Таблица 8 – Классификация качества воды по гидробиологическим показателям

Класс качества воды	Степень загрязнения	Гидробиологические показатели		
		Индекс Гуднайта-Уотлей	Индекс сапробности	Индекс Вудивисса
1	Очень чистые	1-20	<1,00	10 и более
2	Чистые	21-35	1,00-1,50	7-9
3	Умеренно	36-50	1,51-2,50	5-6
4	Грязные	51-65	2,51-3,50	4
5	Загрязненные	66-85	3,51-4,00	2-3
6	Грязные	86-100	>4,00	0-1

Чем больше значение индекса, тем выше степень загрязнения водоема:

$$G = \frac{N1}{N2} \times 100, \quad (8)$$

где  $G$  – показатель загрязнения;

$N1$  – количество олигохет;

$N2$  – общая численность бентических организмов.

**III. Отношение встречаемости на единицу площади двустворчатых моллюсков к легочным** можно использовать в качестве дополнительного показателя загрязнения:

$$M = \frac{Bm}{Am}, \quad (9)$$

где  $M$  – показатель загрязнения;

$Bm$  – численность двустворчатых моллюсков;

$Am$  – численность легочных моллюсков.

Ход анализа: в литорали водоема выбирают площадку известной площади, просчитывают всех легочных и двустворчатых моллюсков, находят соотношение  $M$ , определяют степень загрязнения.

В водоемах с умеренным органическим загрязнением  $M$  больше или равно 1, если  $M$  больше 1 – загрязнение значительно. При сильных загрязнениях в водоеме будут присутствовать только легочные моллюски.

**Задание 7.1.** Определите биотический индекс Вудивисса (см. табл. 7) и сделайте вывод о качестве воды (см. табл.8):

а) в реке Абакан, где обнаружены поденки *E. sachalinensis*, *Rhithrogena gr. lepnevae* и *Epeorus gr. pellucidus*. Всего бентосных групп выделено более 70;

б) в реке Енисей, где на галечных грунтах среди хирономид обнаружены представители родов *Cricotopus* и *Orthocladius*, а также *Diamesa baicalensis Tshernovskij, 1949*, *Pagastia orientalis (Tshernovskiy, 1949)*. Всего бентосных групп выделено 25.

## **Занятие 8. Деление водных организмов в зависимости от происхождения**

**Цель занятия** – изучение первичноводных, вторичноводных и амфибионтных организмов, их жизненных форм.

Практически все воды Мирового океана заселены гидробионтами – водными организмами. Все гидробионты в зависимости от их

происхождения делятся на обширные группы: первичноводные и вторичноводные.

*Первичноводные* – организмы, вся эволюция которых проходила в водной среде. Для представителей этой группы характерно водное дыхание. Они используют кислород, растворенный в воде, с помощью жаберного аппарата или дышат всей поверхностью тела. К этому сообществу относятся:

### **Царство Растения**

Все отделы водорослей

### **Царство Животные**

Тип Простейшие – *Protozoa*

Тип Губки – *Spongia*

Тип Кишечнополостные – *Coelenterata*

Тип Гребневики – *Stenophora*

*Черви – все типы Plathelminthes, Nemathelminthes, Annelida*

Тип Членистоногие – *Arthropoda*

Подтип Жабродышащие – *Branchiata*

Класс Ракообразные – *Crustacea*

Тип Мягкотелые – *Mollusca*

Тип Щупальцевые – *Tentaculata* (Мшанки)

Тип Погонофоры – *Pogonophora*

Тип Иглокожие – *Echinodermata*

Тип Полухордовые – *Hemichordata*

Тип Хордовые – *Chordata*

Подтип Оболочники – *Tunicata*

*Все классы Рыб – Chondrichthyes, Osteichthyes*

*Вторичноводные* – организмы, предки которых обитали на суше, а затем перешли к обитанию в водной среде. При этом изменилось их морфологическое строение, и они выработали ряд приспособлений к жизни в водной среде. Однако большинство из них не смогли перейти к водному дыханию и, так же как их наземные предки, дышат атмосферным кислородом.

Среди организмов, населяющих пресноводные водоемы, вторичноводные занимают значительную часть. В морских бассейнах число их невелико. К этому сообществу относятся:

### **Царство Растения**

Высшие водные растения

### **Царство Животные**

Тип Членистоногие – *Arthropoda*

Класс Ракообразные – *Crustacea*

Класс Паукообразные – *Arachnida*

Класс Насекомые – *Insecta*

Тип Хордовые – *Chordata*

Класс Млекопитающие – *Mammalia* (сем. китообразные, ластоногие, дюгоневые)

В зависимости от образа жизни выделяют группу **амфибионтных** организмов, проводящих часть жизни в водной среде, а часть – на суше. К ним относятся многие обитатели приливно-отливной зоны водоемов.

**Жизненная форма гидробионтов** – это конвергентно возникшие совокупности организмов разного систематического положения, обладающие принципиально сходными приспособлениями для нахождения и удержания себя в определенном биотопе. В соответствии с образом жизни все водные организмы подразделяются на группы:

биотоп	жизненная форма
контактные зоны: вода – воздух	нейстон, плейстон
пелагиаль	планктон, нектон
бенталь	бентос, перифитон

**Плейстон** – растительные и животные организмы средних и крупных размеров, гидробионты, тело которых находится одновременно в водной и воздушной среде. Свободноплавающие представители плейстона перемещаются под влиянием ветра и в морях, распространены в тропической и отчасти умеренной зонах. Морской плейстон представлен сифонофорами родов *Physalia* и *Veleva*.

**Нейстон** – растительные и животные организмы мелких и средних размеров, гидробионты и аэробии, населяющие водную (гипонейстон) или воздушную (эпинеuston) стороны пленки поверхностного натяжения водоемов. Распространение – глобальное. Нейстон представлен организмами различных таксономических уровней – от растений и бактерий до личинок и мальков рыб.

**Планктон** состоит из мелких растительных и животных организмов, не обладающих способностью активно перемещаться на большие расстояния. Представлен бактериями, грибами, водорослями, мелкими рачками, червями, медузами, кишечнополостными, иглокожими, моллюсками (голожаберные, крылоногие), а также икрой и личинками рыб. Особенно разнообразен и высокопродуктивен фитопланктон: известно около 2000 видов микроводорослей.

**Нектон** – совокупность активно плавающих животных, обитающих в толще воды пелагической области водоемов, и способных противостоять силе течения и самостоятельно перемещаться на значительные расстояния. Являются в основном хищниками. К нектону относятся рыбы, кальмары и осьминоги, морские звери и киты, морские змеи и черепахи.

**Бентос** объединяет растения и животных, населяющих дно. Одни из них никогда не отделяются от основания, подобно водорослям, кораллам, некоторым моллюскам. Другие свободно покидают дно, как это делают камбалы и скаты. Третьи закапываются в грунт, что свойственно многим моллюскам, ракообразным и червям. Благодаря интенсивному развитию жизни в прибрежных районах и соответственно наибольшему количеству органических остатков, оседающих на материковой отмели, здесь сосредоточено свыше 99% всех видов бентонических организмов.

**Перифитон (обрастания)** – население твердых оснований-субстратов, к которым организмы могут прикрепляться (скалы, подводные горы, различные портовые сооружения, днища судов и т.п.).

**Задание 8.1.** Приведите примеры (3-5 видов) планктонных организмов в зависимости от размерной группы и внесите в таблицу 9.

