

И.А.Литвенкова

ЭЛЕКТРОННЫЙ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
«Гидроэкология»

для специальности 1-33 01 01 – «Биоэкология»

2011

Составитель:

Литвенкова И.А. зав. кафедрой экологии и охраны природы УО «ВГУ им. П.М. Машерова»,
кандидат биологических наук, доцент

Рецензенты:

Седловская С.М. преподаватель кафедры зоологии УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат
биологических наук

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. В пособии освещены основные теоретические и прикладные вопросы гидроэкологии. УМК включает типовую и учебную программу курса, лекционный материал, лабораторные работы, вопросы к экзамену, тестовые задания, перечень практических навыков и умений, перечень вопросов для контрольных работ, список основной и дополнительной литературы. Данный учебно-методический комплекс рекомендован для студентов дневной и заочной форм обучения (3,5 курс), обучающихся по специальности 1-33 01 01 «Биоэкология».

Карта электронного учебно-методического комплекса «Гидроэкология»

Оглавление

1. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	4
Цели и задачи дисциплины:	4
Требования к уровню освоения содержания курса.....	4
Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины.....	4
2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины.....	5
2.1. Типовая учебная программа курса.....	5
2.2. Учебная программа курса.....	12
3. Теоретический раздел электронного учебно-методического комплекса «Гидроэкология»	53
1. Планктон и нектон	85
2. Бентос и перифитон	90
3. Пелагобентос, нейстон и плейстон	94
4. Практический раздел электронного учебно-методического комплекса «Гидроэкология»	125
4.1. Лабораторные занятия	125
5. БЛОК КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ГИДРОЭКОЛОГИЯ».....	169
5.1. Тесты по дисциплине «ГИДРОЭКОЛОГИЯ» для студентов ДО (3,5 курсов) и ЗО	169
5.2. Экзаменационные материалы для проверки практических навыков для студентов ДО и ЗО	179
5.3. Вопросы к экзамену для студентов ДО (3 курс)	188
5.4. Темы контрольных работ.....	192
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	196
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	196

1. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. «Гидроэкология» является обязательной дисциплиной в системе экологического образования.

Цели и задачи дисциплины:

Цель курса – сформировать у студентов целостное представление о структурной и функциональной организации водных экосистем.

Задачи курса – вооружить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для понимания и изучения:

- 1) взаимодействия гидробионтов со средой;
- 2) их роли в функционировании водных экосистем естественного и искусственного происхождения;
- 3) процессов трансформации вещества и энергии, формирования качества вод, самоочищения и эвтрофирования внутренних вод, морей и океанов;
- 4) биологической продуктивности водных экосистем.

Требования к уровню освоения содержания курса

При изучении курса «ГИДРОЭКОЛОГИЯ» студенты биологического факультета должны:

знать:

- структуру гидросферы планеты;
- морфометрические характеристики водоемов;
- суточную и сезонную динамику освещенности, температуры, газов (O_2 и CO_2) в водных экосистемах;
- классификацию вод по солености;
- экологические зоны океана, озера, реки, пруда;
- экологические группировки (сообщества) водных экосистем;
- глобальные экологические проблемы гидросферы: эвтрофирование, кислотные осадки, повышение глобальной температуры Мирового океана;
- пути и способы регулирования продуктивности водных экосистем

уметь:

- пользоваться методами измерения морфометрических показателей водоема;
- определять величины показателей освещенности, растворенного в воде кислорода, активной реакции среды;
- определять продукцию гидробионтов;
- осуществлять сбор и количественный анализ образцов планктона, бентоса, перифитона.

Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
1	Общая экология	Популяция, биоценоз, экосистема. Жизненные формы гидробионтов.
2	Зоология	Систематика животных.
3	Ботаника	Систематика растений.
4	Анатомия и физиология животных	Строение и физиологические процессы водных организмов.
5	Альгология и микология	Систематика и морфология водорослей морских и континентальных водоемов.
6	Популяционная экология	Особенности популяций гидробионтов.

2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

2.1. Типовая учебная программа курса

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь
по экологическому образованию

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ А.И. Жук

30 ____06____ 2010 г.

Регистрационный № ТД-Г. _293_/тип.

Гидроэкология

Типовая учебная программа
для высших учебных заведений по специальности:
1-33 01 01 Биоэкология

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМО вузов РБ по
экологическому образованию
_____ С.П. Кундас

30 ____12____ 2010 г.

СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего и
среднего специального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ Ю. И. Миксюк

30 ____06____ 2010 г.

Проректор по учебной и воспитательной работе
Государственного учреждения
образования «Республиканский институт
высшей школы»

_____ В. И. Шупляк

25 ____06____ 2010 г.

Эксперт-нормоконтролер

_____ С. М. Артемьева

25 ____06____ 2010 г.

Минск 2010

СОСТАВИТЕЛИ:

Александр Павлович Остапеня, заведующий научно-исследовательской лабораторией гидроэкологии Белорусского государственного университета, доктор биологических наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор;

Лилия Васильевна Камлюк, профессор кафедры общей экологии и методики преподавания биологии Белорусского государственного университета, доктор биологических наук, профессор

Рецензенты:

Лаборатория гидробиологии Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»;

Леонид Михайлович Сущеня, советник Президиума Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, академик Российской академии наук и Национальной академии наук Беларуси, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой общей экологии и методики преподавания биологии Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 15 октября 2009 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 1 от 23 октября 2009 г.);

Научно-методическим советом по специальностям 1-33 01 01 Биоэкология, 1-33 80 01 Экология и 1-33 01 02 Геоэкология Учебно-методического объединения вузов РБ по экологическому образованию (протокол № 3 от 16 декабря 2009 г.)

Ответственный за редакцию: Александр Павлович Остапеня

Ответственный за выпуск: Лилия Васильевна Камлюк

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. «Гидроэкология» является обязательной дисциплиной в системе экологического образования.

Цель курса – сформировать у студентов целостное представление о структурной и функциональной организации водных экосистем.

Задачи курса – вооружить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для понимания и изучения:

- 5) взаимодействия гидробионтов со средой;
- 6) их роли в функционировании водных экосистем естественного и искусственного происхождения;
- 7) процессов трансформации вещества и энергии, формирования качества вод, самоочищения и эвтрофирования внутренних вод, морей и океанов;
- 8) биологической продуктивности водных экосистем.

Организация самостоятельной работы студентов по курсу предполагает размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, вопросы для самоконтроля, темы практических и семинарских занятий и методические и информационные материалы к ним и др.).

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- структуру гидросферы планеты;
- морфометрические характеристики водоемов;
- суточную и сезонную динамику освещенности, температуры, газов (O_2 и CO_2) в водных экосистемах;
- классификацию вод по солености;
- экологические зоны океана, озера, реки, пруда;
- экологические группировки (сообщества) водных экосистем;
- глобальные экологические проблемы гидросферы: эвтрофирование, кислотные осадки, повышение глобальной температуры Мирового океана;
- пути и способы регулирования продуктивности водных экосистем

уметь:

- пользоваться методами измерения морфометрических показателей водоема;
- определять величины показателей освещенности, растворенного в воде кислорода, активной реакции среды;
- определять продукцию гидробионтов;
- осуществлять сбор и количественный анализ образцов планктона, бентоса, перифитона.

Программа рассчитана на 104 часа, в том числе 36 часов аудиторных: 24 – лекционных и 12 – лабораторных занятий.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ темы	Наименование темы	Аудиторные часы		
		Всего	Лекции	Лабораторные занятия
I	Введение	2	2	–
II	Водные ресурсы	2	2	
III	Водная среда и ее характеристики	10	6	4
IV	Экологические зоны в водных экосистемах	2	2	–
V	Сообщества водных экосистем	8	4	4
VI	Сестон и детрит	8	4	4
VII	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными экосистемами	4	4	
ИТОГО:		36	24	12

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

I. ВВЕДЕНИЕ

Определение и содержание гидроэкологии. История возникновения и развития гидроэкологии. Морские и пресноводные биостанции. Развитие методических подходов к изучению водных экосистем. Первые экспедиционные исследования. Выдающиеся лимнологи и океанологи. Коссинская биологическая станция. Г.Г. Винберг и продукционная гидробиология. Нарочанская биологическая станция и ее роль в формировании белорусской школы продукционной гидроэкологии.

II. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Вода в биосфере. Океаны. Моря. Реки. Озера. Происхождение озер. Пресная вода стратегический ресурс человечества. Использование пресной воды в стране и в мире. Водные ресурсы Беларуси. Система водосбор – озеро. Важнейшие морфометрические характеристики водоемов. Понятие трофии водоемов. Трофические типы озер.

III. ВОДНАЯ СРЕДА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Аномальные свойства воды и жизнь на планете Земля. Температура. Температурная стратификация водоемов. Эпи-, гипо и металимнион: свойства, особенности существования гидробионтов. Стабильность стратификации. Типы перемешивания водной массы в озерах. Амиктические, мономиктические, димиктические, полимиктические и меромиктические типы озер.

Свет. Физические свойства света. Закономерности проникновения света в водную толщу. Факторы, контролирующие поглощение света в воде. Абсорбция света фотосинтетическими пигментами. Свет и водные животные. Свет в озерах. Прозрачность. Эуфотическая зона. Ультрафиолет и водные экосистемы.

Солевой состав пресных и морских вод. Основные компоненты солевого состава. Концентрация основных ионов в пресных водах. Мертвое море. Соленость различных зон мирового океана. Соленость и биоразнообразие.

Растворенные в воде газы. Экологически наиболее значимые газы (O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S). Источники растворенных газов. Закон Генри. Кислород и его роль в функционировании водных экосистем. Факторы, влияющие на содержание кислорода в водоемах. Инвазия и эвазия кислорода. Вертикальное распределение кислорода в водоемах разного типа и факторы его определяющие. Заморы. Гипоксия и аноксия. Продуктивность водоемов и гипоксия. Зимние и летние заморы. Заморные зоны мирового океана. Возможные последствия гипоксии. Прогноз заморов в озерах.

Биогенные элементы. Растворенный неорганический углерод. Карбонатная буферная система. Азот. Биологическая фиксация азота. Аммонификация. Нитрификация. Денитрификация. Цикл азота. Вертикальное распределение азота в водоемах разного типа. Фосфор: общий, взвешенный, реактивный, биодоступный. Диффузные и точечные источники фосфора. Цикл фосфора. Морские птицы и цикл фосфора. Фосфор и уровни трофии водоемов. Вертикальное распределение фосфора в водоемах разного типа.

IV. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗОНЫ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Экологические зоны Мирового океана. Неритическая зона. Океаническая зона. Литораль, батияль, абиссаль, ультраабиссаль. Пелагиаль. Бенталь. Экологические зоны озер. Литораль. Профундаль. Эпилимнион. Металимнион. Гиполимнион. Трофогенная и трофолитические зоны. Экологические зоны рек. Рипаль. Медиаль.

V. СООБЩЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Нейстон. Гипонейстон. Эпинеuston. Особенности существования в поверхностной пленке. Методические приемы работы с организмами нейстона. Метафитон. Состав метафитона. Механизмы образования метафитона.

Экологические проблемы, связанные с формированием метафитона.

Планктон. Особенности существования во взвешенном состоянии. Голопланктон. Меропланктон. Размерная структура планктонного сообщества. Пикопланктон. Нанопланктон. Сетной планктон.

Фитопланктон. Альгофлора Беларуси. Основные таксономические группы. Токсический фитопланктон. Красные приливы. Методы сбора и определения биомассы. Расчет биомассы в столбе воды. Сезонная сукцессия фитопланктонных популяций. Хлорофилл в планктоне. Методы определения. Люминесцентная микроскопия. Пикопланктон и его продукционные возможности. Первичная продукция планктона. Методы определения первичной продукции. Зависимость первичной продукции от света, температуры, содержания биогенных элементов. Первичная продукция планктона в расчете на единицу объема и единицу площади водоема. Глобальное распределение первичной продукции в Мировом океане. Факторы, контролирующие уровень первичной продукции. Апвеллинги.

Зоопланктон. Основные группы зоопланктона. Протисты. Коловратки. Ветвистоусые. Веслоногие. Размерный спектр, стратегия питания и число Рейнольдса. Зоопланктон и пищевые цепи. Продукция зоопланктона как часть потока энергии. Р/В-отношение. Скорость оборота. Время оборота. Фильтрационная активность зоопланктона. Вклад зоопланктона в продуктивность и процессы самоочищения водоемов.

Зоо- и фитобентос. Основные группы животных и растений, обитающих в донных биотопах. Взаимоотношение макрофитов и фитопланктона. Роль бентосных организмов в процессах формирования качества вод и продуктивности водоемов.

Перифитон. Особенности существования на границе раздела фаз. Биопленка и закономерности ее формирования. Виды перифитона. Эпифитон, эпиитон, эпипелон, эпипсаммон. Элементы перифитонного мата. Структура перифитонного мата. Долевое участие

перифитона в первичной продукции озер. Роль перифитона в процессах формирования качества вод и продуктивности водоемов.

Бактериопланктон. Методы определения численности и биомассы бактерий в воде. Роль бактерий в трансформации вещества и энергии в водных экосистемах. Бактериальная петля. Продукция бактерий. Роль бактериопланктона в процессах формирования качества вод и продуктивности водоемов.

VI. СЕСТОН И ДЕТРИТ

Компонентный состав **сестона**. Размерный спектр взвешенных веществ. Вклад сестона в деструкционные процессы. Соотношение легко и трудноокисляемого органического вещества в сестоне. Седиментация взвешенных веществ. Биогенные механизмы седиментации. Методы определения скорости седиментации в озерах. Биопомпа. Роль сестона в процессах формирования качества вод и продуктивности водоемов.

Детрит. Соотношение между планктоном и детритом в водоемах разного типа и степени загрязнения. Закономерности образования и созревания детрита. Детрит как пищевой ресурс в водных экосистемах. Факторы, контролирующие утилизацию детрита в пищевых цепях. Детрит и микрофлора.

VII. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Эвтрофирование. Причины. Последствия. Внешняя и внутренняя биогенная нагрузка. Пищевые цепи и управление функционированием водных экосистем. Биоманипуляции как метод управления функционированием водных экосистем.

Кислотные дожди. Причины. Последствия.

Глобальное потепление: озера и Мировой океан. Биопомпа и выведение углекислоты из атмосферы.

Нарочанские озера. Экологические проблемы и пути их решения.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
2. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.
3. *Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР / Л.А. Зенкевич. М., 1963.
4. *Константинов А.С.* Общая гидробиология / А.С. Константинов. М.: Высшая школа, 1986. 466 с.
5. *Романенко В.Д.* Основы гидроэкологии / В.Д. Романенко. К.: Генеза, 2004. 664 с.

Дополнительная:

1. *Бульон В.В.* Первичная продукция планктона внутренних водоёмов / В.В. Бульон. Л.: Наука, 1983. 150 с.
2. *Бреховских В.Ф.* Биота в процессах массопереноса в водных объектах / В.Ф. Бреховских, В.Д. Казмирук, Г.Н. Вишневская. М.: Наука, 2008. 315 с.
3. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. Мн.: Издательство АН БССР, 1960. 329 с.
4. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии / Г.А. Заварзин. М.: Наука, 2004. 348 с.
5. *Израэль Ю.А.* Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 528 с.
6. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. В 2-х томах. /И.А. Киселев. Л.: Наука. Т.1. 1969. – 658 с. Т.2. 1980. 439 с.
7. *Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
8. *Крючкова Н.М.* Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона / Н.М. Крючкова. М.: Наука, 1989. 124 с.
9. Океанология (Биология океана). Т. 1. Биологическая структура океана. М.: Наука, 1977. 398 с.
10. Океанология (Биология океана). Т.2. Биологическая продуктивность океана. М.: Наука, 1977. 399 с.
11. *Протасов А.А.* Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. Киев: Наукова думка, 1994. 307 с.
12. *Сущенко Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных / Л.М. Сущенко. Минск: Наука и техника, 1975. 208 с.
13. *Федоров В.В.* О методах изучения фитопланктона и его активности / В.В. Федоров. М.: Наука, 1979. 168 с.
14. *Хатчинсон Д.* Лимнология / Д. Хатчинсон. М.: Мир, 1969. 403 с.
15. *Шитиков В.К.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

2.2. Учебная программа курса

Учреждение образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»
(название высшего учебного заведения)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

_____ А.П. Солодков

« ____ » _____ 20 ____ г.

Регистрационный № УД- _____/р.

Гидроэкология

(название дисциплины)

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

1-33 01 01

(код специальности)

Биоэкология

(наименование специальности)

Факультет биологический

Кафедра экологии и охраны природы

Курс (курсы) 3

Семестр (семестры) 5

Лекции 20
(количество часов)

Экзамен 5

(семестр)

Лабораторные
занятия 10
(количество часов)

Всего аудиторных
часов по дисциплине 36
(количество часов)

Всего часов
по дисциплине 104
(количество часов)

Форма получения
высшего образования дневная

Составил(а) зав. кафедрой экологии и охраны природы, доцент. к.б.н И.А.Литвенкова
(И.О.Фамилия, ученая степень, ученое звание)

2011 г.

Учебная программа составлена на основе типовой программы “Гидроэкология” для специальности 1-33 01 01 Биоэкология, утверждена Министерством образования 30.062011г, Рег. № ТД-Г. 293/тип.

(название типовой учебной программы (учебной программы), дата утверждения, регистрационный номер)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры

Экологии и охраны природы

(название кафедры)

Протокол № _____

(дата, номер протокола)

Заведующий кафедрой _____ И.А.Литвенкова

(подпись)

(И.О.Фамилия)

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом учреждения образования “Витебский государственный университет имени П.М. Машерова”

(дата, номер протокола)

Председатель

(подпись)

(И.О.Фамилия)

1. Пояснительная записка

1.1. Цель преподавания дисциплины

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. «Гидроэкология» является обязательной дисциплиной в системе экологического образования.

Цель курса – сформировать у студентов целостное представление о структурной и функциональной организации водных экосистем.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачи курса – вооружить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками необходимыми для понимания и изучения:

- 1) взаимодействия гидробионтов со средой;
- 2) их роли в функционировании водных экосистем естественного и искусственного происхождения;
- 3) процессов трансформации вещества и энергии, формирования качества вод, самоочищения и эвтрофирования внутренних вод, морей и океанов;
- 4) биологической продуктивности водных экосистем.

Организация самостоятельной работы студентов по курсу предполагает размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, вопросы для самоконтроля, темы практических и семинарских занятий и методические и информационные материалы к ним и др.).

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- структуру гидросферы планеты;
- морфометрические характеристики водоемов;
- суточную и сезонную динамику освещенности, температуры, газов (O_2 и CO_2) в водных экосистемах;
- классификацию вод по солености;
- экологические зоны океана, озера, реки, пруда;
- экологические группировки (сообщества) водных экосистем;
- глобальные экологические проблемы гидросферы: эвтрофирование, кислотные осадки, повышение глобальной температуры Мирового океана;
- пути и способы регулирования продуктивности водных экосистем

уметь:

- пользоваться методами измерения морфометрических показателей водоема;
- определять величины показателей освещенности, растворенного в воде кислорода, активной реакции среды;
- определять продукцию гидробионтов;
- определять качество воды по показателям бентоса и планктона;
- сравнивать видовое разнообразие в водных экосистемах.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
1	2	3
1.	Общая экология	Популяция, биоценоз, экосистема. Жизненные формы гидробионтов.
2.	Зоология	Систематика животных.
3.	Ботаника	Систематика растений.
4.	Анатомия и физиология животных	Строение и физиологические процессы водных организмов.
5.	Альгология и микология	Систематика и морфология водорослей морских и континентальных водоемов.
6.	Популяционная экология	Особенности популяций гидробионтов.
7.	Ландшафтная экология	Водоемы.