Таблица 9 – Планктонные организмы

Размерная группа	Величина, см	Представители

**Задание 8.2.** Приведите примеры (3-5 видов) первичноводных, вторичноводных и амфибионтных организмов, внесите в таблицу 10.

### **Занятие 9. Адаптации планктонных организмов к обитанию в толще воды**

**Цель занятия** – изучить основные приспособления планктонных организмов к обитанию в толще воды.

Планктонные организмы для удержания в толще воды используют ряд приспособлений.

**Обводнение тела.** Благодаря огромному количеству воды плотность планктеров близка к плотности воды. Количество воды в теле планктонных организмов в среднем равно 80-85%, но у некоторых из

них оно достигает 95-97% (медузы, гребневики). Обилие воды делает эти организмы необычайно прозрачными и нежными.

Таблица 10 – Деление водных организмов

Группы организмов	Примеры
Первичноводные	
Водоросли	
Тип Простейшие	
Тип Губки	
Тип Кишечнополостные	
Черви	
Тип Членистоногие	
Тип Мягкотелые	
Тип Иголокожие	
Тип Полухордовые	
Тип Хордовые	
Вторичноводные	
Высшие водные растения	
Тип Членистоногие	
Тип Хордовые	
Амфибионтные	
Водоросли	
Высшие водные растения	
Высшие растения	
Тип Членистоногие	
Тип Мягкотелые	
Тип Хордовые	

**Редукция скелетных образований.** Все планктонные организмы лишены тяжелого скелета и поэтому резко отличаются от близких форм, ведущих донный образ жизни. Например, крылоногие и килевоногие моллюски характеризуются или полным отсутствием раковины, или очень слабым ее развитием.

**Жировые включения.** Это прежде всего резервные вещества, однако одновременно они служат и для уменьшения плотности тел. У планктонных водорослей продуктом фотосинтеза является не относительно тяжелый крахмал, а легкие липиды. Жировые включения широко распространены у различных планктонных животных. Очень богаты жиром тела веслоногих и ветистоусых ракообразных.

**Газовые включения.** Широко распространенные у планктонных организмов, они имеют свой объем в зависимости от изменений температуры и давления в окружающей среде. Поэтому организмы с газовыми включениями могут при помощи этого гидростатического аппарата не только сохранять равновесие, но и подниматься вверх и опускаться вниз. Нередко уменьшение плотности достигается с помощью нескольких приспособлений. Например, у личинок хаборуса ткани богаты водой, что делает их тело совершенно прозрачным. Наряду с этим у личинок наблюдается редукция скелетных образований и имеется хорошо развитый гидростатический аппарат. Способность планктонных организмов к парению зависит и от формы их тела. Чем больше площадь тела и чем меньше масса гидробионта, тем устойчивее он парит в толще воды.

**Удлинение одной оси.** Многие растительные и животные организмы имеют палочковидную форму тела. Она наблюдается у ряда диатомовых, пиррофитовых, синезеленых и других водорослей, а также у щетинкочелюстных и многих ракообразных. Такой палочковидный, конвергентный облик характерен как для одиночных, так и для колониальных организмов (некоторые синезеленые и диатомовые водоросли, сальпы).

**Удлинение двух осей.** У многих представителей фито- и зоопланктона тело имеет уплощенную, дисковидную форму. Таковы, например, многие диатомеи, синезеленые водоросли, радиолярии, медузы и др. Эти организмы образуют конвергентную группу дисковидных, пластинчатых форм.

**Образование выростов.** На теле планктонных организмов часто наблюдаются выросты. Многочисленными шипами, иглами, ресничками, например, покрыто тело ряда радиолярий, инфузорий, личинок иглокожих, червей и других организмов. Все они образуют группу ежевидных форм. Способность планктонных организмов к постоянному пребыванию в толще воды в значительной степени зависит от их величины.

**Задание 9.1.** Запишите в тетради приспособления к парению и приведите примеры представителей планктона их имеющих.

**Задание 9.2.** Изучите под микроскопом несколько капель с планктоном, найдите организмы с теми или иными приспособлениями к парению, а также формы, относящиеся к различным конвергентным и размерным группам. Зарисуйте общий вид и некоторые детали

строения рассмотренных организмов, пользуясь определительными таблицами одного из представителей планктона.

**Задание 9.3.** Определите скорость погружения дафнии. Для этого взять высокий, доверху наполненный водой стеклянный цилиндр и перенести (пипеткой Пастера или стеклянной палочкой) на поверхность воды крупную дафнию. Зная высоту цилиндра и время, отмечаемое по секундомеру, в течение которого дафния опускается на дно сосуда, вычислите скорость погружения организма.

## **Занятие 10. Оценка трофности водоема**

**Цель занятия** – изучить классификацию водоемов по трофности и оценить трофические свойства водоема.

По классификации, основы которой были заложены А. Тинеманном и Е. Науманном, пресноводные озера подразделяются на дистрофные, олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные.

*Дистрофные (недостаточно кормные)* водоемы расположены в основном в заболоченной местности. Берега их низкие, болотистые, с редкой растительностью, часто сложены из сфагнома. Имеются торфянистые отложения на дне озера, которые исключают контакт воды с грунтом, поэтому вода слабо минерализована и бедна биогенами. Реакция среды кислая, вода сильно окрашена, прозрачность ее очень низкая. Планктон и бентос очень бедны. Значительно разрежены прибрежные заросли тростника и хвоща. Исчезают рдесты, которые частично заменяются на заросли ежеголовника. Для дистрофных водоемов характерно наличие вдоль уреза воды различных видов осок и водно-болотной растительности, на дне – сфагнового мха. Часто встречается тростник обыкновенный, хвощ топяной, кубышка желтая, ежеголовник родственный. *Индикаторные виды растений:* вахта трехлистная, белокрыльник болотный, сабельник болотный, ежеголовник родственный, кубышка желтая, тростник обыкновенный, кизляк кистецветный, пузырчатка обыкновенная, хвощ топяной, водяная сосенка, сфагновые мхи.

*Олиготрофные* озера характеризуются слабым поступлением биогенов, поэтому в них мало фитопланктона, бактерио- и зоопланктона. Обычно они расположены на кристаллических породах и являются глубокими (свыше 30 метров). Гиполимнион, богатый кислородом, по объему превосходит эпилимнион. Прозрачность воды высокая, гуминовых веществ в воде очень мало, литораль развита слабо,

донные отложения бедны органикой. Для озер олиготрофного типа характерно присутствие лобелии Дортмана, урути очередноцветковой. Степень их зарастания незначительна, растительные сообщества распространены весьма ограниченно. Фитоценозы в основном разрежены. Развитие растений удовлетворительное, величина фитомассы невелика. *Индикаторные виды растений:* лобелия Дортмана, уруть очередноцветковая, лютик простертый, полушник колючеплодный, полушник озерный, рдест блестящий.

К *эвтрофным (высококормным)* водоемам относятся неглубокие (до 10-15 м) равнинные озера с обильным поступлением биогенов. Летом массово развивается фитопланктон и, соответственно, обильны бактерио- и зоопланктон, зообентос. Грунты илистые, прозрачность воды низкая, цветность высокая. Литораль хорошо выражена, сильно зарастает макрофитами. Водная масса гипolimниона по сравнению с эпилимнионом мала, бедна кислородом. Водная толща прогревается до дна.

К водоемам *мезотрофного* типа относятся озера, занимающие промежуточное положение между олиго- и эвтрофными озерами. *Индикаторные виды растений:* рдест сплюснутый, ряска трехдольная, уруть мутовчатая, стрелолист плавающий, осока пузырчатая, кувшинка четырехгранная, частуха подорожниковая, рдест маленький, водокрас лягушечий, рогоз узколистный, элодея канадская, кувшинка белая.

Для водоема мезотрофного и эвтрофного типов характерна нейтральная или щелочная реакция водной среды, малая прозрачность. Показательно наличие рогоза узколистного, стрелолиста плавающего, элодеи канадской. Расселение по водоему растений с плавающими листьями – кувшинка чисто белая, кубышка желтая и малая, рдест плавающий – часто может свидетельствовать о начавшемся процессе эвтрофирования. Массовое развитие рясок (маленькой и тройчатой) и многокоренника свидетельствует об избытке биогенных веществ, а их локальное интенсивное размножение может указывать на места поступления этих веществ в водоемы. *Индикаторные виды растений:* водяной перец, шелковник неукореняющийся, шелковник фенхелевидный.

Для расчета общей трофности каждому типу водоема присуждается номер: ацидотрофные – 0, дистрофные – 1, олиготрофные – 2, мезотрофные – 3, эвтрофные – 4.

Частоту встречаемости учитывают по девятибалльной шести-ступенчатой шкале частот (табл. 11). Тип водоема определяется по наличию в водоеме и по его берегам растений-индикаторов. Частота встречаемости определяется при изучении растительности, все частоты суммируются.

Таблица 11 – Соотношение значений относительного обилия и частоты встречаемости организмов (h)

Частота встречаемости	Количество экземпляров одного вида, %	h
Очень редко	<1	1
Редко	2-10	2
Нередко	10-40	3
Часто	40-60	5
Очень часто	60-80	7
Масса	80-100	9

**Пример расчета суммарной трофности водоема.** Заполняются данные в карточке, куда вносятся названия растений (табл. 12).

Таблица 12 – Вычисление суммарной трофности водоема

Вид	Тип водоема (1)	Частота встречаемости (2)	(1)x(2)=(3)
<i>Nuphar lutea</i>	1	1	1
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	2	2	4
<i>Potamogeton lucens</i>	2	5	10
<i>Potamogeton compressus</i>	3	5	15
<i>Lemna trisulca</i>	3	7	21
<i>Elodea canadensis</i>	3	9	27
<i>Carex vesicaria</i>	3	3	9
Сумма		32	87

Затем рассчитывается произведение этих двух показателей и тоже суммируется. Определяется общая суммарная трофность водоема делением суммы произведений на сумму частот встречаемости:  $\Sigma(3) : \Sigma(2) = 87 : 32 = 2,7$ . Это соответствует переходному типу водоема между олиго- и мезотрофным.

**Задание 10.1.** В справочниках, в сети Интернет или других источниках определите русское название растений, найдите их изобра-

жение и внесите (зарисуйте) в таблицу 13. Классифицируйте по типу водоема общую суммарную трофность. Сделайте выводы.

Таблица 13 – Вычисление трофности водоема

Вид растения, название		Изображение	Тип водоема (1)	Частота встречаемости (2)	(1)x(2)=(3)
латинское	русское				
<i>Calla palustris</i>				2	
<i>Isoetes echinospora</i>				5	
<i>Potamogeton compressus</i>				3	
<i>Comarum palustre</i>				7	
<i>Elodea canadensis</i>				10	
<i>Carex vesicaria</i>				5	
<i>Ranunculus reptans</i>				5	
<i>Nymphaea alba</i>				7	
Сумма					

### Занятие 11. Спектр питания гидробионтов

**Цель занятия** – изучить показатели и индексы, характеризующие спектры питания гидробионтов.

Представление о разнообразии потребляемой пищи гидробионтами дает широта спектра питания.

Определяется количеством родов или видов организмов в пищевом комке.

**Частота встречаемости компонента пищи** определяется числом пищеварительных трактов, где он встречается, выражается в процентах от общего числа исследуемых трактов.

**Индекс избирания пищи** предложен А. А. Шорыгиным:

$$I_i = \frac{r}{Ph}, \quad (10)$$

где  $r$  – процентное значение организмов в пище;

$Ph$  – процент этого же организма (или группы) в природном сообществе (планктон, бентос, нектон).

Если рыба всеядна, то индекс избирания  $I_i$  равен 1, при выборе определенных организмов  $I_i$  больше 1, а если избегает какие-то виды то  $I_i$  меньше 1.

**Индекс наполнения** – отношение массы всего пищевого комка к массе рыбы. Выражается в процентах.

Для определения степени сходства пищи используют **индекс пищевого сходства**, т.е. сумму наименьших величин из спектра питания сравниваемых рыб. При полном совпадении пищи индекс равен 100 %, если характер питания рыб различен, то он равен 0. Индекс пищевого сходства изменяется в зависимости от возраста рыбы, а также сезона. Эти же показатели можно представить графически в виде двух пересекающихся кривых. Площадь, общая для обоих видов, соответствует сумме меньших значений организмов в пищевом комке, т. е. индексу пищевого сходства (рис. 10). У золотого и серебряного карасей он составил 49,3 %.

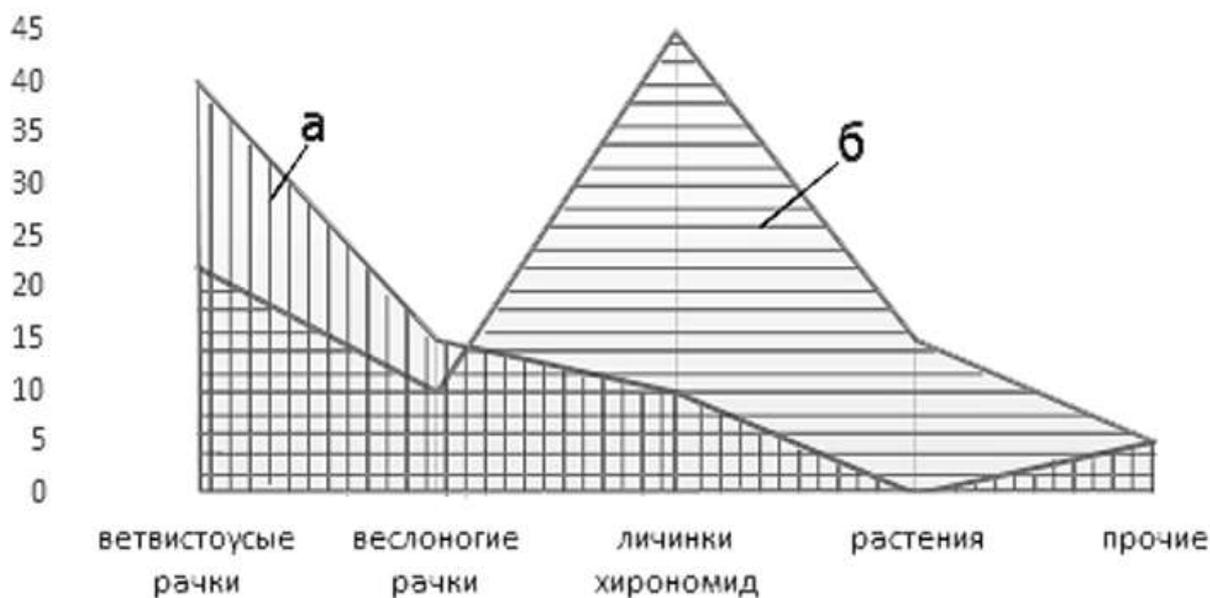


Рисунок 10 – Индекс пищевого сходства серебряного (а) и золотого (б) карасей

**Задание 11.1.** Определите индекс пищевого сходства для язя и леща (табл. 14). Рассчитайте процентное соотношение организмов в пищевом комке, процентное соотношение организмов в зоопланктоне и зообентосе водоема, индекс избирания пищи для всех организмов, присутствующих в пищевом комке, и индекс наполнения кишечника.