2. Содержание учебного материала

2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
1.	Введение.	1. Предмет, основные задачи и методы исследований. 2. Общие принципы и понятия гидроэкологии. 3. Основные направления развития гидроэкологии на современном этапе. 4. Основные этапы истории развития гидроэкологических знаний.	2
2.	Водная среда и ее характеристики	1. Температура, как абиотический фактор среды водоемов. Основные термодинамические свойства воды. 2. Температурная стратификация в водоемах. 3. Термическая классификация озер Ф.Фореля, Хатчинсона. 4. Температурные зоны мирового океана. 5. Влияние температуры на биологические явления. Температурные адаптации гидробионтов. 6. Кислород, как экологический фактор водоема. Адаптации гидробионтов к нехватке кислорода в воде. 7. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Давление. 8. Солевой состав вод и адаптация к нему гидробионтов. 9. Биогенные элементы.	4
3.	Экологические зоны в водных экосистемах	1. Экологическая зональность Мирового океана. 2. Экологические зоны бентали и пелагиали озер. 3. Экологические зоны реки. Экологические особенности малых рек. 4. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры. 5. Экологические особенности болот. 6. Пруды рыбохозяйственного назначения: гидрохимический и гидробиологический режимы. Факторы, обуславливающие рыбопродуктивность прудов. 7. Экология грунтовых, артезианских и минеральных вод. 8. Экология пещерных и интерстициальных вод. 9. Пресноводный псаммон как экологическая система.	4
4.	Сообщества водных экосистем	1. Нейстон. 2. Планктон. 3. Фитопланктон. 4. Зоопланктон. 5. Зоо- и фитобентос. 6. Перифитон. 7. Бактериопланктон.	4

		8. Сестоон и детрит. 9. Методология исследования фито-зоопланктона, бентоса нектона. Оценка численности и биомассы гидробионтов.	
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами.	1. Естественная и антропогенная эвтрофикация. 2. Индикаторные характеристики эвтрофикации: физические, химические и биологические факторы эвтрофирования. 3. «Цветение» воды как гидробиологический процесс, обусловленный эвтрофикацией. 4. Термофикация водоемов и ее влияние на гидробионтов. 5. Токсическое загрязнение и его последствия для водных экосистем. Влияние ксенобиотиков на гидробионтов. 6. Биологическая детоксикация. 7. Распределение и миграция радионуклидов в водных экосистемах. Накопление радионуклидов в организме гидробионтов. Кислотные дожди. 8. Биологическая продуктивность водных экосистем. Аквакультура. Прудовое хозяйство.	4
Всего			20

2.3. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1.	Адаптации гидробионтов к неблагоприятным факторам среды.	1. Изучение отличительных особенностей покоящихся стадий гидробионтов (препараты с геммулами и статобластами, фиксированные дафнии с эфиппиями и партеногенитическими яйцами). 2. Индикация качества вод по показателям макрозообентоса (методом Вудивисса).	2
2.	Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени зарастания.	1. Генетическая классификация озер Беларуси. 2. Экологическая характеристика разных генетических типов озер. 3. Определение типов озер по характеру и степени зарастания водной растительностью.	2
3.	Продуктивность популяции донного сообщества.	1. Методы расчета продуктивности водных сообществ. 2. Факторы, определяющие величину продукции гидрозкосистем. 3. Оценка продуктивности донного сообщества расчетными методами.	2
4.	Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек.	1. Общие принципы функционирования системы самоочищения воды. 2. Расчет величины самоочищения водоемов. Расчет скорости самоочищения водоема. Расчет удельной самоочищающей способности биомассы.	2
10.	Оценка видового разнообразия и анализ изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	1. Видовая структура гидробиоценозов и индексы, применяемые для ее оценки. 2. Рассчитать индекс Шеннона. 3. Рассчитать индекс Бергера–Паркера. Отметить изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	2
Всего			10

2.5. Самостоятельная контролируемая работа студентов и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1	Состояние экосистем водоемов Беларуси.	Загрязнение водных объектов Беларуси. Антропогенные и естественные факторы деградации водных экосистем. Ход антропогенного эвтрофирования на примере Нарочанской группы озер (Нарочь, Мястро, Баторино). Гидроэкологические проблемы Белорусского Полесья. Охрана водных экосистем в Беларуси.	6

Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		20		10	6			
1.	Введение	2					1,2,3,5	устный опрос
2.	Водная среда и ее характеристики	4		2		Т-1, М-1	1,2,3	тест
3.	Экологические зоны в водных экосистемах	6		2		Т-2, М-1	1,2,3,13,15	контрольная работа
4.	Сообщества водных экосистем	4		2		С-1, С-2, С-3, М-1	1,2,3,6,12,16	тест
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами	4		4		С-4, М-1	1,2,3,6,10,11,14	тест

4. Информационная (информационно-методическая) часть

4.1. Основная и дополнительная литература

№	Перечень литературы	Год изд.
Основная		
1.	Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк. - 1986. -427с.	1986
2.	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во УО «ВГУ им. Машерова». -2007. -58с.	2007
3.	Романенко В.Д. Основы гидроэкологии: учебн. для студ. высш. уч. зав. –К.: Генеза, 2004. -664с.	2004
4.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.	1989
5.	Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.	2000
Дополнительная		
6.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Лн.: Гидрометеиздат. -1989. -151с.	1989
7.	Жадин В.И. Методы гидробиологических исследований. – М.: Высш. шк. -1960. -451с.	1960
8.	Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР их фауна и флора. –М.: ГУПИМП. -1961. -597с.	1961
9.	Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М.: Наука. -1984. -739с.	1984
10.	Шилов И.А. Экология. –М.: Высшая школа. -2000. -512с.	2000
11.	Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. – Москва: Наука. Под редакцией Ф.Д. Мордухай-Болтовского. -1974.	1974
12.	Протасов А.А. Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. Киев: Наукова думка, 1994. 307 с.	1994
13.	Зоопланктон и его продукция: методич. рекомен. по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. –Л.: ЗИН АН СССР. -1984. -33с.	1984
14.	Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Принципы и контроль антропогенного эвтрофирования. Лн.: Гидрометеиздат. -1990. -273с.	1987
15.	Яшнов В.а. Практикум по гидробиологии. –М.: Высш. шк. -1969. -265с.	1969
16.	Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.	2003
Перечень используемых информационных ресурсов		
а) Электронные журналы		
17.	Научная библиотека электронных журналов по	

	естественным наукам - http://www.library.khstu.ru	
18.	Электронный каталог журналов - http://www.benran.ru	
19.	Электронная версия журнала «Экология и жизнь» - http://www.ecolife.ru/index.shtml	
20.	Электронная версия журнала «Гидробиология» - http://hydrobiolog.narod.ru/	
б) Образовательные сайты и порталы		
21.	Естественнонаучный образовательный портал - http://en.edu.ru	
22.	Сайт «Все образование в Интернет» - http://www.alledu.ru/	
23.	Союз образовательных сайтов - проекта Allbest.ru. - http://www.allbest.ru/union/	

4.2 а). Перечень наглядных и других пособий, методических указаний по проведению конкретных видов учебных занятий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам

№№ п/п	Перечень пособий
	С-Слайды.
С-1	Экологические зоны бентали и пелагиали озер.
С-2	Представители озерно-прудового фито- и зоопланктона.
С-3	Представители озерно-прудового бентоса.
С-4	Животные и растения, обитающие в текущих водах.
С-5	Население болот.
С-5	Морской фитопланктон.
С-6	Представители морского голопланктона.
	М - Методический материал.
М-1	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во ВГУ им. Машерова, 2007.
М-2	Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны. –Лн.:УПИ -1951. -160с.
М-3	Фиксированный материал гидробионтов.
	Т- Таблицы
Т-1	Температурная и кислородная стратификация в озерной экосистеме.
Т-2	Адаптации гидробионтов к водно-солевым условиям среды.

б) Методические материалы, раскрывающие методику использования ЭВМ в учебном процессе

	Презентация курса лекций

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	
1	2	3	4
Биотический круговорот	Экологии и охраны природы	Вопрос по продуктивности водных экосистем читается в курсе «Гидроэкология»	
Природопользование и охрана природы	Экологии и охраны природы	Вопросы использования и охрана вод читаются в курсе «Природопользование и охрана природы»	

УТВЕРЖДАЮ
Ректор УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

_____ А.П. Солодков

« ____ » _____ 20 ____ г.

Регистрационный № УД- _____ /р.

Гидроэкология
(название дисциплины)

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

1-33 01 01

(код специальности)

Биоэкология

(наименование специальности)

Факультет биологический

Кафедра экологии и охраны природы

Курс (курсы) 3

Семестр (семестры) 5

Лекции 20

(количество часов)

Экзамен

5

(семестр)

Лабораторные

занятия 10

(количество часов)

Всего аудиторных

часов по дисциплине 36

(количество часов)

Всего часов

по дисциплине 104

(количество часов)

Форма получения

высшего образования дневная

Составил(а) зав. кафедрой экологии и охраны природы, доцент. к.б.н И.А.Литвенкова

(И.О.Фамилия, ученая степень, ученое звание)

2011 г.

Учебная программа составлена на основе типовой программы “Гидроэкология” для специальности 1-33 01 01 Биоэкология, утверждена Министерством образования 30.062011г, Рег. № ТД-Г. 293/тип.

(название типовой учебной программы (учебной программы), дата утверждения, регистрационный номер)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры

Экологии и охраны природы

(название кафедры)

Протокол №

(дата, номер протокола)

Заведующий кафедрой И.А.Литвенкова

(подпись)

(И.О.Фамилия)

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом учреждения образования “Витебский государственный университет имени П.М. Машерова”

(дата, номер протокола)

Председатель

(подпись)

(И.О.Фамилия)

1. Пояснительная записка

1.1. Цель преподавания дисциплины

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. «Гидроэкология» является обязательной дисциплиной в системе экологического образования.

Цель курса – сформировать у студентов целостное представление о структурной и функциональной организации водных экосистем.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачи курса – вооружить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками необходимыми для понимания и изучения:

- 9) взаимодействия гидробионтов со средой;
- 10) их роли в функционировании водных экосистем естественного и искусственного происхождения;
- 11) процессов трансформации вещества и энергии, формирования качества вод, самоочищения и эвтрофирования внутренних вод, морей и океанов;
- 12) биологической продуктивности водных экосистем.

Организация самостоятельной работы студентов по курсу предполагает размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, вопросы для самоконтроля, темы практических и семинарских занятий и методические и информационные материалы к ним и др.).

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- структуру гидросферы планеты;
- морфометрические характеристики водоемов;
- суточную и сезонную динамику освещенности, температуры, газов (O_2 и CO_2) в водных экосистемах;
- классификацию вод по солености;
- экологические зоны океана, озера, реки, пруда;
- экологические группировки (сообщества) водных экосистем;
- глобальные экологические проблемы гидросферы: эвтрофирование, кислотные осадки, повышение глобальной температуры Мирового океана;
- пути и способы регулирования продуктивности водных экосистем

уметь:

- пользоваться методами измерения морфометрических показателей водоема;
- определять величины показателей освещенности, растворенного в воде кислорода, активной реакции среды;
- определять продукцию гидробионтов;
- определять качество воды по показателям бентоса и планктона;
- сравнивать видовое разнообразие в водных экосистемах.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
1	2	3
1.	Общая экология	Популяция, биоценоз, экосистема. Жизненные формы гидробионтов.
2.	Зоология	Систематика животных.
3.	Ботаника	Систематика растений.
4.	Анатомия и физиология животных	Строение и физиологические процессы водных организмов.
5.	Альгология и микология	Систематика и морфология водорослей морских и континентальных водоемов.
6.	Популяционная экология	Особенности популяций гидробионтов.
7.	Ландшафтная экология	Водоемы.

2. Содержание учебного материала

2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
1.	Введение.	5. Предмет, основные задачи и методы исследований. 6. Общие принципы и понятия гидроэкологии. 7. Основные направления развития гидроэкологии на современном этапе. 8. Основные этапы истории развития гидроэкологических знаний.	2
2.	Водная среда и ее характеристики	10. Температура, как абиотический фактор среды водоемов Основные термодинамические свойства воды. 11. Температурная стратификация в водоемах. 12. Термическая классификация озер Ф.Фореля, Хатчинсона. 13. Температурные зоны мирового океана. 14. Влияние температуры на биологические явления. Температурные адаптации гидробионтов. 15. Кислород, как экологический фактор водоема. Адаптации гидробионтов к нехватки кислорода в воде. 16. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Давление. 17. Солевой состав вод и адаптация к нему гидробионтов. 18. Биогенные элементы.	4
3.	Экологические зоны в водных экосистемах	4. Экологическая зональность Мирового океана. 5. Экологические зоны бентали и пелагиали озер. 2. Экологические зоны реки. Экологические особенности малых рек. 5. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры. 6. Экологические особенности болот. 7. Пруды рыбохозяйственного назначения: гидрохимический и гидробиологический режимы. Факторы, обуславливающие рыбопродуктивность прудов. 8. Экология грунтовых, артезианских и минеральных вод. 6. Экология пещерных и интерстициальных вод. Пресноводный псаммон как экологическая система.	6
4.	Сообщества водных экосистем	10. Нейстон. 11. Планктон. 12. Фитопланктон. 13. Зоопланктон. 14. Зоо- и фитобентос. 15. Перифитон. 16. Бактериопланктон.	4

		17. Сестоон и детрит. 18. Методология исследования фито-зоопланктона, бентоса нектона. Оценка численности и биомассы гидробионтов.	
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами.	9. Естественная и антропогенная эвтрофикация. 10. Индикаторные характеристики эвтрофикации: физические, химические и биологические факторы эвтрофирования. 11. «Цветение» воды как гидробиологический процесс, обусловленный эвтрофикацией. 12. Термофикация водоемов и ее влияние на гидробионтов. 13. Токсическое загрязнение и его последствия для водных экосистем. Влияние ксенобиотиков на гидробионтов. 14. Биологическая детоксикация. 15. Распределение и миграция радионуклидов в водных экосистемах. Накопление радионуклидов в организме гидробионтов. Кислотные дожди. 16. Биологическая продуктивность водных экосистем. Аквакультура. Прудовое хозяйство.	4
	Итого		20
6.	Самоочищение и восстановление водоемов	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.	2
Всего			24

2.3. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
1	Температурная стратификация озер.	1. Классификация озер по термическому режиму. 2. Определение типа температурной стратификации водоема по сезонам.	2
2.	Цикломорфоз у пресноводных планктонтов.	1. Понятие цикломорфоза. 2. Рассмотрение сезонных изменений различных представителей планктона (коловратки, ветвистоусые рачки, пиропитовая водоросль Ceratium).	2
3.	Характеристика и типизация водоемов по характеру и степени зарастания.	4. Генетическая классификация озер Беларуси. 5. Экологическая характеристика разных генетических типов озер. 6. Определение типов озер по характеру и степени зарастания водной растительностью.	2
4.	Адаптации гидробионтов к водно-солевым условиям среды.	1. Водно-солевые условия водной среды. Классификация вод по солености. 2. Изучение типичных представителей стено- и эвригалинных организмов. 3. Жаброногий рачок Artemia, как представитель ультрагалинных организмов.	2
5.	Адаптации гидробионтов к неблагоприятным факторам среды.	3. Неблагоприятные факторы в водной среде. 4. Изучение отличительных особенностей покоящихся стадий гидробионтов (препараты с геммулами и статобластами, фиксированные дафнии с эфиппиями и партеногенитическими яйцами)	2
6.	Строение фильтрационного аппарата и особенности активной фильтрации на примере представителей подотряда Cladocera (Daphnia) и отряда Copepoda (Calanus).	1. Процесс фильтрации – как характерная особенность водных организмов. 2. Изучение строения и работы фильтрационного аппарата дафнии. 3. Отличительные особенности строения и работы фильтрационного аппарата калануса.	4
1	2	3	4
7.	Адаптивные особенности планктона к сохранению взвешенного состояния в воде.	1. Факторы, определяющие способность планктонных организмов поддерживать взвешенное состояние в водной среде. 2. Изучение адаптивных приспособлений представителей зоо- и фитопланктона к взвешенному положению в воде.	2
8.	Продуктивность популяции донного сообщества.	4. Методы расчета продуктивности водных сообществ. 5. Факторы, определяющие величину продукции гидрозкосистем. 6. Оценка продуктивности донного сообщества расчетными методами.	2

9.	Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек.	3. Общие принципы функционирования системы самоочищения воды. 4. Расчет величины самоочищения водоемов. 5. Расчет скорости самоочищения водоема. 6. Расчет удельной самоочищающей способности биомассы.	2
10.	Оценка видового разнообразия и анализ изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	4. Видовая структура гидробиоценозов и индексы, применяемые для ее оценки. 5. Рассчитать индекс Шеннона. 6. Рассчитать индекс Бергера–Паркера. Отметить изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	2
Всего			22

2.4. Курсовая работа, ее характеристика

2.5. Самостоятельная контролируемая работа студентов и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1	Состояние экосистем водоемов Беларуси.	Загрязнение водных объектов Беларуси. Антропогенные и естественные факторы деградации водных экосистем. Ход антропогенного эвтрофирования на примере Нарочанской группы озер (Нарочь, Мястро, Баторино). Гидроэкологические проблемы Белорусского Полесья. Охрана водных экосистем в Беларуси.	6

Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		24		22	6			
1.	Введение	2					1,2,3,5	устный опрос
2.	Водная среда и ее характеристики	4		4		Т-1, М-1	1,2,3	тест
3.	Экологические зоны в водных экосистемах	6		6		Т-2, М-1	1,2,3,13,15	контрольная работа
4.	Сообщества водных экосистем	4		4		С-1, С-2, С-3, М-1	1,2,3,6,12,16	тест
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами	6		4	5	С-4, М-1	1,2,3,6,10,11,14	тест
6.	Самоочищение и восстановление водоемов	2		4	5	С-5, М-1	1,2,3,6	контрольная работа

4. Информационная (информационно-методическая) часть

4.1. Основная и дополнительная литература

№	Перечень литературы	Год изд.
Основная		
1.	Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк. - 1986. -427с.	1986
2.	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во УО «ВГУ им. Машерова». -2007. -58с.	2007
3.	Романенко В.Д. Основы гидроэкологии: учебн. для студ. высш. уч. зав. –К.: Генеза, 2004. -664с.	2004
4.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.	1989
5.	Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.	2000
Дополнительная		
6.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Лн.: Гидрометеиздат. -1989. -151с.	1989
7.	Жадин В.И. Методы гидробиологических исследований. – М.: Высш. шк. -1960. -451с.	1960
8.	Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР их фауна и флора. –М.: ГУПИМП. -1961. -597с.	1961
9.	Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М.: Наука. -1984. -739с.	1984
10.	Шилов И.А. Экология. –М.: Высшая школа. -2000. -512с.	2000
11.	Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. – Москва: Наука. Под редакцией Ф.Д. Мордухай-Болтовского. -1974.	1974
12.	Протасов А.А. Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. Киев: Наукова думка, 1994. 307 с.	1994
13.	Зоопланктон и его продукция: методич. рекомен. по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. –Л.: ЗИН АН СССР. -1984. -33с.	1984
14.	Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Принципы и контроль антропогенного эвтрофирования. Лн.: Гидрометеиздат. -1990. -273с.	1987
15.	Яшнов В.а. Практикум по гидробиологии. –М.: Высш. шк. -1969. -265с.	1969
16.	Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.	2003
Перечень используемых информационных ресурсов		
а) Электронные журналы		
17.	Научная библиотека электронных журналов по	

	естественным наукам - http://www.library.khstu.ru	
18.	Электронный каталог журналов - http://www.benran.ru	
19.	Электронная версия журнала «Экология и жизнь» - http://www.ecolife.ru/index.shtml	
20.	Электронная версия журнала «Гидробиология» - http://hydrobiolog.narod.ru/	
б) Образовательные сайты и порталы		
21.	Естественнонаучный образовательный портал - http://en.edu.ru	
22.	Сайт «Все образование в Интернет» - http://www.alledu.ru/	
23.	Союз образовательных сайтов - проекта Allbest.ru. - http://www.allbest.ru/union/	

4.2 а). Перечень наглядных и других пособий, методических указаний по проведению конкретных видов учебных занятий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам

№№ п/п	Перечень пособий
	С-Слайды.
С-1	Экологические зоны бентали и пелагиали озер.
С-2	Представители озерно-прудового фито- и зоопланктона.
С-3	Представители озерно-прудового бентоса.
С-4	Животные и растения, обитающие в текущих водах.
С-5	Население болот.
С-5	Морской фитопланктон.
С-6	Представители морского голопланктона.
	М - Методический материал.
М-1	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во ВГУ им. Машерова, 2007.
М-2	Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны. –Лн.:УПИ -1951. -160с.
М-3	Фиксированный материал гидробионтов.
	Т- Таблицы
Т-1	Температурная и кислородная стратификация в озерной экосистеме.
Т-2	Адаптации гидробионтов к водно-солевым условиям среды.

б) Методические материалы, раскрывающие методику использования ЭВМ в учебном процессе

	Презентация курса лекций

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4
Биотический круговорот	Экологии и охраны природы	Вопрос по продуктивности водных экосистем читается в курсе «Гидроэкология»	Протокол № 4 от 25.04.2011г
Природопользование и охрана природы	Экологии и охраны природы	Вопросы использования и охрана вод читаются в курсе «Природопользование и охрана природы»	Протокол № 4 от 25.04.2011г

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на 200 / 200_ учебный год

№ п\п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 200_ г.)