Таблица 14 – Данные о спектре питания рыб

Название организмов	Масса организмов в пищевом комке, г	Состав кормовой базы водоема, г	
		зоопланктон	зообентос
Язь: длина тела 25 см, масса 500 г, масса содержимого кишечника 80 г			
Дафнии	3,0	10,0	
Моина	1,0	5,0	
Босмина	2,0	5,0	
Коловратки		2,0	
Личинки хирономид	15,0		20,0
Моллюски	5,0		15,0
Ручейники	8,0		9,0
Олигохеты	1,0		5,0
Лещ: длина тела 35 см, масса 900 г, масса содержимого кишечника 180 г			
Дафнии	3,0	15,0	
Моина	1,0	6,0	
Босмина	2,0	3,0	
Коловратки	0,5	1,0	
Личинки хирономид	15,0		45,0
Моллюски	3,0		25,0
Ручейники			18,0
Олигохеты	6,0		11,0

## Занятие 12. Численность и биомасса зообентоса

**Цель занятия** – научиться учитывать численность и биомассу зообентоса.

На первом этапе исследования зообентоса проводится сбор и определение гидробиологического материала. Затем заполняется карточка обработки проб, в которой указываются таксономический состав животных, их численность в пробе, масса. Численность животных в пробе определяется путем прямого подсчета. Данные о массе животных могут быть получены следующими способами:

- взвешиванием организмов на весах;
- по таблицам стандартных весов в зависимости от размера объекта;
- расчетом по формулам зависимости массы отдельных животных от их длины.

Минимальное количество порций должно быть не меньше трех. Количество животных в пробе определяют как среднеарифметическое из всех подсчетов. Для учета крупных или малочисленных организмов вся проба просчитывается под бинокуляром.

От определения числа организмов в пробе переходят к определению численности. Данные по численности должны быть представлены как количество организмов в единице объема или в столбе воды, сечение которого соответствует выбранной единице площади. Как правило, при сравнении численности зоопланктона в различных водоемах используются данные по числу экземпляров в единице объема, при сопоставлении результатов определения численности зоопланктона и фитопланктона, количество рыбы и так далее применяются величины средней численности под квадратным метром поверхности.

**Биомасса** определяется умножением числа организмов каждого вида на их индивидуальную массу.

Специальными орудиями для количественного сбора зообентоса служат дночерпатели различных конструкций. Все дночерпатели можно разделить на две группы: штанговые и тросовые.

Штанговые дночерпатели имеют прямоугольную или цилиндрическую форму. Используют их в водоемах с относительно плотным грунтом (песчаным или глинистым) и небольшими глубинами.

В глубоких водоемах с илистым дном применяют тросовые дночерпатели. Наиболее практичен ковшовый дночерпатель, который имеет два изогнутых глубоких ковша, вращающихся на скрепляющей их оси. Опущенные на дно водоема ковши замыкаются и соскребают грунт с определенной площадки (до 60 см<sup>2</sup>) глубиной 5-7 см. В таком слое грунта находится большая часть зообентоса. Как и при взятии проб зоопланктона, дночерпателем берут пробы грунта на определенных местах (станциях) водоема, учитывая, что концентрация представителей зообентоса различна на разных глубинах.

Взятую пробу грунта из дночерпателя помещают в сачок – промывалку и тщательно отмывают ее от иловых частиц. Промытую пробу помещают в плоскую кювету и с помощью пинцета выбирают все организмы, находящиеся в ней. После этого их или сразу определяют и учитывают, или фиксируют 10 %-м раствором формалина для последующей обработки.

При обработке проб все бентосные организмы определяют с помощью определителей и рассчитывают их количество на 1 м<sup>2</sup>. Для

вычисления биомассы зообентоса на  $1 \text{ м}^2$  крупные формы взвешивают по одной, а мелкие в разном количестве, но общая их масса не должна превышать 1 г. После вычисления биомассы по каждому виду или группе зообентоса суммируют полученные данные.

Для перевода количественных данных пробы на единицу площади определяются коэффициенты численности и биомассы:

$$K_{\text{численность}} = \frac{10000}{S_{\text{пробы}}}, \quad (11)$$

$$K_{\text{биомасса}} = \frac{10000}{S_{\text{пробы}} \times 1000}, \quad (12)$$

где 10000 – площадь дна в  $1 \text{ м}^2$ , выраженная в  $\text{см}^2$ ;

$S_{\text{пробы}}$  – площадь пробы ( $\text{см}^2$ );

1000 – коэффициент перевода миллиграммов в граммы.

При расчете численности и биомассы бентоса учитывают площадь захвата при сборе проб. Например, два дночерпателя Экмана-Берджа имеют общую площадь захвата  $500 \text{ см}^2$ , что составляет  $1/20$  часть от  $1 \text{ м}^2$ , т.е.  $10000 \text{ см}^2$ . Следовательно, значение численности или биомассы, полученное для объединенной пробы на станции, нужно умножить на 20, чтобы получить численность или биомассу в пересчете на  $1 \text{ м}^2$ . Таким же образом рассчитываются количественные данные и для других типов дночерпателей.

**Задание 12.1.** Для сбора проб зообентоса используется дночерпатель Экмана-Берджа с площадью захвата  $10 \times 10 \text{ см}$ , или  $100 \text{ см}^2$ . Рассчитайте коэффициенты перевода численности и биомассы донных животных на  $1 \text{ м}^2$ :

а) для одной пробы поднимается один дночерпатель;

б) для одной пробы поднимаются три дночерпателя.

**Задание 12.2.** При сборе проб скребком площадь пробы рассчитывается как длина ножа скребка, умноженная на длину протяга скребка. Определите коэффициенты перевода численности и биомассы, если длина ножа скребка 20 см и длина протяга – 20 см.

**Задание 12.3.** В пробе, отобранной дночерпателем с площадью захвата  $1/40 \text{ м}^2$ , после промывки обнаружено: личинок тендипедид (комаров-звонцов) – 8 шт., олигохет – 25 шт.; биомасса тендипедид составила 34 мг, олигохет – 75 мг, всего 109 мг. Определите численность и биомассу организмов, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  площади пруда.

### Занятие 13. Сбор и обработка зоопланктона

**Цель занятия** – научиться собирать, обрабатывать и учитывать численность и биомассу зоопланктона.

Пробу воды отбирают мерной посудой (лучше ковшиком на 1 л с ручкой). Воду берут из различных мест и с разной глубины (10-50 л). Затем ее процеживают через планктонную сетку, которая представляет собой металлическое кольцо с натянутым на него капроновым сито. Снизу к сетке прикреплен стаканчик, в котором собирается сконцентрированная проба (планктон). После процеживания содержимое стаканчика переносят в отдельную склянку и фиксируют 4% раствором формалина. Пробу снабжают этикеткой с указанием даты, названия и номера пруда, места взятия пробы и количества литров процеженной воды.

Доводят пробу до определенного, удобного для последующих подсчетов объема. При большом осадке пробу разбавляют, доводя ее объем до 50, 100, 200 мм. Пробы с бедным планктоном концентрируют до 20-30 мл, отсасывая часть жидкости пипеткой с концом, затянутым ситом. Затем пробу хорошо перемешивают и берут пипеткой 0,5 мл содержимое и помещают в камеру Богорова для просмотра под микроскопом. Определяют видовой состав, пользуясь определителем, и количество организмов каждого вида. Как правило, для более точного учета просматривают 3 пробы и вычисляют среднее значение. Данные просмотра записывают в карточку обработки зоопланктона.

Количество организмов ( $A$ ) в  $1 \text{ м}^3$  подсчитывают по формуле

$$A = \frac{X \times Y \times 1000}{n}, \quad (13)$$

где  $X$  – среднее количество организмов в 1 мл;

$Y$  – объем просмотренной пробы;

1000 – пересчетный коэффициент;

$n$  – количество литров профильтрованной воды.

Для расчета биомассы организмов зоопланктона пользуются таблицами средних масс организмов (приложение Б).

Биомассу организмов в отсутствие таблиц стандартных масс можно определить по соотношению между его массой и длиной тела особи по уравнению Гаевской:

$$W = g \times l, \quad (14)$$

где  $W$  – масса тела, мг;

$g$  – масса тела, мг массы сырого вещества при длине тела, равной 1 мм;

$l$  – длина тела, мм;

$b$  – показатель степени. Его значение равно 3 для животных, не меняющих форму тела во время роста.

Для этого под микроскопом проводят измерение длины тела зоопланктеров с помощью окуляр-микрометра. Цену деления окуляр-микрометра определяют предварительно для данного увеличения, пользуясь микрометром или металлической линейкой. Окуляр-микрометр помещают в окуляр микроскопа и учитывают, сколько делений окуляр-микрометра входит в одно деление микрометра или одно деление линейки. Затем среднюю длину промеренных зоопланктеров (взятую по окуляр-микрометру) умножают на цену деления, учтенную по микрометру. Для определения массы тела измеряют не менее 50 особей каждого вида зоопланктеров.

Для определения индивидуальной длины тела можно воспользоваться формулой

$$l = n \times m, \quad (15)$$

где  $l$  – длина тела зоопланктера, мм;

$n$  – длина тела зоопланктера, измеренная в делениях окуляр-микрометра;

$m$  – цена деления окуляр-микрометра, измеренная по микрометру или металлической линейке.

**Задание 13.1.** Через планктонную сетку было процежено 25 л воды. Объем просмотренной пробы составил 50 мл. Из пробы взяты три порции по 0,5 мл, просмотрены под микроскопом. Данные внесены в карточку обработки зоопланктона. Рассчитайте среднее количество представителей каждого вида и их биомассу в пробе объемом 1 м<sup>3</sup>, используя данные таблицы 15. Сделайте выводы.

Таблица 15 – Карточка обработки зоопланктона

Организм	Количество в порции (шт.)					Биомасса
	первой	второй	третьей	среднее в 1 мл	в 1 м <sup>3</sup>	
<i>Rotatopia</i>	10	5	6			
<i>Keratella quadrata</i>	32	28	36			
<i>Cladocera</i>	12	5	10			
<i>Daphnia longispina</i>	15	14	16			
<i>Copepoda</i>	13	3	13			
<i>Cyclops strenuous</i>	19	18	17			

## Занятие 14. Виды доминанты в составе биоценоза

**Цель занятия** – изучить структуру биоценоза и определить виды доминанты.

Видовая структура биогеноценоза характеризуется числом видов, их численностью и биомассой.

В биогеоценозе различают доминантные виды (лидирующие, с наибольшей  $N$  и  $B$ ), субдоминантные, второстепенные, случайные. Выделяют виды – эдификаторы (созидатели – edifice), они своей жизнедеятельностью модифицируют среду.

Существует большое количество разнообразных индексов доминирования, но наиболее предпочтительны представленные ниже.

**Индекс доминирования ( $I_g$ ):**

$$I_g = P \times \sqrt{B}, \quad (16)$$

где  $B$  – биомасса, г/м<sup>2</sup>;

$P$  – встречаемость, %.

$$P = \frac{n}{m} \times 100, \quad (17)$$

где  $n$  – число проб, в которых был найден вид;

$m$  – общее число проб.

**Модифицированный индекс Бродской-Зенкевича ( $I_d$ ):**

$$I_d = \sqrt{P \times \sqrt{B}}. \quad (18)$$

Этот индекс безразмерный и видами–доминантами следует считать 1–3 вида с наибольшими величинами  $I_d$ .

**Модифицированный индекс Арнольди ( $D$ ):**

$$D = \sqrt[3]{N \times B \times P}, \quad (19)$$

где  $N$  – численность;

$B$  – биомасса;

$P$  – встречаемость, выраженная в процентах от общих величин.

Он также является безразмерным.

**Задание 14.1.** По данным таблицы 16 определите на основании рассчитанных индексов виды-доминанты в составе гидробиоценоза глубоководной части пруда (биоценоз профундали), где исследователями было зарегистрировано 5 видов донных животных. Определите абсолютные и относительные средние величины численности и биомассы каждого вида, рассчитайте индекс доминирования и внесите

результаты в таблицу 17. Представьте результаты графически. Сделайте выводы.

Таблица 16 – Донные животные в пробах из глубоководной части пруда

Вид	Станция					Всего
	1	2	3	4	5	
Численность, экз./м <sup>2</sup>						
Трубочник обыкновенный <i>Tubifex tubifex</i>	4000	5550	6290	1600	3920	
Стилярия <i>Stylaria lacustris</i>	0	0	0	400	0	
Горошинка речная <i>Pisidium amnicum</i>	0	100	0	100	0	
Личинки комаров <i>Procladius choreus</i>	1160	0	0	450	2800	
Личинки комаров <i>Chironomus plumosus</i>	1200	3060	1660	900	80	
Биомасса, г/м <sup>2</sup>						
<i>Tubifex tubifex</i>	7,81	9,68	5,55	3,29	23,88	
<i>Stylaria lacustris</i>	0	0	0	1,15	0	
<i>Pisidium amnicum</i>	0	4,55	0	5,94	0	
<i>Procladius choreus</i>	2,61	0	0	1,35	10,06	
<i>Chironomus plumosus</i>	17,09	25,01	18,25	28,74	5,34	
Встречаемость, %						

Таблица 17 – Средние величины численности (*N*) и биомассы (*B*) и индексы доминирования

Показатель	Вид				
	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Stylaria lacustris</i>	<i>Pisidium amnicum</i>	<i>Procladius choreus</i>	<i>Chironomus plumosus</i>
Абсолютные средние					
<i>N</i> , экз./м <sup>2</sup>					
<i>B</i> , г/м <sup>2</sup>					
Относительные средние					
<i>N</i> , %					
<i>B</i> , %					
Индекс					
<i>I<sub>g</sub></i>					
<i>I<sub>d</sub></i>					
<i>D</i>					

## Занятие 15. Интерпретация гидробиологических данных

**Цель занятия** – рассчитать индексы видового разнообразия.

Видовое (таксономическое) разнообразие сообщества является показателем его экологического состояния. Известно, что в благоприятных условиях формируются богатые по числу видов (таксонов) биоценозы, которые отличаются полидоминантностью, то есть высокими показателями численности и биомассы могут характеризоваться сразу 5-6 и более видов. Пример благоприятных условий – большинство южных водоемов, там одновременно или сменяя друг друга в течение года доминируют несколько видов.