Заведующий кафедрой

(степень, звание)

(подпись)

И.А.Литвенкова
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(степень, звание)

(подпись)

В.Я.Кузьменко
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

_____ А.П. Солодков

« ____ » _____ 20 ____ г.

Регистрационный № УД- _____ /р.

Гидроэкология
(название дисциплины)

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

1-33 01 01

(код специальности)

Биоэкология

(наименование специальности)

Факультет биологический

Кафедра экологии и охраны природы

Курс (курсы) 3,4

Семестр (семестры) 6,7

Лекции 6

(количество часов)

Экзамен 7

(семестр)

Лабораторные

занятия 4

(количество часов)

Всего аудиторных

часов по дисциплине 10 (36 на ДО)

(количество часов)

Всего часов

по дисциплине 104

(количество часов)

Форма получения

высшего образования заочная

Составил(а) зав. кафедрой экологии и охраны природы, доцент. к.б.н И.А.Литвенкова

(И.О.Фамилия, ученая степень, ученое звание)

2011 г.

Учебная программа составлена на основе типовой программы “Гидроэкология” для специальности 1-33 01 01 Биоэкология, утверждена Министерством образования 30.06. 2011г, Рег. № ТД-G. 293/тип.

(название типовой учебной программы (учебной программы), дата утверждения, регистрационный номер)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры

Экологии и охраны природы

(название кафедры)

Протокол №

(дата, номер протокола)

Заведующий кафедрой И.А.Литвенкова

(подпись)

(И.О.Фамилия)

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом учреждения образования “Витебский государственный университет имени П.М. Машерова”

(дата, номер протокола)

Председатель

(подпись)

(И.О.Фамилия)

1. Пояснительная записка

1.1. Цель преподавания дисциплины

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. «Гидроэкология» является обязательной дисциплиной в системе экологического образования.

Цель курса – сформировать у студентов целостное представление о структурной и функциональной организации водных экосистем.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачи курса – вооружить студентов теоретическими знаниями и практическими навыками необходимыми для понимания и изучения:

- 13) взаимодействия гидробионтов со средой;
- 14) их роли в функционировании водных экосистем естественного и искусственного происхождения;
- 15) процессов трансформации вещества и энергии, формирования качества вод, самоочищения и эвтрофирования внутренних вод, морей и океанов;
- 16) биологической продуктивности водных экосистем.

Организация самостоятельной работы студентов по курсу предполагает размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, вопросы для самоконтроля, темы практических и семинарских занятий и методические и информационные материалы к ним и др.).

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- структуру гидросферы планеты;
- морфометрические характеристики водоемов;
- суточную и сезонную динамику освещенности, температуры, газов (O_2 и CO_2) в водных экосистемах;
- классификацию вод по солености;
- экологические зоны океана, озера, реки, пруда;
- экологические группировки (сообщества) водных экосистем;
- глобальные экологические проблемы гидросферы: эвтрофирование, кислотные осадки, повышение глобальной температуры Мирового океана;
- пути и способы регулирования продуктивности водных экосистем

уметь:

- пользоваться методами измерения морфометрических показателей водоема;
- определять величины показателей освещенности, растворенного в воде кислорода, активной реакции среды;
- определять продукцию гидробионтов;
- определять качество воды по показателям бентоса и планктона;
- сравнивать видовое разнообразие в водных экосистемах.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
1	2	3
1.	Общая экология	Популяция, биоценоз, экосистема. Жизненные формы гидробионтов.
2.	Зоология	Систематика животных.
3.	Ботаника	Систематика растений.
4.	Анатомия и физиология животных	Строение и физиологические процессы водных организмов.
5.	Альгология и микология	Систематика и морфология водорослей морских и континентальных водоемов.
6.	Популяционная экология	Особенности популяций гидробионтов.
7.	Ландшафтная экология	Водоемы.

2. Содержание учебного материала

2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
1.	Введение	1. Предмет, основные задачи и методы исследований. 2. Общие принципы и понятия гидроэкологии. 3. Основные направления развития гидроэкологии на современном этапе. 4. Основные этапы истории развития гидроэкологических знаний.	2
2.	Водная среда и ее характеристики	1. Температура, как абиотический фактор среды водоемов. Основные термодинамические свойства воды. 2. Температурная стратификация в водоемах. 3. Термическая классификация озер Ф.Фореля, Хатчинсона. 4. Температурные зоны мирового океана. 5. Влияние температуры на биологические явления. Температурные адаптации гидробионтов. 6. Кислород, как экологический фактор водоема. Адаптации гидробионтов к нехватки кислорода в воде. 7. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Давление. 8. Солевой состав вод и адаптация к нему гидробионтов. 9. Биогенные элементы.	4
3.	Экологические зоны в водных экосистемах	1. Экологическая зональность Мирового океана. 2. Экологические зоны бентали и пелагиали озер. 3. Экологические зоны реки. Экологические особенности малых рек. 4. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры. 5. Экологические особенности болот. 6. Пруды рыбохозяйственного назначения: гидрохимический и гидробиологический режимы. Факторы, обуславливающие рыбопродуктивность прудов. 7. Экология грунтовых, артезианских и минеральных вод. 8. Экология пещерных и интерстициальных вод. Пресноводный псаммон как экологическая система.	6 самостоятельно
4.	Сообщества водных экосистем	1. Нейстон. 2. Планктон. 3. Фитопланктон. 4. Зоопланктон. 5. Зоо- и фитобентос.	4 самостоятельно

		6. Перифитон. 7. Бактериопланктон. 8. Сестоон и детрит. 9. Методология исследования фито-зоопланктона, бентоса нектона. Оценка численности и биомассы гидробионтов.	
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами.	1. Естественная и антропогенная эвтрофикация. 2. Индикаторные характеристики эвтрофикации: физические, химические и биологические факторы эвтрофирования. 3. «Цветение» воды как гидробиологический процесс, обусловленный эвтрофикацией. 4. Термофикация водоемов и ее влияние на гидробионтов. 5. Токсическое загрязнение и его последствия для водных экосистем. Влияние ксенобиотиков на гидробионтов. 6. Биологическая детоксикация. 7. Распределение и миграция радионуклидов в водных экосистемах. Накопление радионуклидов в организме гидробионтов. Кислотные дожди. 8. Биологическая продуктивность водных экосистем. 9. Аквакультура. Прудовое хозяйство.	6 самостоятельно
6.	Самоочищение и восстановление водоемов	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.	2 самостоятельно

2.3. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
1	2	3	4
8.	Продуктивность популяции донного сообщества.	7. Методы расчета продуктивности водных сообществ. 8. Факторы, определяющие величину продукции гидрозкосистем. 9. Оценка продуктивности донного сообщества расчетными методами.	2
9.	Оценка процессов самоочищения по гидробиологическому режиму малых рек.	7. Общие принципы функционирования системы самоочищения воды. 8. Расчет величины самоочищения водоемов. 9. Расчет скорости самоочищения водоема. 10. Расчет удельной самоочищающей способности биомассы.	1
10.	Оценка видового разнообразия и анализ изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	7. Видовая структура гидробиоценозов и индексы, применяемые для ее оценки. 8. Рассчитать индекс Шеннона. 9. Рассчитать индекс Бергера–Паркера. Отметить изменения структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда.	1

2.5. Курсовая работа, ее характеристика

2.5. Самостоятельная контролируемая работа студентов и объем в часах

№ п/п	Наименование	Содержание	Объем в часах
1	Состояние экосистем водоемов Беларуси.	Загрязнение водных объектов Беларуси. Антропогенные и естественные факторы деградации водных экосистем. Ход антропогенного эвтрофирования на примере Нарочанской группы озер (Нарочь, Мястро, Баторино). Гидроэкологические проблемы Белорусского Полесья. Охрана водных экосистем в Беларуси.	6

Учебно-методическая карта дисциплины

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		24		22	6			
1.	Введение	2					1,2,3,5	устный опрос
2.	Водная среда и ее характеристики	4				Т-1, М-1	1,2,3	тест
3.	Экологические зоны в водных экосистемах					Т-2, М-1	1,2,3,13,15	контрольная работа
4.	Сообщества водных экосистем			2		С-1, С-2, С-3, М-1	1,2,3,6,12,16	тест
5.	Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами			1		С-4, М-1	1,2,3,6,10,11,14	тест
6.	Самоочищение и восстановление водоемов			1		С-5, М-1	1,2,3,6	контрольная работа

4. Информационная (информационно-методическая) часть

4.1. Основная и дополнительная литература

№	Перечень литературы	Год изд.
Основная		
1.	Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк. - 1986. -427с.	1986
2.	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во УО «ВГУ им. Машерова». -2007. -58с.	2007
3.	Романенко В.Д. Основы гидроэкологии: учебн. для студ. высш. уч. зав. –К.: Генеза, 2004. -664с.	2004
4.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.	1989
5.	Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.	2000
Дополнительная		
6.	Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Лн.: Гидрометеиздат. -1989. -151с.	1989
7.	Жадин В.И. Методы гидробиологических исследований. – М.: Высш. шк. -1960. -451с.	1960
8.	Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР их фауна и флора. –М.: ГУПИМП. -1961. -597с.	1961
9.	Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М.: Наука. -1984. -739с.	1984
10.	Шилов И.А. Экология. –М.: Высшая школа. -2000. -512с.	2000
11.	Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. – Москва: Наука. Под редакцией Ф.Д. Мордухай-Болтовского. -1974.	1974
12.	Протасов А.А. Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. Киев: Наукова думка, 1994. 307 с.	1994
13.	Зоопланктон и его продукция: методич. рекомен. по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. –Л.: ЗИН АН СССР. -1984. -33с.	1984
14.	Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Принципы и контроль антропогенного эвтрофирования. Лн.: Гидрометеиздат. -1990. -273с.	1987
15.	Яшнов В.а. Практикум по гидробиологии. –М.: Высш. шк. -1969. -265с.	1969
16.	Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.	2003
Перечень используемых информационных ресурсов		
а) Электронные журналы		
17.	Научная библиотека электронных журналов по	

	естественным наукам - http://www.library.khstu.ru	
18.	Электронный каталог журналов - http://www.benran.ru	
19.	Электронная версия журнала «Экология и жизнь» - http://www.ecolife.ru/index.shtml	
20.	Электронная версия журнала «Гидробиология» - http://hydrobiolog.narod.ru/	
б) Образовательные сайты и порталы		
21.	Естественнонаучный образовательный портал - http://en.edu.ru	
22.	Сайт «Все образование в Интернет» - http://www.alledu.ru/	
23.	Союз образовательных сайтов - проекта Allbest.ru. - http://www.allbest.ru/union/	

4.2 а). Перечень наглядных и других пособий, методических указаний по проведению конкретных видов учебных занятий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам

№№ п/п	Перечень пособий
	С-Слайды.
С-1	Экологические зоны бентали и пелагиали озер.
С-2	Представители озерно-прудового фито- и зоопланктона.
С-3	Представители озерно-прудового бентоса.
С-4	Животные и растения, обитающие в текущих водах.
С-5	Население болот.
С-5	Морской фитопланктон.
С-6	Представители морского голопланктона.
	М - Методический материал.
М-1	Литвенкова И.А. Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во ВГУ им. Машерова, 2007.
М-2	Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны. –Лн.:УПИ -1951. -160с.
М-3	Фиксированный материал гидробионтов.
	Т- Таблицы
Т-1	Температурная и кислородная стратификация в озерной экосистеме.
Т-2	Адаптации гидробионтов к водно-солевым условиям среды.

б) Методические материалы, раскрывающие методику использования ЭВМ в учебном процессе

	Презентация курса лекций

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4
Биотический круговорот	Экологии и охраны природы	Вопрос по продуктивности водных экосистем читается в курсе «Гидроэкология»	Протокол № 4 от 25.04.2011г
Природопользование и охрана природы	Экологии и охраны природы	Вопросы использования и охрана вод читаются в курсе «Природопользование и охрана природы»	Протокол № 4 от 25.04.2011г

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на 200_ / 200_ учебный год

№ п\п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 200_ г.)

Заведующий кафедрой

(степень, звание)

(подпись)

И.А.Литвенкова
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(степень, звание)

(подпись)

В.Я.Кузьменко
(И.О.Фамилия)

Курс Гидроэкология

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 оценки 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».

3. Теоретический раздел электронного учебно-методического комплекса «Гидроэкология»

Лекция 1.

ВВЕДЕНИЕ

1. Гидроэкология как наука: предмет и задачи, место в системе естественных дисциплин.
2. Методы гидроэкологических исследований.
3. Основные направления гидроэкологии.

1. Гидроэкология как наука: предмет и задачи, место в системе естественных дисциплин

Гидроэкология (водная экология, экология гидросферы) – биологическая наука, изучающая водные экосистемы как совокупность трех взаимодействующих компонентов: водной среды, водных организмов и деятельности человека. Гидроэкология тесно связана с гидробиологией. Гидробиология — наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. Данное определение охватывает изучение отдельных водных организмов (гидробионтов), их популяций и сообществ, взаимодействий между ними и с неживой природой. Гидробиология и водная экология тесно связаны, прежде всего, с науками о гидросфере – гидрохимией, гидрофизикой, гидрологией.

Гидрохимия – часть геохимии, изучающая химический состав естественных вод и протекающие в них химические реакции. Гидрофизика – часть геофизики, исследующая физические свойства природных вод и протекающие в них физические процессы. Гидрология – часть географии, изучающая природные воды, закономерности круговорота воды в природе.

Близка гидробиология и к таким географическим дисциплинам, как океанология и лимнология. Океанология — наука о Мировом океане (т. е. совокупности океанов и морей земного шара) и процессах, протекающих в нем. Лимнология (или озероведение) изучает воды замедленного стока поверхности суши. Кроме того, в гидрологии суши можно выделить еще науку о водотоках (потамология), ледниках (гляциология).

В последнее время значение приобрели составные части гидроэкологии – водная радиоэкология и водная токсикология. Гидроэкология опирается на базовые дисциплины – ботанику, зоологию, микробиологию.

Гидроэкология не только биологическая наука, это и социально-экологическая 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.

В настоящее время водоемов с антропогенно неизменными экосистемами практически нет. Речь может идти лишь о степени и характере таких изменений. Их причинами могут быть: гидротехническое строительство, в частности зарегулирование речного стока при сооружении плотин, спрямление русел рек, углубление дна, сброс в водные объекты подогретых и загрязненных вод, а также поступление загрязняющих веществ с водосборной площади. Под влиянием этих факторов в водных экосистемах существенным образом изменяются физико-химические и биологические процессы. Это приводит к резкому ухудшению состояния экосистем и потере их естественной устойчивости, а также к снижению качества воды и биологической продуктивности водоемов.

Важнейшая проблема современной гидроэкологии – это КАЧЕСТВО ВОДЫ, в частности экологические основы его формирования в экосистемах разных водных объектов – реках, озерах, водохранилищах, морях и океанах. Это процессы загрязнения – самоочищения, реакции экосистем на различные антропогенные воздействия, такие как эвтрофикация, органическое загрязнение, подогрев сбросными водами атомных и тепловых электростанций (термофикация), кислотные дожди (ацидификация), токсическое загрязнение (токсификация), радионуклидное загрязнение и др.

Огромное значение имеет также изучение изменений в водных экосистемах в результате гидростроительства (сооружение плотин, каналов и др.) для гидротехнического проектирования, которое должно учитывать влияние гидросооружений на водную среду, а именно, на качество воды и биологические процессы, происходящие в ней.

Вторая, важная проблема гидроэкологии, равно как гидробиологии и ихтиологии – это **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ВОДОЕМОВ**, с которой связано решение многих проблем рыбного хозяйства и рыбного промысла: рыбоводство в естественных водоемах, прудовое рыбоводство, воспроизводство рыбных запасов, промысловых беспозвоночных животных (раков, крабов, моллюсков) и водорослей, искусственное разведение полезных водных организмов (аквакультура) и многие другие аспекты их использования в народном хозяйстве.

В условиях антропогенного воздействия биологическая продуктивность водоемов, непосредственно связанная с качеством воды, существенно снижается. Обе эти проблемы рассматриваются в гидроэкологии во взаимосвязи, поскольку качество воды в значительной мере формируется под влиянием биологических процессов.

Важное значение имеет разработка средств борьбы с вредными организмами – возбудителями и переносчиками возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний человека, домашних животных и рыб, а также с организмами, которые создают препятствия в коммунальном, питьевом и техническом водоснабжении, судоходстве, эксплуатации гидросооружений и др.

Основная цель исследований и практической деятельности в области гидроэкологии состоит в научном обосновании путей и средств сохранения водной среды и жизни в ней, как необходимой основы существования человеческого общества и развития продуктивных сил. А это значит предусматривать возможные отрицательные последствия хозяйственной деятельности и управлять естественными процессами в водной среде, опираясь на знание закономерностей их хода.

Гидроэкологические исследования, благодаря использованию научно-технических разработок, позволяют решать проблемы охраны окружающей среды наиболее рационально и экономически эффективно. В мировой практике такой подход имеет название **МЕНЕДЖМЕНТ** окружающей среды.

Предметом исследований гидроэкологии являются экологические процессы в водной среде, т. Е. процессы взаимодействия гидробионтов, их популяций и сообществ между собой и с абиотическими компонентами водных экосистем, а также воздействие человека на эти процессы.

Цель гидроэкологии может быть определена как понимание экологических процессов, происходящих в водной среде, управление этими процессами с целью оптимизации использования водных ресурсов.

Основной задачей гидроэкологии является изучение экологических процессов в гидросфере, их применение в интересах освоения гидросферы и оптимизации взаимодействия человеческого общества с водными экосистемами.

Главная теоретическая задача водной экологии – изучение общих внутренних закономерностей структурно-функциональной организации водных экосистем, зависимостей круговоротов вещества и потоков энергии от факторов внешней среды, в том числе и антропогенных.

Конкретные практические задачи водной экологии:

1. Повышение биологической продуктивности водоемов для получения из них наибольшего количества биологического сырья.
2. Разработка биологических основ обеспечения людей чистой водой, в том числе оптимизация функционирования экосистем, создаваемых для промышленной очистки питьевых и сточных вод.
3. Экспертная оценка экологических последствий зарегулирования, перераспределения и переброски стока рек, антропогенного изменения гидрологического режима озер и морей.
4. Оценка вновь создаваемых промышленных, сельскохозяйственных и других предприятий для водных экосистем с целью охраны последних от недопустимых повреждений.

5. Мониторинг состояния водных экосистем.

2. Методы гидроэкологических исследований

Главным методом гидроэкологии, как и остальных экологических дисциплин, является системный подход, т.е. рассмотрение экосистемы как целого, и количественный учет протекающих в ней потоков энергии, вещества и информации.

Гидроэкология, как и каждая естественная наука, для решения своих задач использует богатый арсенал методов: наблюдения в природе, изучение видового состава живого населения водоемов и определение количественных показателей отдельных видов, расчет их численности и биомассы, в определенных точках водоема, и их динамику в пространстве и времени, химический анализ воды и донных отложений, эксперименты на отдельных популяциях, биоценозах и экосистемах, лабораторные эксперименты и эксперименты на естественных водоемах.

Для биологических исследований водной среды используются различные орудия и приборы, как специфически гидробиологические – планктонные сети (рис.1), дночерпатели (рис.2), драги, планктоночерпатели, батометры (рис. 3) различных конструкций, так и многие приборы, заимствованные из арсеналов гидрохимии, гидрофизики, гидрологии.