Или очень чистые реки, в которых численность и биомасса бентофауны могут быть невысоки, но равномерно распределены между видами.

В сообществах, обитающих в экстремальных условиях, как правило, снижается видовое (таксономическое) разнообразие, и они становятся монодоминантными, то есть высокую численность и биомассу имеет 1, в крайнем случае, 2 вида. Примерами экосистем, развивающихся в экстремальных условиях, могут служить экосистемы водоемов в приполярных районах, где низкие температуры позволяют обитать лишь немногим видам; или сильно загрязненные участки водоема, где ограничивающим фактором служит не температура, а количество загрязняющего вещества. В таких условиях происходит изменение структуры донных сообществ, которое может быть выражено индексами видового разнообразия.

**Индекс Шеннона ( $H$ )** широко используется для оценки видового разнообразия сообществ:

$$H_N = \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}, \quad (20)$$

$$H_B = \sum \frac{b_i}{B} \log_2 \frac{b_i}{B}, \quad (21)$$

где  $n_i$  и  $b_i$  – общая численность и биомасса вида;

$N$  и  $B$  – общая численность и биомасса сообщества.

Таким образом,  $\frac{n_i}{N}$  и  $\frac{b_i}{B}$  – доля особей  $i$ -го вида в численности и биомассе сообщества.

Достоинством индекса  $H$  является его комплексность, он учитывает количество видов (видовую плотность) и их выравненность.

Имеется возможность дать оценку видового разнообразия каждого ценоза в отдельности. Следует использовать только один вариант, предпочтительнее вычислять индекс Шеннона по численности, особенно если в бентофауне присутствуют редкие, но крупные моллюски или личинки насекомых. В сообществах сбалансированных, имеющих высокое видовое разнообразие, величина индекса – от 3 до 5. В экстремальных условиях, в частности при загрязнении, его величина снижается.

**Задание 15.1.** Рассчитайте индекс Шеннона для сообщества глубоководной части пруда, используя данные по относительным средним из таблицы 17. Результаты представьте в таблице 18. Для расчетов воспользуйтесь MS Excel. Сделайте выводы.

Таблица 18 – Расчет индекса Шеннона для пелофильного сообщества глубоководной зоны пруда

Вид	$H_N$ (по численности)	$H_B$ (по биомассе)
<i>Tubifex tubifex</i>		
<i>Stylaria lacustris</i>		
<i>Pisidium amnicum</i>		
<i>Procladius choreus</i>		
<i>Chironomus plumosus</i>		
Сумма (со знаком «-»)		

**Индекс выравненности Бергера-Паркера ( $d$ ).** Увеличение индекса показывает увеличение разнообразия и снижение степени доминирования одного вида, то есть состояние сообщества улучшается.

$$d = \frac{N}{n_{i\max}}, \quad (22)$$

где  $N$  – общая численность сообщества;

$n_{i\max}$  – численность самого обильного вида.

**Задание 15.2.** Проследите изменение структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда в июле. Для этого рассчитайте индекс Бергера-Паркера за каждую дату. Результаты представьте в таблице 19. Сделайте выводы.

Таблица 19 – Численность донных животных (экз./м<sup>2</sup>) и расчет индекса Бергера Паркера

Дата	<i>Bud</i>					Всего	Индекс ( <i>d</i> )
	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Stylaria lacustris</i>	<i>Pisidium amnicum</i>	<i>Procladius choreus</i>	<i>Chironomus plumosus</i>		
02.07	4000	0	0	1160	1200		
08.07	5550	0	100	0	3060		
17.07	6290	0	0	0	1660		
25.07	1600	400	100	450	900		
31.07	3920	0	0	2800	80		

### Занятие 16. Пищевые цепи

**Цель занятия** – освоить составление трофических цепей морских и пресных водоемов.

**Пищевая цепь** – это перенос энергии пищи от ее источника – растения по линии поедания одних организмов другими. Каждое звено пищевой цепи соответствует трофическому уровню. **Пищевая сеть** обычно состоит из нескольких пищевых (трофических) цепей, каждая из которых является как бы отдельным каналом, по которому передаются вещество и энергия.

В водных экосистемах пищевые цепи имеют свои особенности:

I. Число звеньев в пищевых цепях больше, чем в наземных экосистемах.

II. Оптимально – 3-5 звена, редко 2, 6, 7.

III. Имеют место три типа пищевых цепей:

- пастбищные – растение → растительноядные животные → хищники;

- детритные – мертвое органическое вещество, минерализуемое микроорганизмами, органическое вещество в детрите → детритофаги → хищники;

- метаболитные (специфические) – возникают на основе осмотического питания растворенными органическими веществами.

Пример 6-членной морской пищевой цепи:

1. Диатомовые перидинеи – I трофический уровень, продуцент.
2. Веслоногие рачки – II трофический уровень, первичный консумент.
3. Сельдь (молодь) – III трофический уровень, вторичный консумент.
4. Скумбрия – IV трофический уровень, третичный консумент.
5. Кальмары – V трофический уровень, четверичный консумент.
6. Человек (наземные экосистемы) – VI трофический уровень.

**Задание 16.1.** Определите, пирамиды биомассы каких биоценозов изображены на рисунке 11. Поясните и обоснуйте ответ.



*Рисунок 11 – Пирамиды биомассы в некоторых биоценозах:  
П – продуценты; РК – растительные консументы;  
ПК – плотоядные консументы; Ф – фитопланктон; З – зоопланктон*

**Задание 16.2.** Предложите трофическую сеть для моря и пресноводного водоема по наиболее длинному и наиболее короткому пути. Пищевые предпочтения консументов приведены в таблице 20.

**Море:** одноклеточные водоросли (диатомовые, синезеленые), водные растения (зостера), крупные водоросли (ламинария, ундария, котария), планктонные рачки (капеподы, изоподы), хищный планктон (мизиды, эуфаузивые), рыбы (сельдь, скумбрия, терпуг, колюшка, лососи, тунец, акула), тюлени, киты зубатые (касатка), киты усатые (синий полосатик).

**Пресноводный водоем:** рогоз широколистственный; карась золотистый; кубышка желтая; щука обыкновенная; ряска; малек рыбы; водоросли; лягушка озерная; элодея; головастик лягушки; фитопланктон; планария молочная пиявка ложноконская; беззубка; прудовик; дафния; личинки стрекозы; гладыш; ручейник; плавунец; личинки плавунца; паразиты рыб; опавший лист; бактерии; грибы.