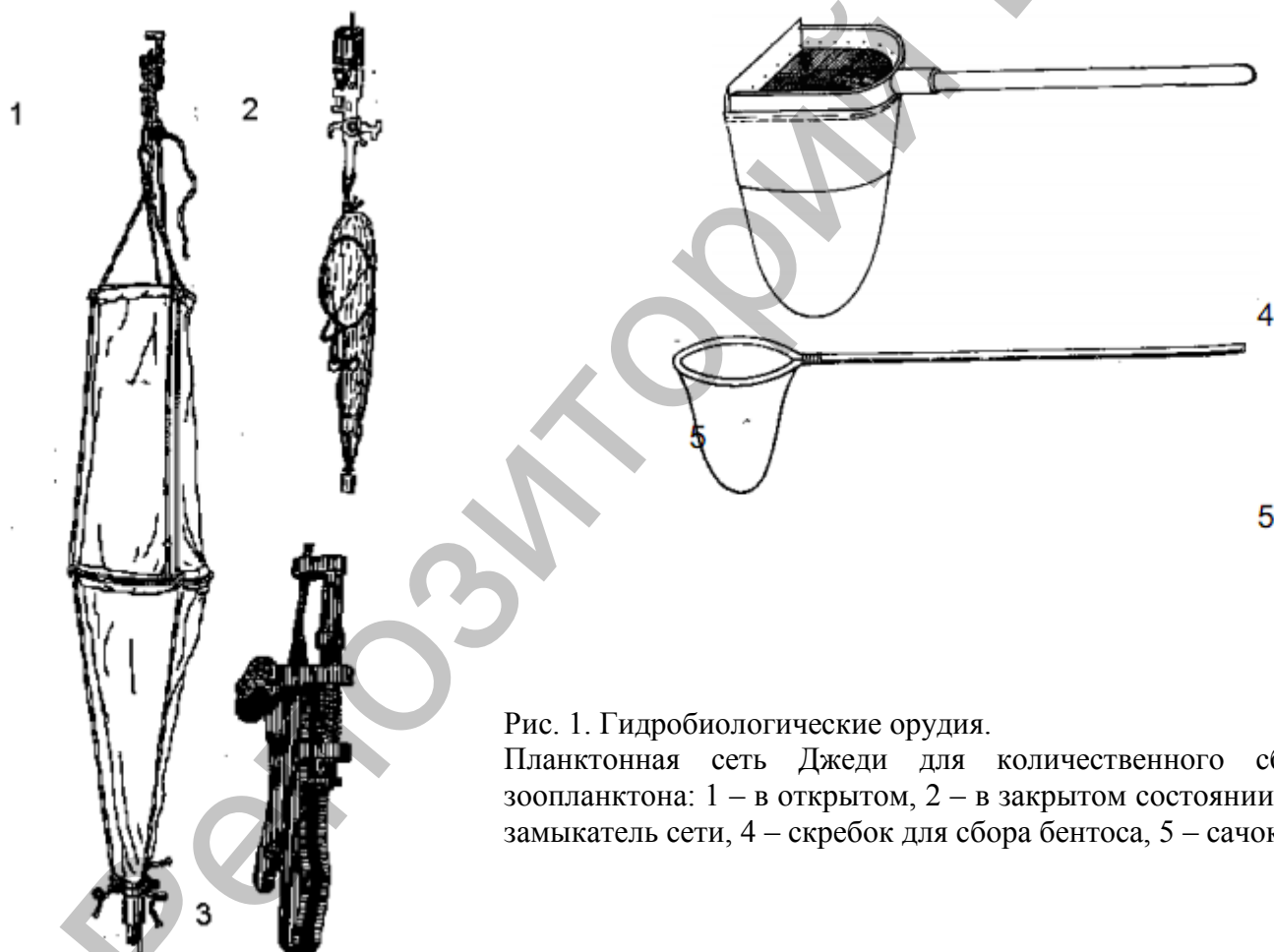


Рис. 1. Гидробиологические орудия.

Планктонная сеть Джели для количественного сбора зоопланктона: 1 – в открытом, 2 – в закрытом состоянии, 3 – замыкатель сети, 4 – скребок для сбора бентоса, 5 – сачок.



Рис. 2. Гидробиологические орудия. Дночерпатели для количественного сбора бентоса: 1 – Экмана-Берджа. 2 – Петерсена. 3 – Петерсена модифицированный

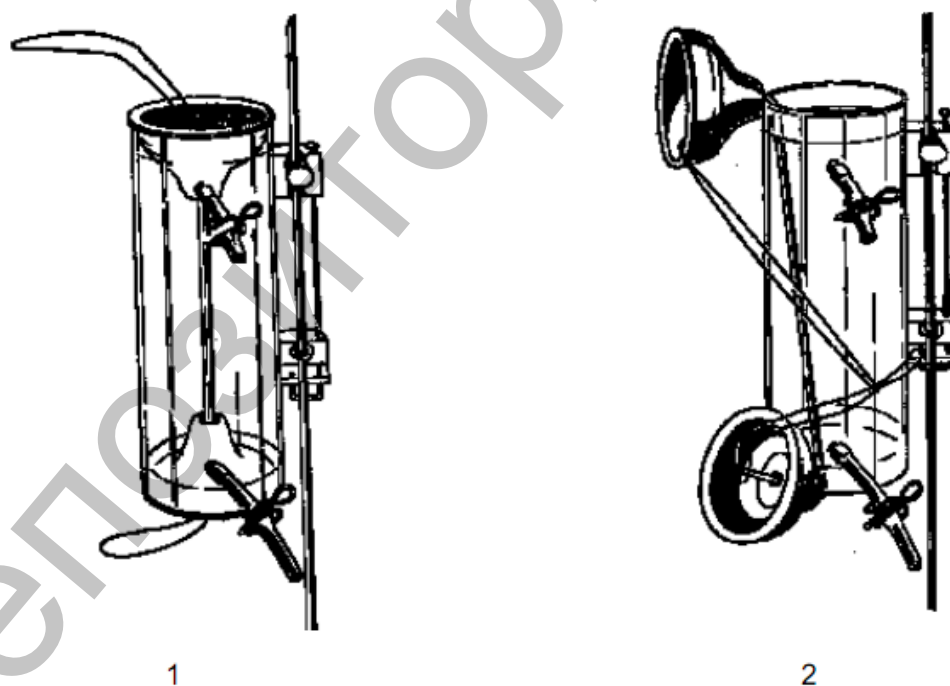


Рис. 3. Гидробиологические орудия. Батометр Ван Дорна для количественного сбора фито- и бактериопланктона с разных глубинных горизонтов: 1 – в открытом и 2 – в закрытом виде

В современных гидроэкологических исследованиях применяется лабораторное и математическое моделирование водных экосистем; применение новейших технических средств – подводного телевидения, датчиков для получения оперативной информации о состоя же водных организмов. Для обработки полученной информации применяется компьютерная техника (экоинформатика). В последние десятилетия важное значение приобрели аэрофотосъемка больших водных объектов и фотографирование из космоса с по-

мощью искусственных спутников Земли, позволяющие получить широкомасштабную панораму водных систем – речных и озерных бассейнов, водохранилищ, морей и океанов.

Исследования и наблюдения на водоемах могут носить стационарный характер, т. Е. проводиться на определенных постоянных объектах – реках, озерах, прудах. С этой целью организуются гидробиологические станции. При исследовании морей и океанов, больших рек и построенных на них водохранилищ применяют экспедиционный метод, т. Е. выезды научных коллективов по заранее намеченным маршрутам на кораблях, специально оборудованных для научных исследований, имеющих в распоряже же научно-исследовательских учреждений многих стран. Наблюдения на естественных водных объектах наиболее информативны, если они проводятся регулярно, в определенном месте через определенные промежутки времени. Гидроэкологические наблюдения обычно носят комплексный характер, т. Е. сочетают деятельность специалистов разного профиля – гидрологов, гидрохимиков, гидробиологов различных узких специализаций (гидробиотаников, планктологов, бентологов и др.). Такая организация наблюдений называется *мониторинг*.

Во многих развитых странах мира, данные мониторинга, осуществляемого разными организациями и учреждениями, концентрируются в национальных компьютерных центрах (геоинформационных системах). В Беларуси гидроэкологические исследования проводятся в ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» лаборатории гидробиологии, входящей в состав отдела экологического мониторинга. Основные функции лаборатории: отбор и проведение испытаний по определению гидробиологических показателей в пробах поверхностных вод и донных отложений, для расчетов комплексных оценочных показателей состояния основных компонентов водных экосистем толщи воды и донных отложений.

Контрольные вопросы:

1. Предмет и задачи гидроэкологии.
2. Место гидроэкологии в системе естественных дисциплин.
3. Основные задачи и направления гидроэкологии.
4. Методы гидроэкологических исследований.

Лекция 2

ВОДНАЯ СРЕДА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ДИНАМИКА ВОДНЫХ МАСС И ЕЕ РОЛЬ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

1. Водные массы как компонент гидрологической структуры водоемов.
2. Гидрологические показатели водных объектов.
3. Плотность воды.
4. Вязкость воды и поверхностное натяжение.
5. Ледовый режим.

1. Водные массы как компонент гидрологической структуры водоемов.

Гидрологические показатели водных объектов

В пределах каждого водоема вода не однородна по своим физико-химическим характеристикам. Даже в сравнительно небольших водоемах водная толща состоит из отдельных водных масс. Под *водными массами* понимают объемы воды, определяемые площадью и глубиной котловин водных объектов или углублений земной поверхности и имеющие однородные физико-химические характеристики, сформированные под влиянием геологических и климатических условий. Водные массы являются основным элементом гидрологической структуры водных объектов.

Водные массы в водоемах разного типа формируются из атмосферных осадков, выпадающих на водосборную площадь, подземного стока и воды, перемещающейся по естественным или искусственным водотокам (например, каналам территориальной переброски части стока) из других регионов.

В зависимости от происхождения вод, поступающих в водоемы и водотоки, различают основные и вторичные водные массы. **Основные водные массы** – это водные массы морей и больших озер, которые продолжительное время составляют основу их водного баланса. Обновление этих вод происходит постепенно благодаря речному стоку, а также обмену с атмосферной влагой. **Вторичные водные массы** образуются в результате смешивания основных вод с поступающими с речным стоком или с водами других источников.

Речные водные массы, в зависимости от сезонных особенностей (весенние воды, летние меженные, паводковые), формируются в речном русле из поступлений первичных континентальных вод с водосборной площади.

Местный сток формируется из водных масс, стекающих по склонам местности, а также из грунтовых и подземных вод. В разные сезоны года преобладает один из этих трех типов стока, определяющий генетические особенности первичных вод. Так, *стекающие* воды образуются за счет дождевых и талых вод, и поэтому имеют невысокую минерализацию. *Грунтовые* воды формируются в процессе инфильтрации и фильтрационного стекания и характеризуются более высокой минерализацией по сравнению со стекающими водами. Более продолжительное время требуется на образование *подземных* вод, что и определяет их высокую общую минерализацию и насыщенность гидрокарбонатами, кальциевыми, магниевыми, натриевыми и сульфатными ионами.

Таким образом, формирование водных масс является сложным физико-химическим процессом, включающим сток воды с водосборной площади, выпадение атмосферных осадков, поступление подземных и других вод.

2. Гидрологические показатели водных объектов

Структурно-функциональное состояние водных объектов определяется общей закономерностью повторяющихся изменений уровня воды, ее объемов, скоростью течений, характером волнообразования и другими **гидрологическими показателями**.

Уровень воды в реках и озерах, или высота водной поверхности рек и озер относительно какой-либо условной горизонтальной поверхности, является одной из наиболее информативных характеристик состояния водоемов и водотоков. Данный показатель зависит от многих факторов, прежде всего от сезонных атмосферных осадков. Летом, вследствие их меньшего выпадения и повышенного испарения, уровень воды снижается, а осенью, за счет большего количества дождей и уменьшения испарения, – возрастает. Зимой, особенно в предвесенний период, уровень воды минимальный, а при таянии снега и льда он резко увеличивается и достигает максимума во время наводнения. Такой режим свойственен рекам, питающимся за счет дождевых и талых вод. Для горных рек характерно летнее повышение уровня воды.

Наиболее высокий уровень воды в реках наблюдается во время наводнения и паводка. **Наводнение** – это ежегодно повторяющаяся в один и тот же сезон фаза водного режима, которая характеризуется наибольшей водностью, высоким и продолжительным поднятием уровня воды. Причиной наводнения, в частности на реках Беларуси, является весеннее снеготаяние. Наводнение играет положительную экологическую роль в функционировании речных экосистем. Во время наводнения большие массы воды промывают речное русло, очищая его от накопленных за зиму отмерших организмов, продуктов гниения и загрязняющих веществ. На реках, водность которых формируется на значительных горных территориях, в течение года наблюдаются два наводнения: весеннее, после таяния снега в долинах, и осеннее, обусловленное таянием снега в горах и выпадением дождей.

В отличие от наводнения, **паводок** – быстрое, сравнительно кратковременное поднятие уровня воды, возникающее после обильных дождей или значительного снеготаяния вследствие резкого потепления зимой. И наводнение, и паводок могут иметь

катастрофические последствия, если возрастание уровня воды в реках и водоемах значительно превышает их возможность к накоплению или пропусканию воды.

Количество воды, протекающее через поперечное сечение водотока за некоторый промежуток времени, называется **объемом стока**. Он выражается в кубических единицах (км^3 , м^3) за сутки, месяц, сезон или год. Объем стока характеризует водность объекта и применяется в гидрологических и водохозяйственных расчетах. *Расход воды* – это количество воды, протекающее в единицу времени через поперечное сечение водотока, измеряется обычно в $\text{м}^3/\text{с}$.

Водность определяет целый ряд важных в экологическом отношении параметров водных экосистем. Так, при небольшой водности повышается минерализация воды, снижается водообмен, формируются застойные зоны в реках, что отрицательно влияет на жизнедеятельность гидробионтов.

Кроме сезонных изменений водности, наблюдаются *многолетние колебания стока* – маловодные (50 % водообеспечения), средневодные (75 %) и многоводные (95 %).

Водный баланс – это количественная оценка всех форм прихода и расхода воды на определенной части земной территории (включая испарение, инфильтрацию и др.). В глобальном масштабе он является количественным выражением влагооборота на Земле. Водный баланс – один из важнейших показателей для характеристики водных экосистем, их абиотических компонентов (гидрологическая структура, химический состав воды и т. П.) и биоты.

Водообмен — процесс обмена воды в водном объекте или замещение одних водных масс другими на отдельных его участках. В зависимости от размеров водоема и количества воды, поступающей в единицу времени, водообмен может продолжаться дни, месяцы, годы, десятки и даже тысячи лет. Например, средний многолетний период условного восстановления запасов воды Мирового океана оценивается в 2650 лет. В наибольшем пресноводном озере Байкал этот процесс занимает около 380 лет. В некоторых водоемах вода обновляется в течение нескольких суток, например в небольших пойменных озерах.

Различают внешний и внутренний водообмен. *Внешний водообмен* – это водообмен с атмосферой (испарение и поступление атмосферной воды), с прилегающими участками гидрографической сети и с грунтовыми водами. Интенсивность этих процессов выражается в кубических километрах за год ($\text{км}^3/\text{год}$) или кубических метрах за секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) и характеризует общее количество воды, поступившее в водный объект или, наоборот, потерянное им на протяжении конкретного промежутка времени.

Внутренний водообмен зависит от динамических процессов, протекающих в водоемах, и представляет собой обмен водных масс внутри водного объекта между его отдельными участками и слоями воды. Внешний и внутренний водообмен в значительной мере взаимосвязаны между собой.

Под влиянием ветра на поверхности водоемов и водотоков образуются **волны**. При скорости ветра до 0,7 м/с появляется *рябь*, или *капиллярные волны*, высотой 3-4 мм и длиной 40-50 мм. При нарастании силы ветра они переходят в *гравитационные*. Размеры ветровых волн зависят от скорости ветра, продолжительности его действия и длины разгона. Имеет также значение морфометрия водоемов, конфигурация берегов, глубина и режим стоковых и других течений. Длительный ветер со скоростью 20 м/с и более, обуславливающий на водоемах очень высокие ветровые волны, характеризуется как шторм.

Среди различных форм перемешивания воды различают *турбулентное*, или *фрикционное*, вызываемое ветром, *конвективное*, связанное с погружением вглубь более плотных холодных и соленых вод (соответственно температурная и соленостная конвекция), и молекулярное. Роль последнего сравнительно невелика. Одной из разновидностей конвективного перемешивания поверхностных водных масс является *микроконвекция* – вертикальное перемешивание небольших объемов воды в самом верхнем слое, толщина которого не превышает нескольких микрон. В основе этого процесса лежит уплотнение поверхностного слоя воды, обусловленное возрастанием концентрации растворенных солей под влиянием испарения влаги. Микроконвекция может приостанавливаться во время выпадения дождей или при возрастании влаги в приповерхностном слое атмосферы.

Микроконвекционное вертикальное перемешивание воды играет исключительно важную роль в функционировании организмов нейстона.

Течения и их классификация. *Течение* – это поступательное перемещение масс воды в водных объектах, обусловленное различными факторами: наклоном поверхности территории, вращением Земли, неоднородностью температуры, ветром, волнообразованием и другими физическими процессами и явлениями.

По расположению различают течения поверхностные, глубинные, придонные, прибрежные и др.; в зависимости от физико-химических особенностей – теплые, холодные, пресные, соленые; по степени устойчивости – постоянные, периодические и временные.

Классифицируют течения главным образом по происхождению. В зависимости от сил, их возбуждающих, течения объединяют в четыре группы: 1) фрикционные (ветровые и дрейфовые), 2) градиентно-гравитационные, 3) приливные, 4) инерционные.

Значение движения воды для гидробионтов:

- *прямое влияние:* перенос пелагических организмов в горизонтальном направлении; перемещение их по вертикале; вымывание бентосных форм из грунта;
- *косвенное влияние* движения воды на гидробионтов сказывается через: принос пищи и кислорода; отток метаболитов; выравнивание температурных и других гидрологических градиентов; обеспечение водообмена между отдельными участками биотопов; через воздействие на формирование грунтов; перераспределение тепла, кислорода, растворенных и взвешенных веществ; с течениями связано переформирование берегов, заиление отдельных участков речного русла и чаши водоемов.

Большую роль играют течения в формировании структуры биоценозов и функционировании водных экосистем. Так, гидрологический режим водоемов определяет формирование специфических сообществ организмов: *стагнофильные сообщества* – приспособленные к условиям замедленного течения, и *реофильные сообщества* – в условиях проточности. Соответственно формируются лентические и лотические сообщества, отличающиеся как по составу биоты, так и по особенностям протекания гидрологических процессов.

3. Плотность воды

Под *плотностью воды* понимают массу ее единичного объема и выражают в килограммах на 1 м³ (кг/м³). Она зависит от температуры, наличия растворенных солей, а также от атмосферного давления и давления водных масс.

Наибольшая плотность химически чистой воды, которая практически не содержит растворенных солей, при температуре 3,98 °С равняется 1 г/см³. При снижении температуры до 0 °С, если вода еще не превратилась в лед, ее плотность составляет 998,87 кг/м³, а при переходе в состояние льда – сразу уменьшается до 916,70 кг/м³. Снижается плотность воды и при повышении ее температуры выше 4 °С. При 30 °С она составляет 995,67 кг/м³.

Увеличение плотности воды при повышении температуры от 0 до 4 °С объясняется сближением молекул при таянии льда, в результате чего исчезают межмолекулярные пустоты. Дальнейший рост температуры сопровождается расхождением молекул H₂O, и плотность воды уменьшается. На плотность воды влияет, кроме температуры, количество растворенных солей. С возрастанием минерализации несколько повышается и плотность воды. Но между температурой, минерализацией и плотностью воды нет линейной зависимости. То есть плотность воды уменьшается в меньшей мере, чем следовало бы ожидать, от степени возрастания ее температуры и минерализации. Этим объясняется исключительно важная роль воды в обеспечении устойчивости водных экосистем. При смешивании вод разной температуры и минерализации образуется смешанная вода, имеющая несколько большую плотность, чем каждая из них в отдельности. Так, при поступлении морской соленой воды в Днепровско-Бугский лиман, где она смешивается с пресной, возрастает плотность речной воды, что и обуславливает ее сосредоточение преимущественно в придонных слоях. В переходной зоне между отдельными массами воды, имеющими разную температуру и соленость, отмечается повышенная плотность. Эта

зона называется *гидрологическим фронтом*. Она может обнаруживаться на границе между пресными и солеными водами в устьях рек (*эстуарный фронт*), впадающих в море.

Повышение плотности воды (гидрологический фронт) можно наблюдать в Черном море возле берегов Крыма вследствие подъема глубинных, более холодных вод на поверхность во время сгона ветром вод поверхностного слоя. Это явление получило название *апвеллинг*.

Благодаря указанным процессам происходит миграция биогенных элементов из донных отложений в *фотический слой* воды (в котором достаточное количество света для синтеза растениями органического вещества с использованием солнечной энергии), и, как следствие, активизируется продукционная деятельность фитопланктона и возрастает биомасса фито- и зоопланктона. Фактор плотности воды играет важную роль в жизни пелагических организмов. Наибольшие колебания плотности воды наблюдаются в *эктонных экосистемах*, расположенных на границе смешивания морских соленых и пресных вод, поступающих с речным стоком.

4. Вязкость воды и поверхностное натяжение

Как и удельная теплоемкость, *вязкость* воды является ее уникальным свойством (по сравнению с другими жидкостями), поскольку она обуславливает подвижность водных масс и облегчает плавание гидробионтов. Единицей вязкости является паскаль на секунду (Па·с). Вязкость изменяется в зависимости от температуры: при 10 °С она составляет $1,3 \cdot 10^{-3}$, при 20 °С – $1,1 \cdot 10^{-3}$, а при 30 °С – $0,87 \cdot 10^{-3}$ Па·с и несколько увеличивается при повышении солености воды.

От вязкости зависит скорость погружения гидробионтов в толщу воды и скорость парения планктонных организмов в воде. В связи с этим у последних в ходе эволюции сформировались специальные образования, увеличивающие силу трения о поверхность воды (выросты, крыловидные образования и т. П.) и позволяющие удерживаться им «на плаву», не погружаясь в толщу воды.

Еще одним специфическим свойством воды является высокий коэффициент *поверхностного натяжения*, который измеряется в ньютонах на метр (Н/м). В зависимости от температуры и солености он составляет 0,765–0,771 Н/м. В результате сил поверхностного натяжения в зоне контакта между водой и атмосферой образуется поверхностная пленка. Многие водные организмы приспособились к обитанию в ней благодаря смачиваемости внешних покровов тела. Для организмов, поверхность которых не смачивается, поверхностная пленка является своеобразной опорой, и гидробионты удерживаются на ней (или подвешиваются снизу), даже если они тяжелее воды, более легкие гидробионты опираются на пленку и даже могут бегать по ней.

5. Ледовый режим

При снижении температуры до 0 °С и ниже на водоемах и водотоках образуется ледяной покров. Период замерзания начинается с появления кристаллических структур воды (лед) возле берега, где течение не такое быстрое и глубина промерзания воды значительно меньшая, чем в глубоководной части водоемов. Различают процесс ледяного образования, приводящий к появлению плавучего льда, и формирование сплошного ледяного покрытия. В первом случае происходит кристаллизация воды в отдельных местах, где температура падает до 0 °С и ниже. Затем поверхность водоемов покрывается сплошным льдом вследствие смерзания отдельных очагов ледовых образований.

Существует два типа ледяных покровов: статический и динамический. Первый характерен для слабопроточных мелководных и небольших по площади водоемов (озера, водохранилища, пруды, отдельные застойные зоны рек, каналов). Такой ледяной покров имеет ровную поверхность и небольшую начальную толщину. При динамическом типе замерзания из-за интенсивного перемешивания водных масс происходит переохлаждение всей толщи воды и занесение на глубину ядер кристаллизации. Вследствие этого количество так называемого внутриводного льда может превышать на определенных этапах количество льда, образующегося на поверхности озер и водохранилищ с интенсивным перемешиванием воды. Динамический тип ледяного покрытия характерен для участков рек с быстрым течением. Как более легкие по сравнению с донной фазой воды, такие

глубоководные центры кристаллизации всплывают на поверхность, где и происходит их смерзание.

При очень быстром течении в горных реках (свыше 1,6-1,8 м/с) сплошной ледяной покров может не образовываться. При сильном охлаждении воды внутриводный лед не смерзается, а переносится быстрыми потоками воды в виде локальных мелких скоплений, называемых *шуга*. В горных реках шуга разрушается на перекатах, а при перенесении на участки с более медленным течением сбивается в отдельные шарообразные скопления.

В начале зимы наступает период замерзания водоемов. Он характеризуется появлением разнообразных по форме ледяных образований и фаз развития ледового режима. Образование сплошного ледяного покрова, который стабильно держится на поверхности водоемов и водотоков, называют *ледоставом*.

Контрольные вопросы:

1. Дать понятие основных и вторичных водных масс.
2. Перечислите гидрологические показатели водных объектов.
3. Дать характеристику фрикционных течений.
4. Каковы основные факторы возникновения градиентно-гравитационных течений?
5. Какова роль течений в жизнедеятельности гидробионтов?
6. Плотность и вязкость воды как экологические факторы водных экосистем.

ТЕМПЕРАТУРА КАК АБИОТИЧЕСКИЙ ФАКТОР СРЕДЫ ВОДОЕМОВ

1. Температурный и термический режим водных объектов.
2. Адаптации гидробионтов к температурным условиям водоема.

1. Температурный и термический режим водных объектов

Изменения температуры воды по акватории и глубине на протяжении определенного промежутка времени называют *температурным режимом водного объекта*. Колебания температуры воды в водных экосистемах могут быть суточные, месячные, сезонные, годовые и многолетние. В таких случаях говорят о среднесуточной, среднемесечной, среднесезонной и средней температуре за несколько лет. Температура определяет особенности термического режима водоемов. Под последним понимают не только изменения температуры, но и запасы тепла, которые удерживаются водными массами. Если известно количество воды, содержащееся в водном объекте, и ее среднесуточная (или за другой промежуток времени) температура, то можно вычислить его *теплозапас*.

Для того чтобы *рассчитать теплозапас определенного объема воды* в водных экосистемах, пользуются формулой:

$$W = C_p \cdot P \cdot T \cdot V$$

где C_p – удельная теплоемкость воды; P – ее плотность; T – средняя температура воды; V – объем воды.

Наибольшие теплозапасы в водных объектах приходятся на конец лета, когда суточные потери тепла почти равняются величине его поступления с солнечной энергией. Разность между максимальной и минимальной величинами теплозапаса называется *тепловым запасом водоема*. Это очень важный в экологическом отношении показатель водной среды. Установлено, что между среднегодовой, особенно весенне-летней, температурой воды и показателями роста рыб, обитающих в природных водоемах, существует прямая коррелятивная связь. Например, если сумма градусо-дней в вегетационный период в местах расположения рыбоводных прудов составляла 2000 и больше, то масса карпов двухлетнего возраста достигала 450-500 г, а при более прохладном лете (1700-1800 градусо-дней) – не превышала 370 г. Такая зависимость обусловлена, с одной стороны, интенсификацией метаболических процессов в организме рыб, а с другой – более бла-

гоприятными условиями для развития кормовых организмов – водорослей и беспозвоночных животных планктона и бентоса.

Водоемы прогреваются за счет поступления на поверхность воды солнечной энергии. От температуры водной поверхности зависит теплообмен с придонными слоями воды. Причем, вследствие неравномерного нагревания и охлаждения воды на разных глубинах происходит расслоение водной толщи водоемов сначала по физическим свойствам, а потом и по химическим и биологическим характеристикам. Изменения температуры воды по акватории и глубине бывают суточные, сезонные, годовые и многолетние. Они зависят, в первую очередь, от режима поступления и поглощения солнечной энергии. Нагретый поверхностный слой воды перемешивается с более глубокими слоями за счет разнообразных гидродинамических процессов.

Температурный режим водоемов включает периоды дневного и весенне-летнего нагревания и ночного и осенне-зимнего охлаждения. Благодаря таким колебаниям температуры происходит динамическое перемешивание водных масс. Периоды нагревания и охлаждения поверхностного слоя приводят к формированию на определенной глубине слоя *температурного скачка*, или *термоклина*, плотность воды в котором возрастает. Водная масса в водоемах имеет характер стратифицированной трехслойной гидрологической структуры, которая включает верхний прогретый слой воды (эпилимнион), средний слой скачка температуры (металимнион) и нижний, наиболее холодный (гиполимнион). Таким образом, зона температурного скачка, или термоклин, является слоем воды, в котором вертикальные градиенты температуры более выражены по сравнению с градиентами выше или ниже расположенных слоев воды. Термоклин формируется в глубоких озерах, водохранилищах, морях и океанах. В таких стратифицированных озерах и водохранилищах ухудшается обмен веществ и энергии между эпи- и гиполимнионом. Период температурной стратификации, при котором не происходит циркуляция вод, называется *периодом стагнации*. В озерах и других водоемах с медленным течением воды такое состояние может наблюдаться в зимний и летний периоды года. В период зимней стагнации более теплая вода сосредоточивается в придонных слоях, в период летней – наоборот. Во время стагнации возникает *кислородная дихотомия*, при которой содержание кислорода в поверхностных слоях воды значительно выше, чем в глубинных.

Температурная стратификация водоемов является важным экологическим фактором. В зависимости от сезона года на разных глубинах от поверхности до дна водоемов меняется температура воды. Летом с увеличением глубины вода более холодная, а зимой, наоборот, более теплая. При такой общей тенденции сезонных изменений температуры воды отмечаются и некоторые особенности зимнего периода в температурной стратификации водоемов. Они связаны с разными фазами зимнего периода. В частности, фаза охлаждения при отсутствии ледового покрова на поверхности водоемов характеризуется более теплым придонным слоем воды по сравнению с поверхностным. И наоборот, фаза охлаждения масс воды под ледовым покровом имеет обратную стратификацию, то есть подледные воды становятся более теплыми, чем придонные. Происходит это вследствие отдачи тепла донными грунтами, поднятия более теплых вод ближе к поверхности, где ледовый покров защищает их от охлаждения. В таких слоях воды содержится больше кислорода, чем в придонных, где интенсивно проходят анаэробные процессы, связанные с разложением органических веществ. В покрытых льдом глубоких озерах и водохранилищах рыбы и планктонные организмы держатся ближе к поверхностным слоям воды.

В весеннюю фазу перемешивания, когда отсутствует температурная стратификация в озере, гидробионты, в частности рыбы, распределяются по всей толще воды. В середине лета, когда четко проявляется температурная стратификация в водоемах и термоклин разделяет толщу воды на более насыщенную кислородом верхнюю часть (эпилимнион) и нижнюю часть (гиполимнион), где вода холоднее и менее насыщена кислородом, планктонные организмы и рыбы сосредоточиваются в верхней части водоема.

Гидрологический режим водотоков и водоемов с высокой проточностью характеризуется слабо выраженной прямой температурной стратификацией летом и отсутствием или обратным характером ее зимой. Для таких водных объектов решающую

роль в характере стратификации играет температура поступающей воды. Необычный характер стратификации состоит в том, что зимой в проточных водных объектах ближе к поверхности поднимается более теплая вода.

В слабопроточных водохранилищах наблюдаются существенные пространственные различия термического режима. В период весеннего таяния ледяного покрова при полной вертикальной гомотермии (равномерное распределение температуры по акватории водоема) температура воды в мелководных зонах может превышать глубоководную на 4-5°C. Происходит это вследствие поступления более прогретых вод из притоков. В период же осеннего похолодания в наиболее глубоководных приплотинных частях водохранилищ температура воды удерживается на 2-3°C выше, чем в верховьях, куда поступает более холодная вода притоков. Температурная стратификация водных масс в водоемах и водотоках создает условия для предотвращения как перегрева, так и переохлаждения гидробионтов, которые имеют возможность мигрировать в зоны с более благоприятной температурой воды.

1 Адаптации гидробионтов к температурным условиям водоема

Как экологический фактор, температура влияет на географическое распространение и зональное распределение гидробионтов, на скорость и характер протекания различных жизненных процессов, а также может иметь сигнальное значение. Виды, адаптированные к существованию в широком температурном диапазоне (более 10-15°C), называются *эвритермными* (например, моллюск *Hydrobia anopensis* живет при температуре от -1 до 60°C), в узком — *стенотермными*. Последние могут быть теплолюбивыми, или *термофильными* (например, рачок *Thermosbaena mirabilis* обитает при 45-48°C, не выдерживая охлаждения до +30°C), и холодолюбивыми, или *криофильными* (многие приполярные организмы, не встречающиеся при положительных температурах). Чем вариабельнее термические условия в местообитании, тем эвритермнее его население.

В соответствии с законом Вант-Гоффа, с возрастанием температуры тела гидробионтов на каждые 10 °C скорость метаболических реакций удваивается. Влияние температуры на скорость реакций определяется уравнением:

$$\lg K_2 = \lg K_1 + \frac{t_2 - t_1}{10} \lg Q_{10}$$

где K_1 и K_2 – константы скорости реакций при температурах t_1 и t_2 , Q_{10} – коэффициент.

Величина Q_{10} (ускорение, вызываемое повышением температуры на 10°C) заметно снижается по мере приближения температур к оптимальным и неодинакова для разных процессов. Например, величина этого коэффициента применительно к росту, питанию и дыханию рачка *Euphausia superba* в диапазоне 8-12°C соответственно составляла 3,5; 3 и 2. Скорость развития дафний с повышением температуры от 10 до 30°C повышалась в 2,5 раза, а интенсивность метаболизма – всего в 1,3 раза. В биологическом диапазоне температур величина Q_{10} для многих метаболических реакций колеблется в пределах 2-2,5. Например, у моллюска *Cardium* величины Q_{10} для активного состояния и покоя равны соответственно 1,84 и 1,2.

Имеется ряд других математических моделей, универсализирующих в широких пределах зависимость скорости биологических процессов от температуры. Им противостоит концепция «метаболической компенсации», согласно которой организмы могут избегать единообразного действия температур путем регуляции работы ферментного аппарата. Стабилизация метаболизма достигается увеличением или снижением концентрации ферментов, изменением их набора, модуляцией (изменением) активности имеющихся ферментов. В результате эффект температурных влияний сглаживается биологическими средствами, число которых тем больше, чем длительнее срок приспособления. У эвритермных организмов, эволюционно адаптированных к перепадам температуры, акклиматизация происходит быстрее, чем у стенотермных.

Адаптация пойкилотермных гидробионтов к изменчивости температурных условий в гидросфере идет по двум линиям: одна из них – выработка эвритермности, другая – выбор мест обитания с устойчивым температурным режимом или такая их смена, при которой организмы избегают воздействия крайних температур. Так, многие беспозвоночные и рыбы

уходят осенью из охлаждающихся вод побережья в открытые зоны водоемов, а весной мигрируют в обратном направлении. С той же целью могут совершаться и вертикальные перемещения для нахождения оптимальных температурных условий на той или иной глубине. В связи с неодинаковыми требованиями к температуре на разных стадиях онтогенеза может наблюдаться пространственная разобщенность мест нахождения молодых и взрослых стадий.

Обычно морские организмы менее эвритермны, чем обитатели континентальных водоемов, где температурные колебания выражены резче. Установлено, что теплоустойчивость белков, клеток, органов и организмов в целом адаптивно связана с термическими условиями существования гидробионтов в их естественных местообитаниях. Например, холодовое оцепенение медуз *Aurelia aurita* у берегов Флориды ($t = 29^{\circ}\text{C}$) наступает при $11-12^{\circ}\text{C}$, а тепловой шок – при 20°C ; у тех же медуз близ берегов Новой Шотландии ($t = 14^{\circ}\text{C}$) холодовое оцепенение наступает только при $-1,4^{\circ}\text{C}$, а тепловой шок — уже при 29°C . Гребневики *Bolinopsis infundibulum*, содержащиеся при $1-3^{\circ}\text{C}$, начинали распадаться при $20-21^{\circ}\text{C}$, а особи, находившиеся в воде с температурой 13 и 23°C , выдерживали соответственно 23 и 25°C .

Теплоустойчивость клеток морских беспозвоночных связана с широтным распространением видов, расположением в море по вертикали и особенностями экологии; она не связана с филогенетическим положением вида, а определяется температурными условиями его существования. Ткани одного организма обладают разной теплоустойчивостью, причем нервная – наименьшей и ее терморезистентность определяет верхний температурный порог существования гидробионтов.

У многих гидробионтов, периодически подвергающихся действию отрицательных температур, вырабатываются адаптации, предупреждающие замерзание соков тела. В основном они сводятся к снижению точки замерзания соков и повышению их способности к переохлаждению. Благодаря таким адаптациям многие литоральные организмы переносят понижение температуры до -10°C . Например, такие температуры выдерживают мидии. Моллюск *Palingera polaris*, вмерзая в лед, легко выносит охлаждение до -11°C и ниже, окружая себя слизью, ингибирующей рост ледяных кристаллов. У трески *Gadus ogas* летом точка замерзания плазмы обычно равна $-0,8^{\circ}\text{C}$, а зимой снижается до $-1,6^{\circ}\text{C}$, что дает ей возможность вести активную жизнь при минимальных температурах воды. Замерзание соков тела предупреждается выработкой специальных **антифризов** – гликопротеидных молекул. Чем чаще и сильнее периодические изменения температуры в естественных местообитаниях гидробионтов, тем выше их устойчивость к холодовым и тепловым повреждениям.

Широкий набор биохимических средств для поддержания гомеостаза в условиях колеблющихся температур в сочетании с различными поведенческими и анатомическими адаптациями позволяет гидробионтам в значительной мере осуществлять уровень присущего им обмена независимо от того, в теплых или холодных водах они обитают. Для многих гидробионтов установлено, что их рост и развитие ускоряются, если температура не стабильна, а колеблется в некоторых пределах с той или иной периодичностью.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ГАЗЫ ПРИРОДНЫХ ВОД

1. Кислород и его роль в водных экосистемах.
2. Углекислый газ и его значение для гидробионтов.
3. Сероводород и метан.

1. Кислород и его роль в водных экосистемах

Кислородный режим определяется химико-биологическим состоянием водоема. Обмен кислородом между водной средой и атмосферой носит динамичный характер и состоит из двух процессов: *инвазии* (поступление кислорода в воду из воздуха) и *эвазии* (переход кислорода в атмосферу при перенасыщении им поверхностного слоя воды). Эти процессы ускоряются при турбулентном перемешивании водных масс и влиянии ветра на поверхность воды. Круговорот кислорода в водных экосистемах состоит из нескольких связанных между

собой процессов, формирующих приходную и расходную части их кислородного баланса, каждая из которых включает внешние и внутриводоемные процессы. К внешним элементам приходной части относится поступление кислорода в водные объекты с водой других источников (например, речного стока), с атмосферными осадками и подземными водами, а также его инвазия, а к внутриводоемным – образование кислорода в процессе фотосинтеза водорослей и высших водных растений. Расходная часть баланса кислорода водных экосистем включает его потребление гидробионтами в процессе дыхания, химическое окисление, вынос с водным стоком и эвaziю.

Содержание кислорода в воде измеряется в абсолютных или относительных величинах – процентах насыщения. Под процентом насыщения понимают отклонение уровня насыщения воды кислородом от его равновесной концентрации (14,7 мг O_2 /л) при определенных условиях (температура, pH, волнообразование). Следует подчеркнуть, что максимальное насыщение кислородом за счет инвазии не может превышать 100 %. Содержание кислорода более 100 % увеличивается вследствие фотосинтеза водорослей и высших водных растений. При этом насыщенность воды кислородом может достигать 150-200 % или даже быть выше.

Насыщенность воды кислородом меньше 100 % свидетельствует о неблагоприятных условиях для его инвазии, снижении интенсивности его образования за счет фотосинтеза и значительном расходе на окисление и биологическое разложение (деструкцию) органического вещества.

Содержание кислорода от поверхности океана к более глубоким слоям постепенно снижается. Так, в высоких широтах Мирового океана (за исключением северной части Тихого океана) его концентрация в глубинных водах составляет лишь 50-70 % насыщения, а в северной части Атлантического океана она несколько выше (70-80 % насыщения).

В континентальных водоемах кислородный режим характеризуется определенными сезонными особенностями. Так, в летний, наиболее теплый, сезон года ведущую роль играет фотосинтез водорослей и высших водных растений, благодаря которому вода обогащается кислородом. Но в жаркие летние дни часто происходит резкое снижение насыщенности воды кислородом, обусловленное уменьшением его поглощения из воздуха, а также увеличением расхода на окисление органических веществ. Острый дефицит кислорода может наблюдаться и в водоемах с большими площадями зарослей высших водных растений, а также при «цветении» воды вследствие массового развития водорослей. В этот период в ночные часы резко тормозится фотосинтетическая деятельность, но продолжается дыхание растений и водных животных. Зимой, когда кислород расходуется на окисление отмерших и дыхание живых организмов, а инвазия его резко ограничена из-за наличия ледяного покрова водоемов, дефицит кислорода может достичь критического уровня и вызвать массовую гибель рыб и других водных организмов.

В реках, где есть течение и отсутствуют застойные зоны, концентрация кислорода в воде значительно выше, чем в озерах и водохранилищах. Особенно высокое насыщение кислородом характерно для горных рек с быстрым течением, в которых образуются водопады и происходит дополнительное перемешивание воды.