Таблица 20 – Спектр питания некоторых видов

Консументы	Пищевые предпочтения консументов
1	2
Акула	Хищник-рыба, щенки тюленей
Анчоус	Планктонные рачки (капиподы, изоподы), икра и личинки других рыб и беспозвоночных
Амебы	Бактерии, одноклеточные
Афалина	Рыбы разных видов, осьминоги, кальмар, креветки, акулы, угри
Белуха	Рыба: сиговые и лососевые виды, сельдь, навага, камбала, мойва, треска, сайка
Верхогляд	Рыба, молодь карася, чебака, а также личинки насекомых веснянок и поденок в период массового лета
Гребешки	Фильтруют воду, из которой потребляют детрит, бактерии, органическую взвесь, одноклеточные водоросли
Губки	Фильтруют воду, из которой потребляют детрит, бактерии, органическую взвесь, одноклеточные водоросли
Дафнии, циклопы	Одноклеточные водоросли
Дождевые черви	Детрит
Жерех	Мальки рыб, крупные насекомые (жуки, бабочки, стрекозы), в меньшей мере черви
Жуки плавунцы	Хищник, насекомые, ракообразные, головастики, моллюски, маленькие лягушата, мальки
Змееголов	Хищник-засадник, мелкая рыба, лягушки, личинки насекомых и поденок в период их массового лета
Инфузории	Бактерии, водоросли
Кальмар	Хищник, рыба (анчоус, сельды и др.)
Капеподы	Одноклеточные водоросли
Карась	Водоросли, растения, дафнии, циклопы, личинки насекомых, детрит
Касатка	Рыба, головоногие моллюски, тюлени, дельфины (белуги), детеныши китов
Клоп водомерка	Хищник, мелкие насекомые и их личинки
Коловратки	Водоросли одноклеточные, бактерии, органическая взвесь
Колюшка	Мелкие ракообразные, личинки насекомых, черви, икра и мальки других рыб
Красноперка	Водные растения, личинки насекомых – веснянки, поденки, ручейники, молодь рыб
Кряква	Собирает корм, опустив голову вниз (характерная «стойка на голове») и отцеживая клювом растительный материал, а также различных беспозвоночных червей, моллюсков, насекомых

1	2
Ленок	Хищник, личинки насекомых, молодь и взрослая рыба
Личинки комаров	Водоросли, бактерии
Личинки стрекоз	Насекомые, мальки рыб, сок трав
Лягушка сибирская	Комар, пауки, муравьи, кузнечики
Мидия	Фильтрует воду, извлекая из нее органические вещества, бактерии, детрит
Мизиды	Мелкие частицы детрита, которые отфильтровывают щетинками обеих нижних челюстей и ногочелюстей
Миного	В стадии личинок миного питается мелкими водорослями, червями или ракообразными, добывая их на дне, иногда для этого ей приходится зарываться в грунт, взрослые особи стараются держаться поближе к стаям сельди, трески, корюшки или скумбрии, присасываясь к своей жертве
Многощетинковые черви	Детрит
Морские львы	Рыба, морские котики, пингвины
Ондатра	Прибрежные и водные растения – тростник, рогоз, камыш, осока, хвоци, стрелолист, рдесты
Осетр	Рыба, моллюска, черви
Пескарь	Бентофаги: личинки питаются мелкими донными беспозвоночными (корненожками, коловраками), молодые и взрослые рыбы потребляют поденок и мелких моллюсков, икру других рыб
Поденки	Личинка активно питается в основном растительными остатками, бактериями, детрит
Растения	Потребляют солнечную энергию и минеральные вещества, воду, кислород, углекислый газ
Рыбный филин	Кормится главным образом рыбой, водными беспозвоночными (раки, крабы), при случае мелкими позвоночными – птицами, змеями, ящерицами, лягушками, а также насекомыми
Сельдь	Планктонные рачки – изоподы, капеподы
Сиг амурский (уссурийский)	Мелкая рыба и личинки водных насекомых
Синий кит	Криль – мизиды, эуфазивные, рыбы (сельдь, скумбрия, анчоус)
Скумбрия	Планктонные рачки (изоподы, капеподы), мелкая рыба
Таймень	Хищник, рыба (колюшка, хариус, мальма, горбуша, бычок, мальки рыб) и разные животные (кулики, мыши, белки, ондатры), утки

1	2
Толстолобик	Фитопланктон
Трепанг	Профильтровывает зацветшую, зеленую и мутную от детрита воду, органические остатки (детрит)
Тритон	Ракообразные (равноногие, ветвистоусые и другие рачки), личинки стрекоз, клопы-гребляки, личинки жуков-плавунцов, водные моллюски, икра рыб и лягушек
Тунец	Хищник – сельдь, скумбрия, лосось, анчоус, кальмар
Углозуб сибирский	Хищник – рачки, личинки комара
Утка	Растения, рыба и ее икра во время нереста, насекомые и их личинки
Филин рыбный	Малоподвижные рыбы и другие птицы (в зимний и более голодный период), раки, лягушки, грызуны, не брезгует падалью
Хариус	Личинки насекомых: веснянки, поденки, ручейники, личинки стрекозы, икра рыб
Циклопы	Одноклеточные водоросли, бактерии
Чайка	В прибрежной зоне моря охотятся за рыбой, ракообразными, моллюсками, иглокожими, водными червями, на суше питается как растительной, так и животной пищей – грызунами, ящерицами, птенцами и яйцами птиц, насекомыми и их личинками, употребляют в пищу падаль и пищевые отбросы
Чебак	Личинки и взрослые насекомые, нитчатые водоросли, икра
Черви нематоды	Детрит
Щука	Хищник, рыба (сазан, карась, толстолобик, лососи), мальки рыбы, насекомые и их личинки, мыши, свойственен каннибализм
Эуфаузииды	Фитофаги-фильтраторы, использующие в пищу в небольших количествах мелкий зоопланктон и различные водоросли

## Занятие 17. Система гидробиологического мониторинга РФ

**Цель занятия** – изучить основные задачи и принципы гидробиологического мониторинга РФ.

Система гидробиологического мониторинга поверхностных вод в нашей стране была создана в 1974 г. До этого систематический контроль и наблюдения за качеством поверхностных вод и уровнями их загрязнения проводились только по физическим и химическим показателям.

Гидробиологический мониторинг дает возможность прямой, непосредственной оценки состояния пресноводных экосистем. К основным задачам системы гидробиологического мониторинга относятся:

- гидробиологические наблюдения за экологическим состоянием водных объектов, их биологическая оценка и прогноз биологических последствий изменения уровня антропогенных воздействий;
- создание банка гидробиологических данных по экологическому состоянию водных объектов России;
- обеспечение заинтересованных организаций систематической и оперативной информацией;
- обеспечение компетентных организаций материалами для составления рекомендаций в области охраны водной среды, рационального использования водных ресурсов, а также для проектирования народнохозяйственных сооружений, планирования размещения крупных промышленно-энергетических комплексов и других подобных работ.

Основные принципы организации системы гидробиологического мониторинга качества природных вод:

- единство научно-методического руководства сетью гидробиологических лабораторий;
- унификация и стандартизация методов гидробиологического контроля;
- централизация всей гидробиологической информации по состоянию водных объектов страны;
- массовость гидробиологических наблюдений;
- комплексность наблюдений (гидробиологическим наблюдениям сопутствуют гидрологические и гидрохимические).

Первичную ступень в системе гидробиологического мониторинга составляют сетевые гидробиологические лаборатории, в функции которых входят рекогносцировочный осмотр водных объектов региона и регулярные (периодические) наблюдения на постоянных пунктах.

Гидробиологический анализ, будучи важнейшим элементом системы наблюдений за уровнем загрязнения поверхностных вод и донных отложений, включает в себя:

- определение совокупного эффекта комбинированного воздействия загрязняющих веществ на водные биоценозы;
- определение экологического состояния водных объектов и установление экологических последствий их загрязнения;
- определение направления изменения водных биоценозов в условиях загрязнения природной среды;

- оценку качества поверхностных вод и донных отложений как среды обитания организмов, населяющих водоемы и водотоки;
- оценку трофических свойств воды;
- установление возникновения вторичного загрязнения и его источников, а в ряде случаев специфического химического состава воды.