Если поверхностные и глубинные слои резко отличаются друг от друга по содержанию кислорода, говорят о *кислородной дихотомии*. Равномерное распределение кислорода во всей водной массе называется *гомооксигенией*, которая наблюдается во время энергичного перемешивания, охватывающего всю водную массу.

По отношению к кислороду организмы делятся на *эври-* и *стеноксидные* формы (эври- и стеноксибионты), способные соответственно жить в пределах широких и узких колебаний рассматриваемого фактора. Из эвриоксидных форм можно назвать рачков *Cyclops strenuus*, червей *Tubifex tubifex*, моллюсков *Viviparus viviparus* и ряд других организмов, способных жить в условиях почти полного отсутствия или высокого содержания кислорода. К стеноксибионтам относятся ресничные черви *Planaria alpina*, рачки *Mysis relicta*, *Bythotrephes*, личинки комаров *Lauterbornia* и другие животные, не выдерживающие падения концентрации кислорода ниже 3-4 мл/л.

Чем меньше кислорода растворено в воде, тем более развитой должна быть дыхательная система водных организмов. Пути ее развития: увеличение размеров жабр

(дыхательных поверхностей); система принудительного промывания жабр, дыхательные пигменты в крови (для переноса больших доз кислорода). Все это свойственно животным стоячих водоемах; а в быстрых речках, где кислорода много, у мелких животных жабр может вообще не быть (например, у многих веснянок). Градацию жабр можно проследить на поденках: у прудовых *Cloeon dipterum*, *Siphonurus* – широкие лопухи, способные к быстрым колебаниям; у речных *Baetis*, *Cloeon ornatum* – узкие малоподвижные жаберы; у горных *Baetis inexpectatus* – совсем маленькие.

Еще один вариант – дыхание воздухом с поверхности воды, позволяет жить в воде, вообще не содержащей кислорода (и, кроме того, не иметь водных жабр с тонкими покровами, через которые в организм в первую очередь проникают яды). Особенно удобно в мелких водоемах, где поверхность всегда близко. Так живут взрослые жуки и клопы, некоторые личинки насекомых и крупные легочные улитки. Еще один способ – присасываться к воздухоносным сосудам высших водных растений – минирование. В случаях, когда адаптация гидробионтов к дефициту кислорода оказывается недостаточной, наступает их гибель.

4. Углекислый газ и его значение для гидробионтов

Обогащение воды CO_2 происходит в результате дыхания водных организмов, за счет инвазии из атмосферы и выделения из различных соединений, в первую очередь из солей угольной кислоты. Снижение концентрации CO_2 в воде в основном идет за счет его потребления фотосинтезирующими организмами и связывания в соли угольной кислоты.

Коэффициент абсорбции CO_2 при температуре 0°C равен 1,713. Следовательно, при нормальном содержании газа в атмосфере (0,3 мл/л) и температуре 0°C в 1 л воды может раствориться 0,514 мл CO_2 . С повышением температуры и солености нормальное содержание CO_2 в воде снижается.

Небольшая часть молекул CO_2 , реагируя с водой, образует угольную кислоту, которая затем диссоциирует.

Ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} , реагируя с ионами металлов, образуют соли, из которых в природных водах наибольшее значение имеют карбонаты магния и особенно кальция. Так как растворимость CaCO_3 очень невелика, то уже при небольших концентрациях ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} эта соль выпадает в осадок. Это имеет место, когда вода становится щелочной и количество ионов CO_3^{2-} становится выше некоторого критического уровня. Когда вода подкисляется и количество ионов CO_3^{2-} , образующихся за счет диссоциации угольной кислоты, понижается, они начинают поступать в воду в результате растворения монокарбонатов. Если реакция воды остается кислой, ионы CO_3^{2-} превращаются в ионы HCO_3^- (связывание ионов H^+ , повышение pH), а дефицит первых покрывается образованием дополнительных количеств за счет дальнейшего растворения монокарбонатов. Растворение монокарбонатов будет длиться до тех пор, пока не истощится их запас, не повысится pH среды, подщелачивающейся в результате растворения монокарбонатов. Обратная картина наблюдается в щелочной среде: в результате повышения концентрации ионов CO_3^{2-} (соответствующая диссоциация H_2CO_3) они, соединяясь с ионами Ca^{2+} , образуют осадок CaCO_3 и одновременно среда подкисляется (накопление ионов H^+). Таким образом, в природных водах создается буферная система, предупреждающая заметное изменение pH среды, пока в ней содержатся карбонаты и есть контакт с CO_2 атмосферы. Эту систему подвижного равновесия можно представить в виде схемы. CO_2 воздуха $\leftrightarrow$ CO_2 воды $\leftrightarrow$ H_2CO_3 $\leftrightarrow$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\leftrightarrow$ CaCO_3 , растворенный в воде $\leftrightarrow$ CaCO_3 в осадке. Углекислота, содержащаяся в карбонатах, называется *связанной* в отличие от той, которая растворена в воде и называется *свободной*. Углекислота, содержащаяся в монокарбонатах и по количеству равная той, которая требуется для их превращения в бикарбонаты, называется *недостающей*.

CO_2 служит источником углеродного питания автотрофов; сложнее его значение в жизни гетеротрофов. При высоких концентрациях CO_2 ядовит для животных, и по этой причине они часто отсутствуют во многих родниках с водой, пересыщенной углекислотой. В небольших концентрациях CO_2 нужен животным для регуляции метаболизма и синтеза различных органических веществ. Описан ряд реакций карбоксилирования, с помощью

которых углерод разных соединений включается в белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и другие вещества. В опытах на молоди севрюги уже через 5 ч после добавления в воду радиоактивного NaCO_3 меченый ^{14}C обнаруживался сначала в гликогене, несколько позже – в липидах и белках мышц. Используется углекислота и как исходный субстрат в процессах биосинтеза гетеротрофными бактериями.

Выступая как донатор углеродных атомов для построения органических соединений, углекислота одновременно значительно влияет на регуляцию обменных процессов. Так, с повышением в воде концентрации CO_2 до 60 мг/л величина рациона пескарей возрастает, линейный рост резко замедляется, а масса тела увеличивается за счет прогрессирующего обводнения тканей. С увеличением концентрации CO_2 в воде возрастает его содержание в жидкостях тела. Например, у карпов эта зависимость в диапазоне 0-2 моль/л CO_2 носит линейный характер. Увеличение концентрации углекислоты в крови вызывает соответствующие сдвиги ее содержания в тканях, сопровождающиеся теми или иными метаболическими эффектами. Таким образом, углекислота – фактор очень сложного значения в жизни животных.

3. Сероводород и метан

Сероводород. В водоемах он образуется почти исключительно биогенным путем за счет деятельности различных бактерий. Для водного населения он вреден как косвенно – через снижение концентрации кислорода, идущего на окисление S^{2-} до S , так и непосредственно. Для многих гидробионтов он смертелен даже в самых малых концентрациях. Обитающие в чистой воде полихеты *Nereis zonata*, *Phylodoce tubercidata*, рачки *Daphnia longispina* и многие другие организмы не переносят даже следов сероводорода. Терпимее к нему формы, живущие среди гниющего ила. Червь *Capitella capitata* – способен жить 8 дней при концентрации сероводорода до 20,4 мл/л. С возрастом устойчивость к ядовитому действию H_2S у гидробионтов обычно повышается. Образование больших количеств этого газа может вызывать заморы, что нередко наблюдается летом в Каспийском и Азовском морях во время штилей. Достаточно шторму перемешать воду, чтобы кислород, насытив водную толщу, окислил сероводород и заморные явления прекратились.

В морях H_2S образуется почти исключительно за счет восстановления серы сульфатов гетеротрофными десульфирующими бактериями, которые, обитая в анаэробных условиях, используют сульфаты в качестве акцептора водорода при метаболическом окислении. Количество H_2S , образованного в результате деятельности десульфирующих бактерий (главным образом *Desulfovibrio*), иногда настолько велико, что им насыщаются придонные слои воды толщиной в десятки и сотни метров. В Черном море от сероводорода свободен только поверхностный слой в 150-250 м, вся же остальная толща воды содержит этот газ и потому почти безжизненна. В значительной мере насыщены сероводородом глубины Каспийского моря и норвежских фиордов, отделенных от моря более или менее высокими барьерами, препятствующими обмену воды. Развитию десульфирующих бактерий способствуют пониженное содержание кислорода, существование впадин, где ослаблена вертикальная циркуляция воды, и присутствие значительных количеств сульфатов. Поскольку последних в пресных водах содержится мало, образование в них сероводорода за счет деятельности десульфирующих бактерий наблюдается очень редко и обычно связано с загрязнением воды стоками, содержащими сульфаты. В пресных водоемах сероводород выделяют гнилостные бактерии, поскольку именно здесь на дне часто скапливается много разлагающихся белковых веществ. Значительные количества сероводорода (до 787 мг/л) отмечены на дне водоемов во время их стагнации.

Освобождение воды от сероводорода происходит за счет окисления, протекающего как абиогенно, так и биогенно, в результате жизнедеятельности бактерий, главным образом серных. В поверхностных слоях воды, где много кислорода, окисление сероводорода (до сульфата и тиосульфата) осуществляется абиогенно. У верхней границы сероводородной зоны биологическим путем окисляется около трети S^{2-} , глубже деятельность серных бактерий подавляется. Помимо серных бактерий H_2S окисляют фотосинтезирующие

пурпурные и некоторые зеленые бактерии, использующие сероводород в качестве донатора водорода.

Метан. Подобно сероводороду, ядовит для большинства гидробионтов. Образуется при микробном разложении клетчатки и других органических веществ. Обычно его объем составляет около 30-50% от всех газов, выделяемых донными отложениями в воду. Скорость образования метана зависит главным образом от количества разлагаемого субстрата и температуры. В водоемах-охладителях АЭС выделяется до 200-300 мл CH_4 на 1 м^2 в сутки. На мелководьях тропических морей из илистых грунтов в сутки выделяется 30-40 мкмоль/м^2 , из крупнодисперсных – примерно в 10 раз меньше. Особенно много метана выделяют грунты прудов и озер с высоким содержанием органических веществ.

Часть образующегося в водоемах метана поступает в атмосферу, часть окисляется микроаэрофильными бактериями (*Pseudomonas* и др.) до H_2CO_3 . Количество метанооксиляющих бактерий в толще воды обычно измеряется десятками и сотнями в 1 мл, в грунте – сотнями тысяч в 1 г. Они могут использовать CH_4 даже в очень малых концентрациях (до 0,05 мкмоль/л), препятствуя его накоплению в толще воды.

СОЛЕВОЙ СОСТАВ ВОД И АДАПТАЦИЯ К НЕМУ ГИДРОБИОНТОВ

1. Классификация природных вод по солевому составу. Солевой состав океанических, морских и континентальных вод.
2. Осмотические факторы среды и осморегуляция у гидробионтов.

1. Классификация природных вод по солевому составу. Солевой состав океанических, морских и континентальных вод.

Суммарное содержание всех растворенных в воде минеральных веществ называют *соленостью*. Для характеристики пресных вод она выражается чаще всего в миллиграммах на дециметр кубический раствора (мг/дм^3), солоноватых и морских – в промилле (‰); 1 ‰ соответствует концентрации 1 грамм на дециметр кубический (г/дм^3).

Используются следующие физико-химические методы определения солености: а) оптический, основанный на измерении показателя преломления или картины интерференции; б) метод ареометрирования, позволяющий определять удельный вес морской воды при заданной температуре, а затем при помощи специальных таблиц переводить удельный вес в соответствующую ему соленость; в) измерение солености по электропроводности; г) определение содержания хлора как преобладающего элемента путем осаждения его (титрования) и вычисления по хлору общей солености; д) проведение полного химического анализа морской воды.

Все природные воды (согласно общепринятой Венецианской системы) подразделяются на *пресные* (соленость до 1,0 ‰), *солоноватые* (1,0-30 ‰), *солёные*, или *морские*, (30-40 ‰) и *ультрагалинные*, или *пересолённые*, (более 40 ‰). Пресные воды, в свою очередь, подразделяются на *гипогалинные* (менее 0,5 ‰) и *олигогалинные* (0,5-1,0 ‰), а солоноватые – на *мезогалинные* (1-18 ‰) и *полигалинные* (18-30 ‰).

В пресных водах концентрация карбонатных ионов наибольшая по сравнению с содержанием других ионов. Минерализация морских (океанических) вод определяется, в основном, хлоридами натрия и магния. В пресных водах их содержание составляет не более 5,2, а карбонатов – 60,1 %, в воде открытой части океана – соответственно 88,7 и 0,3 %.

Солевой состав океанических и морских вод. В процессе эволюции некоторые неорганические ионы включались в молекулы органических веществ, изменяя их специфические свойства, структуру и функции. Еще с протерозойской эры морские организмы использовали для построения тканей опорного аппарата различные труднорастворимые соединения, содержащиеся в океанической воде, такие как карбонат кальция (арагонит), фосфаты кальция и магния, апатиты (гидроксилапатит и фторапатит), фторид кальция и др. Химический состав скелетов разных морских организмов отражает особенности минерального обмена у водных животных в зависимости от характера вод. Так,

у первобытных животных скелет состоял главным образом из SiO_2 . Такая структура скелета сохранилась только у губок. У моллюсков на построение внешнего скелета (раковины) используется преимущественно карбонат кальция, а у некоторых – фосфатные соединения кальция и магния.

Фосфатно-хитиновые опорные ткани эволюционно сохранились лишь у членистоногих, тогда как фосфатно-кальциевые скелеты, построенные на основе белкового матрикса, стали опорным аппаратом у рыб, морских млекопитающих и наземных животных. Кальций и фосфор стали важнейшими пластическими компонентами тканевых структур водных и наземных позвоночных животных. Они принимают участие в регуляции многих биохимических процессов. В современный геологический период общая соленость океанических вод составляет от 32,0 до 37,5 ‰ (средняя – 35,0 ‰).

Формирование солевого состава Мирового океана зависит от многих факторов, в том числе от протекания химических, физических и биологических процессов. Элементами приходной части баланса солей являются вынос ионов с поверхностным и подземным континентальным стоком в океан, извержение вулканов и выход химических элементов из земных трещин, образующихся на дне морей и океанов. С атмосферными осадками в океан поступает от 1 до 1,3 млрд. т солей вулканического, морского и континентального происхождения. Из всех растворенных в океанической и морской воде солей наибольшее количество приходится на хлорид натрия (около 78 ‰) и хлорид магния (около 11 ‰).

По степени обособленности и особенностям гидрологического режима, связанным с географическим положением и физико-химическими факторами среды, моря подразделяют на пять типов:

1) окраинные с соленостью поверхностных вод близкой к океанической, непосредственно контактирующие с океаническими (арктические и некоторые другие моря);

2) окраинные с пониженной соленостью, обусловленной высоким речным стоком пресных вод;

3) окраинные с повышенной соленостью воды вследствие притока в них высокоминерализованных вод (Баренцево море) или преобладания испарения над выпадением атмосферных осадков (Аральское море);

4) внутренние с пониженной соленостью, обусловленной значительным речным стоком (Черное, Азовское, Каспийское моря и др.) или (наряду с этим) превышением количества осадков над испарением (Балтийское море);

5) внутренние с повышенной соленостью воды за счет преобладания испарения осадков при низком уровне пресноводного речного стока (Средиземное, Карибское, Красное моря залив Мексиканский и Персидский).

Всего к Мировому океану относится 60 морей и множество заливов и проливов. Близ устьев больших рек, впадающих в моря, общая соленость обычно резко снижается.

Солевой состав континентальных вод. В отличие от морских вод, характеризующихся постоянством солевого состава, пресные воды разных ландшафтных зон существенно отличаются по составу основных ионов. В соответствии с **классификацией О.А. Алекина**, природные воды подразделяются по солевому составу на три класса: гидрокарбонатные (С), сульфатные (S) и хлоридные (Cl). Каждый **класс**, в зависимости от преобладающих макрокомпонентов, разделяется на **три группы**: кальциевую, магниевую и натриевую, а каждая группа, в свою очередь на **четыре типа** (I, II, III, IV).

Воды типа I образуются в процессе химического выщелачивания вулканических пород или при обменных процессах Ca^{2+} и Mg^{2+} на Na^+ . Эти воды чаще всего мало минерализованы.

Воды типа II – смешанные. Их состав может быть связан генетически как с осадочными породами, так и с продуктами выветривания вулканических пород. К этому типу относятся воды большинства рек, озер и подземные воды небольшой и умеренной минерализации.

Тип III включает сильно минерализованные воды и воды, характеризующиеся катионным обменом $\text{Na}^+\text{Ca}^{2+}$ или Mg^{2+} . Такими свойствами обладают воды океанов, морей, лиманов, реликтовых водоемов.

К водам **типа IV**, не содержащим HCO_3 , относятся кислые воды. Это воды болот, шахтные, вулканические или воды, сильно загрязненные промышленными стоками.

Характеристики вод обозначаются следующим образом: класс – химическим символом соответствующего аниона (C, S, Cl), группа – символом катиона (Ca, Na, Mg). Принадлежность к типу обозначается римской цифрой в нижнем индексе, к группе – символом в верхнем индексе. Например, $\text{C}^{\text{Ca}}_{\text{II}}$ – гидрокарбонатный класс, группа кальция, тип II.

Поверхностные воды суши по солевому составу характеризуются такими показателями, как общая минерализация, соотношение ионов и содержание хлоридов и сульфатов. По степени минерализации Алекин подразделяет воды на четыре ступени: малой минерализации (до 200 мг/л), средней минерализации (200 – 500 мг/л), повышенной минерализации (500 – 1000 мг/л) и высокой минерализации (более 1000 мг/л).

На большей части Европейского континента воды рек имеют небольшую или среднюю минерализацию и относятся преимущественно к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе. Для степных и полупустынных зон характерна повышенная минерализация вод сульфатного класса такие реки занимают лишь 3-4% площади всех речных бассейнов. Еще меньше речных бассейнов, воды которых относятся к хлоридному классу, натриевой группе. Как правило, эти воды характеризуются высокой минерализацией. Минерализация и содержание отдельных ионов в воде водоемов зависят от сезона года: снижается в пик весеннего наводнения и возрастает в летнюю межень и зимой, когда в питании реки увеличивается доля грунтовых вод.

Формирование солевого состава зарегулированных рек зависит не только от состава воды, поступающей с водосборной площади, но и от характера внутриводоемных процессов. При многолетнем регулировании стока минерализация воды может повышаться лишь до определенного уровня, т. е. до установления солевого равновесия. Сезонные колебания минерализации и ионного состава воды больших водохранилищ обуславливаются, главным образом, притоком речных вод, а при каскадном их расположении – поступлением воды с вышерасположенных водохранилищ и незарегулированных участков реки. В небольших водохранилищах в формировании ионного состава воды важную роль играет также смыв растворенных солей с прибрежных склонов, поступление грунтовых вод и атмосферных осадков, испарение, забор воды для хозяйственно-бытовых нужд.

В озерах солевой состав воды и ее минерализация зависят от их зонального расположения. Солонатоводные озера чаще всего расположены в степных районах, в зонах с сухим, жарким климатом и высокой интенсивностью испарения воды. В связи с этим в непроточных или слабопроточных озерах в результате испарения происходит концентрирование основных ионов и частичное их выпадение в осадок (преимущественно слаборастворимых карбонатных солей кальция). Иногда образование таких озер связано с выходом на поверхность грунтовых вод с повышенной минерализацией. В воде соленых озер концентрация солей близка к океанической или превышает ее. Соленые озера часто рассматриваются как лечебные с высококонцентрированными рассолами. Для таких озер характерны высококонцентрированные растворы нескольких солей, и поэтому их класс может быть определен не по одному, а по двум анионам, например хлоридно-сульфатный или сульфатно-хлоридный. В таком случае в названии класса на первом месте ставится анион, который преобладает.

Выделяют следующие классы вод соленых озер: карбонатные (содовые), сульфатные и хлоридные. В карбонатных преобладает Na_2CO_3 , в сульфатных – Na_2SO_4 и MgSO_4 , а в хлоридных – NaCl , MgCl_2 и CaCl_2 .

2. Осмотические факторы среды и осморегуляция у гидробионтов

Приспособление гидробионтов к солености воды связано с регуляцией концентрации ионов во внутриклеточной жидкости и ее осмотического давления.

Концентрация неорганических ионов в водной среде может изменяться в очень широком диапазоне (от нуля до величин, в сотни раз превышающих их внутриклеточный уровень у гидробионтов). Это приводит к тому, что ионный градиент между организмом и средой, в которой он находится, может быть высоким.

Осмотический градиент между организмом и средой постоянно создает угрозу дегидратации морских и гипергидратации пресноводных организмов. Чем больше разница между осмотической концентрацией в водной среде и в организме, тем более жесткому влиянию необходимо противостоять гидробионтам. При этом проблема адаптации состоит в регуляции не только количественного, но и качественного различия в ионном составе клеток организма и окружающей среды. То есть клетки должны препятствовать выравниванию концентраций большого количества ионов между внутри- и внеклеточной жидкостью, обеспечивая избирательность их поступления и отдачи.

Поддержание осмотического давления цитоплазмы в условиях разной солености водной среды осуществляется двумя механизмами: изменением концентрации в цитоплазме органических осмотически активных веществ и изменением содержания в ней неорганических ионов.

К осмотически активным веществам относятся аминокислоты, мочевины, метиламины и другие соединения, синтезирующиеся в организме. Установлено, что при повышении солености воды у беспозвоночных может возрастать ферментативная активность глутамат-дегидрогеназы – фермента, который инициирует синтез глутаминовой и других аминокислот. На значение органических веществ в поддержании осмотического давления у гидробионтов указывают следующие данные. У мидий при повышении солености до 35‰ содержание азотистых соединений в цитоплазме клеток возрастает в 5-6 раз, а неорганических электролитов – в 1,1-1,2 раза. Клеточное осмотическое давление при этом увеличивается на 75%. Компенсаторное возрастание внутриклеточного давления, происходящее в основном за счет органических веществ, можно рассматривать как важный фактор в приспособлении гидробионтов к гипергалинной среде. Как известно, неорганические ионы существенным образом влияют на ферментативную активность и структурную организацию цитоплазматических макромолекул. Если бы выравнивание осмотической концентрации внутренней среды гидробионтов, живущих в гипергалинных условиях, происходило только за счет ионов, это могло бы привести к резким изменениям метаболизма. Что же касается аминокислот и других органических веществ, то они не взаимодействуют с субстратами и коферментами и не влияют на ход физиолого-биохимических реакций. В то же время неорганические ионы (особенно натрий и калий) играют чрезвычайно важную роль в транспорте ионов и воды между внеклеточной и внутриклеточной средой.

В зависимости от особенностей осморегуляции гидробионты делятся на гомойосмотических и пойкилосмотических.

Пойкилосмотические организмы не способны поддерживать более или менее постоянно осмотическое давление при изменении солености водной среды. К пойкилосмотическим относятся низшие беспозвоночные, двусторчатые моллюски, многие виды кольчатых червей, иглокожие. Таких морских беспозвоночных еще называют осмоконформерами. По характеру приспособления к солености воды к пойкилосмотическим организмам относятся практически все водоросли. В отношении растений часто применяют другое определение – пойкилогидрические организмы, что подчеркивает степень обводнения их цитоплазмы.

К *гомойосмотическим* относятся водные животные, способные активно регулировать осмотическое давление жидкостей тела и поддерживать относительное постоянство физиологических параметров внутренней среды независимо от изменений минерализации воды. Такие животные имеют название осморегулирующие. К ним относятся пресноводные и морские рыбы, морские млекопитающие, некоторые ракообразные.

К разной солености воды и простейшие, и более сложно организованные многоклеточные организмы приспосабливаются по-разному. Целью адаптивных реакций гидробионтов разных уровней филогенетического развития является обеспечение ионного и осмотического гомеостаза.

ВОДОРОДНЫЕ ИОНЫ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Концентрация водородных ионов в природных водах довольно устойчива, поскольку эти воды благодаря присутствию карбонатов, представляют собой сильно забуференную систему. В отсутствие карбонатов pH воды может снижаться до 5,67, если она насыщена CO₂. В сфагновых болотах pH нередко достигает 3,4, так как в воде мало карбонатов и присутствует серная кислота. Во время интенсивного фотосинтеза pH иногда поднимается до 10 и более вследствие почти полного истощения CO₂ и подщелачивания воды карбонатами. В морских водах pH обычно составляет 8,1-8,4. Воды с pH от 3,4 до 6,95 называются *кислыми*, с pH от 6,96 до 7,3 – *нейтральными*, с pH > 7,3 – *щелочными*. В одном и том же водоеме в течение суток pH может колебаться на 2 единицы и более: ночью вода подкисляется выделяющимся в процессе дыхания CO₂, днем подщелачивается в результате потребления CO₂ растениями. В грунтах озер и болот pH обычно не поднимается до 7, в морских осадках он, как правило, выше 7, особенно на участках с достаточно выраженным течением.

Влияние концентрации водородных ионов на организмы сказывается через воздействие на скорость ферментативных процессов, на работу мембранных транспортных систем, на состояние самих мембран. Среди гидробионтов различают формы *стеноионные*, обитающие в водах с колебаниями pH в 5-6 единиц, и *эвриионные*, выдерживающие большие изменения этого фактора. Из эвриионных форм можно назвать личинок комара *Chironomus*, способных выдерживать колебания pH от 2 до 10, рачков *Cyclops languidus* и *Chydorus ovalis*, коловраток *Anuraea cochlearis* и др.

Стеноионные формы, предпочитающие кислые воды, называются *ацидофильными*, обитающие в щелочных водах – *алкалифильными*. К первым, в частности, относятся жгутиковые *Cartesia obtusa* и *Astasia*, коловратка *Etosa worallii* и другие обитатели сфагновых болот, живущие в воде с pH до 3,8 и не встречающиеся в нейтральных и щелочных водах. Примером алкалифильных гидробионтов служат моллюски с известковой раковиной, обитающие в водах с pH > 7. Бентосные формы пресных вод, живущие в условиях некоторого подкисления среды, заметно легче выдерживают отклонения pH в сторону меньших величин, чем больших.

ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА

С известной степенью условности их подразделяют на взмученный грунт, содержащий небольшое количество органического вещества, и детрит, в котором его сравнительно много. Грунт взмучивается в результате эрозии ложа водоемов во время движения воды, особенно в реках, водохранилищах, мелких озерах и прудах. *Детрит*, находящийся в воде, состоит из минеральных и органических частиц, объединяющихся в сложные комплексы, так как любая минеральная частица адсорбирует на своей поверхности органическую пленку, которая в свою очередь заселяется бактериями. В формировании *детрита* принимают участие минеральная взвесь, отмершие организмы и их части, а также органическое вещество, растворенное в воде. Помимо этого частицы детрита – места огромной концентрации и высокой биологической активности микроорганизмов. По размерному составу различают *ультра-*, *микро-*, *мезо-* и *макродетрит*; наименьшие размеры частиц детрита – 0,1 мк. Количество детрита, взвешенного в воде Мирового океана, равно примерно 10¹¹ т; на его долю приходится до 8-10% всего органического вещества, сосредоточенного в воде. За счет взвешенного в воде детрита в той или иной степени питаются многие коловратки, ракообразные, моллюски, иглокожие и другие животные.

Присутствие в воде больших количеств взвеси может ухудшать условия фотосинтеза. Неблагоприятное действие она оказывает на животных, так как при оседании захоранивает организмы, обитающие на грунте, и нарушает питание гидробионтов-фильтраторов. Например, моллюск *Margaritana margaritifera* исчез в реках Валдайской возвышенности, где он жил 40-50 лет назад, из-за помутнения воды вследствие распахивания песчаных склонов. Донная фауна очень мутной р. Риони по сравнению с прозрачными реками Кавказа в 2-3 раза беднее по числу видов и в 200-250 раз – по количеству организмов. Крайне бедны жизнью реки Сырдарья, Амударья и многие другие, отличающиеся высокой мутностью воды.

Во многих водоемах существенно выражена своеобразная циркуляция взвешенных органических веществ, связанная с потоком пузырьков из глубины к поверхности. В морских водах пузырьки воздуха могут адсорбировать и переносить к поверхности около половины органического азота и углерода, включая их в состав пены. В ней быстро образуются крупные (>1 мм) агрегаты органического вещества, в основной своей массе опускающиеся вглубь.

СВЕТ И ЕГО РОЛЬ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Свет поступает на земную поверхность в виде *прямой* и *рассеянной солнечной радиации*, которые вместе оцениваются как суммарная радиация. В ней на видимую часть спектра приходится около 48 %, на инфракрасное излучение – 45%, а на ультрафиолетовое – 7% энергии. Солнечная радиация является источником энергии для всех процессов в биосфере, связанных с жизнью на нашей планете, и определяет ее температуру в поверхностных слоях.

При гидроэкологических исследованиях относительную прозрачность воды определяют с помощью белого диска (диска Секки). Относительная прозрачность оценивается по толщине слоя воды, через который можно видеть этот диск (диаметром 30 см) при погружении его с теневой стороны плавающих средств. С помощью этого метода можно оценивать относительную прозрачность воды с точностью до 5% . В лабораторных условиях для анализа санитарно-гигиенических характеристик воды ее прозрачность определяют по высоте столба воды в мерном цилиндре, через который можно видеть стандартный шрифт. Современные оптические приборы (прозрачномеры) позволяют регистрировать интенсивность проникающей на разные глубины солнечной радиации с помощью фотоэлементов.

Прозрачность воды изменяется в зависимости от сезона, количества взвешенных частиц, глубины водоемов и многих других причин. В нестратифицированных водоемах прозрачность воды снижается в придонном слое вследствие возрастания мутности, связанной с нарушением донных грунтов, в стратифицированных наибольшая прозрачность воды наблюдается в гипolimнии, а наименьшая – в зоне максимального развития фитопланктона. Снижается прозрачность воды в зоне термоклина за счет более высокой ее плотности и задержки детрита. Отрицательно влияют на проникновение солнечной радиации в толщу воды заросли высших водных растений. Так, по сравнению с открытыми акваториями, на поверхность воды с рогозом широколистным (50-60% зарослевого покрытия) поступает 40%, а с камышом обыкновенным (90-95% зарослевого покрытия) – только 25% солнечной радиации. Еще меньше солнечной энергии проникает в толщу воды. Например, на глубину 0,3 м в зарослях манника плавающего с зарослевым покрытием 90% поступает 15% , а при покрытии 60% - 80% солнечной энергии. Поглощение в верхних слоях воды значительной части солнечной радиации резко ограничивает распространение в толще воды фотосинтезирующих растений. Они могут развиваться на относительно небольшой глубине в континентальных водоемах, морях и океанах.

В водоемах выделяются следующие **световые зоны**.

1. Верхний слой, где света достаточно для процессов фотосинтеза – фотический слой. Зона проникновения света, где интенсивность фотосинтеза превышает интенсивность дыхания растений – эвфотическая зона. Ее нижняя граница, где интенсивность фотосинтеза уравнивается с дыханием – компенсационный слой.
2. Сумерочная, дисфотическая зона.
3. Афотическая зона, куда свет не проникает.

В воде наиболее интенсивно поглощаются длинные волны солнечной радиации, которая наиболее важна для фотобиологических процессов. Сквозь толщу пресных и морских вод проникает преимущественно излучение голубой части спектра с длиной волны 475-480 нм. В процессе фотобиологических реакций энергия солнечной радиации поглощается дискретными частицами, называемыми *фотонами*, или *квантами*. Фотосинтез у бактерий протекает в спектральном диапазоне 400-900 нм, высших зеленых растений – 400-700 нм, водорослей – 400-660 нм. Если волны короче 300 нм, нарушается молекулярная

структура белков и нуклеиновых кислот и соответственно – нормальное функционирование живых систем. Вот почему представляют угрозу для биосферы уменьшение и разрывы озонового слоя, который задерживает проникновение на Землю именно таких квантов солнечного излучения. При прозрачности воды 2 и 7,5 м наиболее интенсивно процесс фотосинтеза протекает до глубины соответственно 1,5 и 6,3 м – в слое, где величина фотосинтетической активной радиации не падает ниже 0,17-0,22 Дж/см² (величины, необходимой для максимальной интенсивности фотосинтеза).

Солнечная радиация играет исключительно важную роль в функционировании водных экосистем. С ней связано поведение и расселение гидробионтов в биотопах. Среди гидробионтов есть организмы, интенсивно развивающиеся в верхних слоях воды, куда поступает наибольшее количество солнечной энергии. Это преимущественно автотрофные организмы: водоросли, фотосинтетические бактерии, высшие водные растения. Свет может выступать как информативный фактор, определяющий поведение водных растений и животных. Например, фотопериодические реакции растений, синхронизирующие этапы их репродуктивного цикла, осуществляются с помощью пигмента фитохрома. У водных животных репродуктивные циклы также связаны с фотопериодическими реакциями, опосредованными через пигментные системы. Такие реакции водных организмов, как фототаксис и фототропизм, зависят от освещения водоемов.

Фототаксис – это движение организмов под влиянием одностороннего освещения. У водорослей, простейших, некоторых многоклеточных организмов он выражается в перемещении в более освещенные участки водоемов. Наиболее активный фототаксис вызывают ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи солнечного спектра.

Фототропизм проявляется в изменении направления роста гидробионтов в ответ на одностороннее действие света.

Лекция 3.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗОНЫ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

1. Экологические зоны бентали и пелагиали озер.
2. Экологическая зональность речной экосистемы.
3. Общая характеристика водохранилищ, экологическая зональность.
4. Экологические зоны Мирового океана.

1. Экологические зоны бентали и пелагиали озер

В озерах можно выделить четыре основные зоны со своим комплексом условий и своими сообществами организмов:

Толща воды (пелагиаль), лишенная плотных субстратов. Населяющие ее организмы составляют две группы, различающиеся по размеру и подвижности: **планктон** и **нектон**.

Дно водоема (бенталь), которое населяет бентос.

Поверхность водоема, населенная нейстоном.

Высшие водные растения (макрофиты) и макроводоросли сами являются живым компонентом водоема и, кроме того, дают приют перифитону – обрастающим их микроорганизмам и малоподвижным беспозвоночным зарослей. Кроме того, в зарослях макрофитов формируется комплекс подвижных форм, промежуточный между бентосом, планктоном и нектоном. Это местообитание называется **фиталь**, а его обитатели – **фитофилами**.

Во многих случаях пелагиаль, бенталь и фиталь можно рассматривать как самостоятельные экосистемы. В каждой из них существует внутренний кругооборот вещества, хотя они и взаимодействуют между собой.

Котловина озера обычно образована *подводной террасой*, которая характеризуется постепенным слабым понижением суши, далее следует *свал* с более крутым углом понижения и переходящий в *котел*, который занимает большую часть озерного дна. Соответственно перечисленным участкам в озерной бентали принято выделять *литораль* – прибрежное мелководье, *сублитораль*, которая простирается до нижней границы распространения донной растительности, и *профундаль*, охватывающую остальную площадь

озерного дна (имеется только в глубоких озерах). **Литораль** – прибрежная область, в отличие от глубинной, имеет сравнительно однородный по вертикали температурный и кислородный режим. Частично это относится и к освещению. Вместе с тем, на отдельных участках прибрежной зоны наблюдается и большее разнообразие. Суточные и сезонные колебания температуры в прибрежной зоне значительно больше, чем в глубинной. Зимой в умеренных широтах происходит замерзание воды, на отдельных участках озера до дна, летом – нагревание до 25-30°C. Разнообразие вносят геологические породы, слагающие тот или иной участок берега, различная крутизна склона дна, защищенность побережья от действия ветра, а следовательно, и волнения, большая или меньшая степень инсоляции и т. Д. По этим причинам обитатели литорали отличаются от обитателей глубинной области и характеризуются большей дифференциацией. Для литорали характерно наличие высшей растительности, с которой тесно связана фауна прибрежной полосы. Присутствие крупных растений задерживает волнение и создает по берегам тихие участки, в которых температурный, кислородный, световой режим оказывается чрезвычайно благоприятным для существования животных в летнее время. Условия жизни **профундали** своеобразны: амплитуда колебания температуры здесь незначительна, содержание газов испытывает значительные колебания в течение года и определяется мощностью иловых отложений; освещение дна слабое.

Пелагиаль озера делится на прибрежную, лежащую над подводной террасой, и собственно пелагиаль, расположенную над свалом и котлом.

В лимнологии широко используют следующие морфометрические характеристики озер: максимальную длину, ширину, площадь водного зеркала, объем (V), максимальную (z_m), среднюю и относительную глубину, длину береговой линии и развитие береговой линии.

Максимальная длина (l) — расстояние по поверхности озера между наиболее удаленными точками берега. *Максимальная ширина (b)* — наибольшее расстояние по поверхности озера между берегами под прямым углом к линии максимальной длины. *Средняя ширина ($\bar{b}$)* рассчитывается как отношение площади водного зеркала (A) к максимальной длине:

$$\bar{b} = A/l$$

Средняя глубина ($\bar{z}$) рассчитывается как отношение объема к площади водного зеркала:

$$\bar{z} = V/A$$

Длина береговой линии (L) — длина границы между сушей и водной поверхностью, измеряемая либо непосредственно на объекте, либо по карте, аэрофотоснимкам или космическим фотографиям.

Развитие береговой линии (D_L) — отношение длины береговой линии к длине окружности круга равной с водным зеркалом озера площади:

$$D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$$

Чем ближе форма озера к окружности, тем ближе развитие береговой линии к единице, чем не правильнее форма озера, тем больше развитие береговой линии. Озера по размер подразделяют на:

- очень большие ($A > 1000 \text{ км}^2$);
- большие ($101 < A < 1000 \text{ км}^2$);
- средние ($10 < A < 100 \text{ км}^2$);
- малые ($A < 10 \text{ км}^2$).

2. Экологическая зональность речной экосистемы

Река — это водный поток относительно больших размеров, постоянный, а иногда, в засушливых зонах, пересыхающий на отдельных участках. Река питается стоком атмосферных осадков с водосборной площади, а также подземными водами.

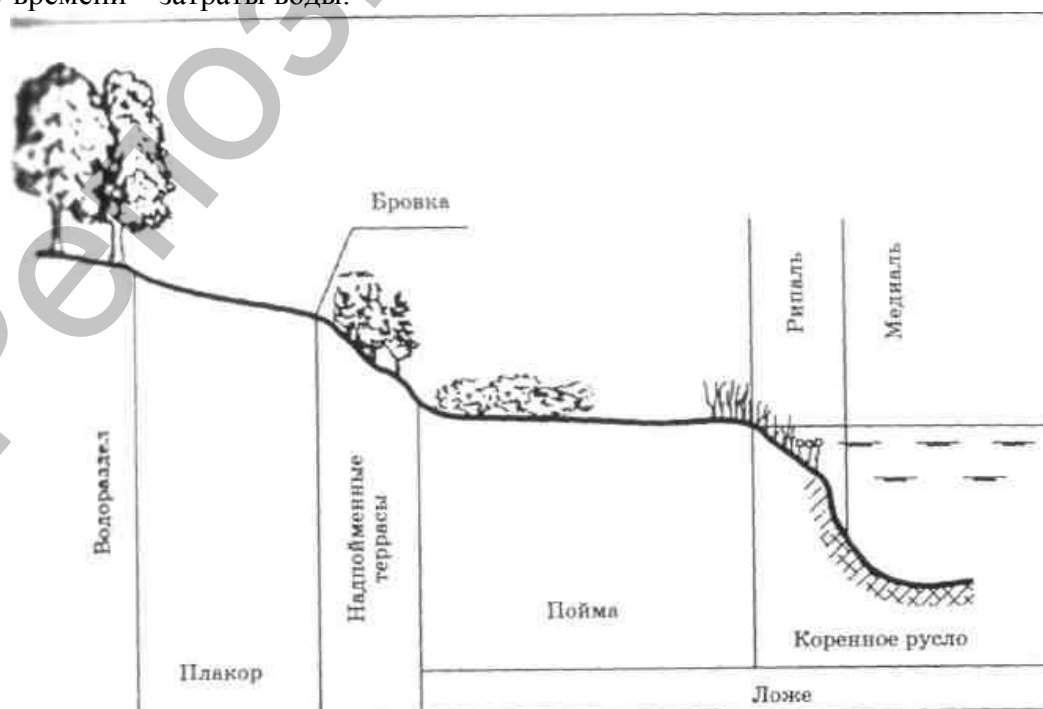
Главными называются реки, которые впадают в океаны, моря или озера, все другие реки, впадающие в главные – *притоками первого порядка*. Главная река вместе с притоками всех порядков формирует *речную систему*, а ограниченная водораздельной линией площадь суши, с которой в нее поступает вода, называется *водосборной площадью*. Часть земной поверхности, включая толщу почвогрунтов, с которой сток воды поступает в отдельную реку или речную систему, образует *речной бассейн*.