Необходимость внедрения в систему мониторинга водных объектов гидробиологического анализа была обусловлена тем, что система, основанная на сравнении показателей с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК), имеет ряд недостатков:

- ПДК разработаны лишь для несколько сотен вредных веществ водных объектов, а загрязнителей, сбрасываемых в водные объекты, на порядок больше;
- менее половины общего количества нормированных вредных веществ обеспечено методами анализа;
- в водных экосистемах образуются сложные комплексы различных химических соединений антропогенного происхождения, принципиально иначе воздействующие на биоценозы, чем отдельные составляющие, и которые могут оказаться значительно токсичнее анализируемых;
- не учитывается такой фактор, как биологическое загрязнение – внедрение малоценных и сорных видов рыб, вредных для человека патогенных организмов, гидробионтов, ухудшающих качество воды, осложняющих навигацию, снижающих водопрпускную способность каналов, затрудняющих эксплуатацию гидротехнических сооружений.

Полная программа наблюдений за качеством поверхностных вод по гидробиологическим показателям предусматривает:

- исследование фитопланктона – общей численности клеток, числа видов, общей биомассы, численности основных групп, биомассы основных групп, числа видов в группе, массовых видов и видов-индикаторов сапробности;
- исследование зоопланктона – общей численности организмов, общего числа видов, общей биомассы, численности основных групп, биомассы основных групп, числа видов в группе, массовых видов и видов-индикаторов сапробности;
- исследование зообентоса – общей численности, общей биомассы, общего числа видов, числа групп по стандартной разработке, числа видов в группе, числа основных групп, биомассы основных групп, массовых видов и видов-индикаторов сапробности;

- исследование перифитона – общего числа видов, массовых видов, частоты встречаемости, сапробности;
- определение микробиологических показателей – общего числа бактерий, числа сапрофитных бактерий, отношения общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий;
- изучение фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества, определение отношения интенсивности фотосинтеза к деструкции органического вещества, содержания хлорофилла;
- исследование макрофитов включает определение: проективного покрытия на пробной площадке, характера зарастания водоема, общего числа видов, доминирующих видов (наименования, проективного покрытия, фенофазы, аномальных признаков).

Сокращенная программа предусматривает исследование:

- фитопланктона, зоопланктона: общей численности организмов (клеток), общего числа видов, массовых видов и видов-индикаторов сапробности;
- зообентоса: общей численности групп по стандартной разработке, числа видов в группе, числа основных групп, массовых видов и видов-индикаторов сапробности;
- перифитона: общего числа видов, массовых видов, сапробности, частоты встречаемости.

Периодичность наблюдений по гидробиологическим показателям для станций различных категорий приведена в таблице 21.

Таблица 21 – Периодичность проведения наблюдений по гидробиологическим показателям и виды программ

Периодичность проведения наблюдений	Категория пункта наблюдений			
	I	II	III	IV
Ежемесячно	Сокращенная программа		Сокращенная программа (контроль в вегетационный период)	–
Ежеквартально	Полная программа			

**Задание 17.1.** Составьте блок-схему гидробиологического мониторинга. Сделайте выводы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидробиология / М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, О. Н. Ситникова, Т. Л. Соколова. – Кострома : КГУ им. Н.А. Некрасова, 2021. – 104 с. – ISBN 978-5-8285-1119-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/176317> (дата обращения: 19.01.2022).
2. Государственный водный реестр – URL: <https://textual.ru/gvr/> (дата обращения: 19.01.2022).
3. Зилов, Е. А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) / Е. А. Зилов. – Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2008. – 138 с.
4. Иванова, О. И. Государственный водный реестр / О. И. Иванова. – Красноярск : КрасГАУ, 2016. – 119 с.
5. Константинов, А. С. Общая гидробиология / А. С. Константинов. – М. : Высшая школа, 1986. – 472 с.
6. Лазарева, Г. А. Экология водной среды / Г. А. Лазарева, Л. Г. Корнева, П. Ю. Жмылев. – Дубна : Государственный университет «Дубна», 2020. – 125 с. – ISBN 978-5-89847-623-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/196964> (дата обращения: 19.01.2022).
7. Спирина, Е. В. Практикум по дисциплине «Прикладная гидробиология» / Е. В. Спирина. – Ульяновск : УлГАУ имени П. А. Столыпина, 2012. – 187 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/133799> (дата обращения: 19.01.2022).
8. Федеральное агентство водных ресурсов Российской Федерации (Росводресурсы) – URL: <https://gis.favr.ru/opendata> (дата обращения: 19.01.2022).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

Свойства различных групп водной растительности, используемых в качестве биоиндикаторов загрязнения водоемов

Группы организмов	Преимущества	Недостатки
Фитопланктон	Играет важную роль в трофических цепях	Миграция в водоеме, сезонное развитие
Перифитон	Очень высокий фактор накопления загрязняющих веществ; встречаются обычно и повсеместно	Высокочувствителен к токсичности; сложный отбор количественных проб; не минерализуется; сезонное развитие
Макрофиты ( <i>Potamogeton, Elo-dea, Nuphar, Phragmites</i> )	Легко идентифицировать, встречаются в определенных частях водоема в течение ряда лет	Присутствуют в слабо загрязненных средах; большая разница в поглощении загрязняющих веществ у разных видов
Макроскопические водоросли ( <i>Cladophora, Lemanea, Enteromorpha</i> )	Легко идентифицировать; встречаются повсеместно и обильно; высокая толерантность к загрязняющим веществам; отражают количественное содержание в воде загрязняющих веществ	Сезонное развитие; очень чувствительны к изменениям гидрологических условий (паводки)

## Приложение Б

### Средние массы организмов зоопланктона, мг

Вид	Масса
Ветвистоусые ракообразные ( <i>Cladocera</i> )	
<i>Daphnia longispina</i> , <i>Muller</i>	0,06
<i>Daphnia pulex</i> , <i>De Geer.</i>	0,2
<i>Daphnia magna</i> , <i>Straus.</i>	1,54
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> , <i>Sars.</i>	0,023
<i>Moina rectirostris</i> , <i>Leydig.</i>	0,113
<i>Bosmina longirostris</i> , <i>Muller</i>	0,0078
<i>Chydorus sphaericus</i> , <i>Muller</i>	0,0125
<i>Leptodora kindti</i> , <i>Focke</i>	0,3
Молодь ветвистоусых	0,001
Веслоногие ракообразные ( <i>Copepoda</i> )	
<i>Cyclops</i> sp.	0,058
<i>Diaptomus</i> sp.	0,055
Nauplii	0,0008
Copepoditi	0,004
Коловратки ( <i>Rotatoria</i> )	
<i>Asplanchna priodonta</i> , <i>Gosse</i>	0,012
<i>Filinia</i> sp.	0,0003
<i>Polyarthra trigla</i> , <i>Ehrbg.</i>	0,00054
<i>Brachionus angularis</i> , <i>Gosse</i>	0,00038
<i>B. bakeri</i> , <i>Muller</i>	0,00007
<i>B. calyciflorus</i> , <i>Pall.</i>	0,0035
<i>Keratella cochlearis</i> , <i>Gosse</i>	0,00017
<i>K. quadrata</i> , <i>Muller</i>	0,00054
<i>Notholca</i> sp.	0,0025
Мелкие коловратки	0,0004
Прочие организмы	
Ostracoda	0,018
Larvae Chironomidae	0,03
Oligochaeta	0,025

# ГИДРОБИОЛОГИЯ

*Методические указания*

*Алексеева Елена Александровна*

*Электронное издание*

*Редактор И.Н. Крицына*

Подписано в свет 29.06.2022. Регистрационный номер 87  
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117  
e-mail: rio@kgau.ru