Реки текут в *долинах*, в которых наиболее низкая часть русла формирует *ложе реки* (рис.4). *Тальвег* – непрерывная извилистая линия, соединяющая наиболее глубокие точки дна долины. Углубление ложа, заполненное проточной водой в меженный период, называется *коренным руслом*, или просто *руслом*. Та часть дна ложа, которая покрывается водой лишь во время наводнений и паводков, называется *пойменным руслом*, или *поймой*. Пойма представляет собой нижнюю террасу. В меженный период пойменное русло пересыхает и находится выше уровня воды; оно называется *пойменной террасой*. На склонах речной долины можно наблюдать остатки геологических пород речных русел в далеком прошлом. Их называют *надпойменными террасами*. Линия сопряжения склонов долины с поверхностью прилегающей местности называется *бровкой*. Строение речных долин, их форма, размеры оказывают большое влияние на ряд гидрологических процессов, происходящих в них, на свойства реки и особенности ее режима.

Сечение русла вертикальной плоскостью, перпендикулярной направлению течения, называется *водным сечением потока*. В поперечном сечении реки от одного берега к другому выделяются зоны: *прибрежная (рипаль)*, *средняя (медиаль)* и участок, характеризующийся наибольшей скоростью течения, – *стременище*. Это динамическая ось потока воды, которая может находиться близ середины реки на прямых неразветвленных участках русла или приближаться к одному из берегов соответственно его изгибам.

Морфометрические особенности речных систем и режим их водности имеют большое экологическое значение. Они определяют условия существования гидробионтов разных трофических уровней. Рипаль характеризуется наличием зарослей высших водных растений, в которых живет большое количество водных животных. В открытой зоне реки, где скорость воды высока, видовое разнообразие гидробионтов и их численность ниже, поскольку они сносятся потоком воды.

Количество воды, переносимое рекой за определенный отрезок времени, характеризует *водность* реки, а объем воды, который протекает через «живое» сечение потока (плоскость, ограниченная снизу профилем русла, а сверху – водной поверхностью) в единицу времени – *затраты воды*.



Речная долина

Рис. 4. Экологические зоны речной системы

В направлении от истоков к устью река имеет продольную зональность. Поток разделяют на верхнее, среднее и нижнее течения. В местах впадения реки в море значительные площади мелководий формируют *дельту* или узкие морские заливы – *эстуарии*. Уровень воды в реке, ее гидрохимический режим, скорость течения, прозрачность, наличие поверхностного стока, характер грунтов и другие абиотические факторы определяют особенности формирования живого населения речных экосистем. В связи с тем, что водные потоки способствуют размыванию грунтов или их эрозии, ложе рек в среднем течении приобретает извилистую форму. При этом образуются излучины, или *меандры*, реки. В зависимости от ширины дна долины и ширины поймы, процесс меандрирования проявляется в различных формах (рис. 5) В тех случаях, когда происходит естественное спрямление русла реки, меандры остаются отделенными от основного русла и превращаются в изолированные *старицы*. Меандры, не утратившие связи с основным течением реки, образуют разные заливы и протоки.

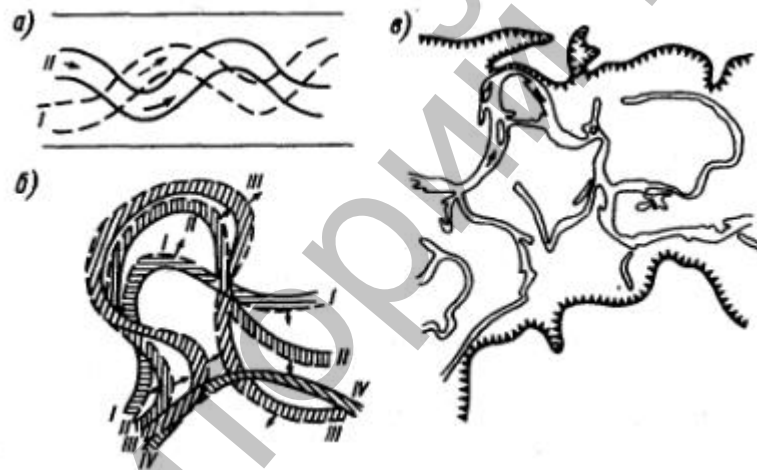


Рис. 5. Типы меандрирования

а - ограниченное меандрирование, б – свободное меандрирование, в - незавершенное меандрирование

3. Общая характеристика водохранилищ, экологическая зональность

Водохранилища – это искусственные водоемы с полным объемом задержанных водных масс более 1 млн.м³, созданные с использованием водупорных сооружений в долинах рек или в понижениях местности для накопления и сохранения воды, а также регулирования стока. По способу образования водохранилища делятся на *речные* (образуются в результате затопления русел и долин рек), *озерные* (создаются путем обволакивания или подпора озер), *наливные* (сооружаются в понижениях рельефа, куда по каналам подводят избыточные паводковые воды). По конфигурации различают водохранилища вытянутые – *долинные* и более широкие – *озерообразные*; по высоте расположения – *равнинные*, *предгорные* и *горные*. В зависимости от характера накопления и расхода воды водохранилища могут быть *годового*, *сезонного*, *недельного* и *суточного* регулирования. Первые обеспечивают увеличение объема естественного стока в маловодные годы и потому должны иметь значительные размеры (вместать 20-50% годового стока реки). Водохранилища сезонного регулирования перераспределяют сток на протяжении года, накапливая воду во время паводков и сбрасывая уровень в летне-зимний период. Недельное и суточное регулирование стока может осуществляться практически всеми водохранилищами.

На территории Беларуси имеется более 140 водохранилищ с суммарным объемом задержанных вод более 3 км³. Общая площадь водного зеркала водохранилищ Беларуси составляет около 740 км². Объем регулирования стока водохранилищами составляет 2% поверхностного стока.

По полному объему задержанных вод водохранилища Республики Беларусь подразделяются на 1) крупные, 2) средние и 3) малые.

Крупные водохранилища имеют полный объем задержанных вод более 100 млн. м³. Самым крупным водохранилищем Беларуси является Вилейское, которое содержит около 260 млн.м³ и имеет площадь водного зеркала примерно 75 км².

Средние водохранилища концентрируют от 10 до 100 млн. м³ воды. К средним водохранилищам относится Любанское, в котором полный объем задержанных вод составляет около 40 млн. м³.

Малые водохранилища аккумулируют от 1 до 10 млн. м³ воды и имеют небольшую площадь зеркала: например, Яновское (полный объем – 2,2 м³, площадь зеркала – 1,0 км²).

Фонд водохранилищ Беларуси представлен в основном малыми водохранилищами; большинство созданных водохранилищ – руслового типа, в южной части Республики много наливных водохранилищ; в северной части широко представлены озерные водохранилища; преобладают водохранилища с сезонным регулированием.

Водохранилища в основном располагаются не на главных реках (Днепр, Неман, Западная Двина), а на притоках первого-третьего порядка. Наибольшее количество водохранилищ создано в бассейне Днепра.

По назначению выделяют пять основных классов водохранилищ:

1. Водохранилища, созданные для водоснабжения населения, коммунального хозяйства и промышленности (Вилейско-Минская водная система, Солигорское, Ольховское водохранилища).
2. Водохранилища сельскохозяйственного назначения.
3. Водохранилища ГЭС.
4. Рыбохозяйственные водохранилища.
5. Рекреационные.

Весь объем водохранилища подразделяют на *полезный*, который может срабатываться, и *мертвый*, из которого попуски невозможны (рис. 6). Важные параметры водохранилища – *нормальный подпорный уровень* (НПУ), *уровень мертвого объема* (УМО) и *форсированный подпорный уровень* (ФПУ), допустимый на краткое время при пропуске очень высоких паводков. На разных (по длине) участках водохранилища отметки уровня воды неодинаковы. Наибольшие глубины наблюдаются в затопленном русле; с продвижением от верхнего участка к приплотинному они возрастают.



Рис. 6 Уровни и водные объемы водохранилища.

ФПУ – форсированный подпорный уровень, УМО – уровень мертвого объема, НПУ – нормальный подпорный уровень

Характерная особенность водохранилищ – частые и притом значительные колебания уровня, связанные с особенностями режима запасаания воды и ее расхода. В результате этого большие прибрежные участки освобождаются от воды и летом высыхают, а зимой промерзают, что сопровождается гибелью очень многих обитателей побережья. В связи со значительными колебаниями уровня и существованием осушенной зоны сублитораль не образуется. В верхнем участке водохранилищ гидрологический режим ближе к речному (сохранение течения, слабая выраженность гидрологических градиентов), в нижнем – к озерному (ослабление течения, осветление воды, возникновением температурной и кислородной дихотомии). Характерным показателем гидрологического режима служит *коэффициент водообмена* – отношение годового стока из водохранилища к объему последнего. В водохранилищах, построенных на равнинных реках, коэффициент водообмена, как правило, колеблется в пределах от 1 до 10. Чем он выше, тем ближе к речному режим водохранилища. На гидрологический и биологический режим водохранилищ сильно влияет сработка их уровня за счет сброса глубинных вод, которые на протяжении вегетационного периода отличаются пониженными температурами, сравнительно низким содержанием кислорода и высокой концентрацией биогенов. Вследствие сброса этих вод в водохранилище происходит накопление тепла, обеднение биогенами и ухудшение кислородных условий у дна. Одновременно это влечет за собой понижение температуры, ухудшение кислородного режима и обогащение биогенами реки ниже плотины.

4. Экологические зоны Мирового океана

Экологические зоны бентали и пелагиали. Мировой океан принято подразделять на Тихий, Индийский, Атлантический и Северный Ледовитый океаны с их более или менее обособленными участками — морями. Среди морей различают окраинные, широко сообщающиеся с океаном (Баренцево, Карское и др.), и внутренние, почти со всех сторон окруженные сушей (Черное, Красное и др.). Средняя глубина Мирового океана 3710 м, максимальная— 11 022 м (Марианский желоб).

В своей периферической части воды Мирового океана покоятся на *шельфе*, или *материковой отмели*, с очень плавным понижением суши до глубины 200 м. Далее до 3000 м довольно круто (4—14°) простирается спускающийся *материковый склон*, который завершается *материковым подножием* (до изобат 3000—4000 м), граничащим с *ложем* океана (глубина от 4000 до 6000 м). Океанскими хребтами, отдельными возвышениями дна и цепочками гор ложе разделяется на отдельные *котловины*. Наиболее глубокие части океана заняты *глубоководными желобами*. Единую грандиозную горную систему представляет совокупность *срединно-океанических хребтов*, средняя высота которых составляет примерно 1500 м. *Срединно-атлантический* хребет, повторяющий очертания берегов Америки, Африки и Европы, четко разделяет океан на почти равные западную и восточную части.

Площадь части океана, лежащей над шельфом, составляет примерно 7,6% от всей его акватории, находящейся над материковым склоном —15,3 и над ложем— 77,1 %. В области шельфа бенталь разделяется на три зоны (рис. 7). Выше уровня приливов расположена *супралитораль* — часть берега, увлажняемая заплесками и брызгами воды (*supra* — выше, *lītus* — берег). Ниже супралитораля, гранича с ней, лежит *литораль* — побережье, периодически заливаемое водой во время приливов и освобождающееся от нее во время отливов. Еще глубже находится *сублитораль*, простирающаяся до нижней границы распространения донных фотосинтезирующих растений. Материковый склон занимает *батияль*, а океаническое ложе — *абиссаль*, которая на глубинах свыше 6-7 км переходит в *ультраабиссаль*, или *гадаль* (*bathus* — глубокий, *abyssos* — бездна). Иногда бенталь подразделяется на *фиталь* и *афиталь* в соответствии с границами распространения фитобентоса. Водную толщу океана по вертикали и по горизонтали принято разделять на отдельные зоны (рис. 7). Верхний слой воды до глубины 200 м (нижняя граница сублитораля) получил название *эпипелагиали*, глубже лежащий слой (до нижней границы батиаля) — *батипелагиали*. Далее следует *абиссопелагиаль*, простирающаяся от нижней

границы батиали до глубин 6-7 км, и *ультраабиссопелагиаль*. В горизонтальном направлении Мировой океан делится на прибрежную, или *неритическую* зону (*nerites* — прибрежный), лежащую над областью материковой отмели, и *океанскую*, которая находится над зонами батиали и абиссали.



Рис. 7. Экологические зоны бентали и пелагиали Мирового океана

Население бентали и пелагиали. К основным представителям морской флоры относятся одноклеточные водоросли (диатомовые, перидиниевые, кокколитофориды), в значительно меньшей степени — многоклеточные, обитающие в прибрежной зоне (зеленые, бурые и красные), и грибы. Во всей толще воды и донных отложениях в огромном количестве встречаются бактерии и актиномицеты. Из животных наибольшее значение имеют фораминиферы и радиолярии, губки, кишечнополостные, полихеты, моллюски, мшанки, ракообразные, иглокожие, рыбы и млекопитающие.

Своеобразие расселения гидробионтов.

1. Ареалы обитателей Мирового океана могут быть широкими или узкими, сплошными или разорванными. Для ряда гидробионтов характерно *биполярное* распространение, когда они встречаются в обеих умеренных зонах, а в тропиках отсутствуют (рачок *Balanus balanus*, моллюски *Mytilus edulis*, кит *Balaena glacialis*, акула *Cetorhinus maximus* и др.).

2. Другое своеобразное явление в расселении гидробионтов — случаи, когда они встречаются в северных районах Атлантического и Тихого океанов, отсутствуя в Ледовитом океане. Такая *амфибореальность* распространения характерна, например, для морского ежа *Echinarachnius parma*, морской звезды *Salaster endeca*, сельди *Clupea*.

3. Ряду гидробионтов свойственно *амфипацифическое* и *амфиатлантическое* распространение, когда они в бореальной зоне встречаются вдоль побережья Тихого или Атлантического океана, но отсутствуют в их северных районах.

По Л.С. Бергу (1947), биполярность распространения гидробионтов объясняется тем, что в ледниковое время четвертичного периода тропическая область подверглась охлаждению, и обитатели севера, получив возможность пересечь экватор, заселили воды южного полушария. После потепления эти переселенцы в тропических областях исчезли или опустились в более холодные глубинные воды. Последнее явление получило название *псевдобиполярного* распространения. С историческими изменениями климата связаны также амфибореальность, амфипацифическое и амфиатлантическое распространение. В предледниковое время этой разорванности ареалов не было. Она возникла в ледниковое

время в результате похолодания, сделавшего невозможным существование бореальной фауны в высоких широтах.

Население пелагиали. Флора морской пелагиали представлена преимущественно бактериями, грибами и водорослями, фауна в основном складывается из простейших, кишечнополостных, ракообразных, головоногих моллюсков, рыб и млекопитающих. Помимо этого, здесь находится огромное количество личинок донных беспозвоночных. Бактерии встречаются на всех глубинах от поверхности до дна, но основная масса их сосредоточена в эвфотическом слое.

Грибы в основном представлены фикомицетами, значительно реже встречаются архимицеты, аскомицеты и базидиомицеты. Среди фикомицетов наиболее многочисленны (60—70%) виды сем. *Thraustochytriales*, ведущие сапрофитный образ жизни и встречающиеся на всех глубинах в количестве до нескольких тысяч экземпляров в 1 л воды.

Водоросли в видовом отношении наиболее богато представлены перидиниевыми и диатомовыми, меньшее значение имеют золотистые, зеленые и синезеленые (рис. 8). В отдельных районах количество водорослей сильно колеблется в зависимости от концентрации биогенов, световых условий, особенностей циркуляции вод, выедания зоопланктоном. Средняя численность водорослей в разных районах колеблется от 10^2 до 10^5 клеток на литр, биомасса — от 0,5 мг до 1 г/м³.

Основная масса фитопланктона морей сосредоточена в слое 100—150 м. Большая часть их находится выше *основного пикноклина* — ближайшего к поверхности слоя скачка плотности, существующего в течение всего года.

В умеренных и высоких широтах наибольшая концентрация водорослей наблюдается в самом поверхностном слое, а в тропических, где солнечная радиация выше, — на глубине 10-15 м.

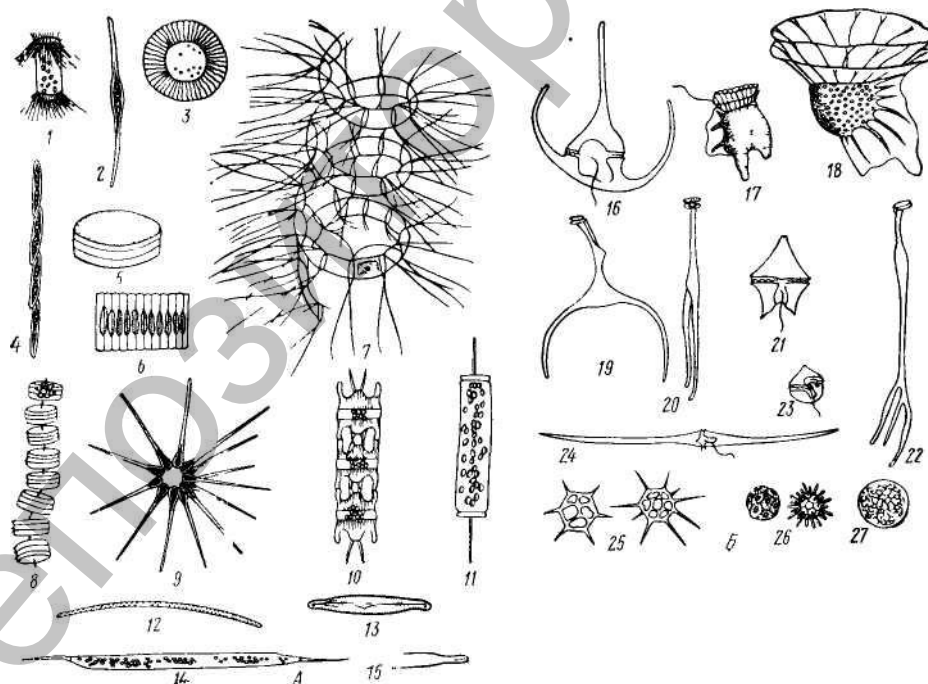


Рис. 8. Морские фитопланктонные организмы (по Одуму, 1975). А—диатомовые; Б — динофлагелляты и др.:

1 — *Corethron*, 2 — *Nitzschia closterium*, 3 — *Planktoniella*, 4 — *Nitzschia seriata*, 5 — *Coscinodiscus*, 6 — *Fragilaria*, 7 — *Chaetoceras*, 8 — *Thalassiosira*, 9 — *Asterionella*, 10 — *Biddulphia*, 11 — *Ditylum*, 12 — *Thalassiothrix*, 13 — *Navicula*, 14-15 — *Rhizosolenia* (летние и зимние формы), 16 — *Ceratium*, 17 — *Dinophysis*, 18 — *Ornithocercus*, 19, 20 — *Triposolenia*, 21 — *Peridinium*, 22 — *Amphisolenia*, 23 — *Goniaulax*, 24 — *Ceratium*, 25 — *Sillcoflagellata*, 26 — *Coccolithophoridae*, 27 — *Halosphaera*

Зоопланктон по своему видовому составу в наибольшей степени представлен ракообразными, в первую очередь веслоногими, эвфаузидами, мизидами, амфиподами, ветвистоусыми, ракушковыми и личинками усоногих. Из 1200 видов морских планктонных ракообразных к веслоногим относятся 750, к амфиподам — более 300 и к эвфаузидам — свыше 80. Большим числом видов представлены в морском планктоне простейшие, среди которых лидируют жгутиковые *Phaeocystis* и *Noctiluca*, многочисленные радиолярии и некоторые инфузории из семейства Tintinnoidea. Примерно 4000 видов включают кишечнополостные, к наиболее массовым формам которых относятся ряд медуз, сифонофор и особенно гребневиков. Планктонных моллюсков насчитывается около 180 видов, преимущественно представленных крылоногими. Крайне разнообразны и многочисленны в планктоне личинки донных беспозвоночных (рис. 9). В количественном отношении наибольшее значение имеют веслоногие, на долю которых приходится до 70-90% всей биомассы зоопланктона. Среди них особенно многочисленны представители рода *Calanus*.

Средняя биомасса зоопланктона в разных районах Мирового океана колеблется в очень широких пределах. Так, в верхнем 100-метровом слое воды она, в местах апвеллингов, достигает 500 мг/м³ и более, в водах Субарктики и Субантарктики — соответственно около 200—500 и 100—200 мг/м³. Наиболее беден зоопланктон в районах центральных южных круговоротов (менее 25 мг/м³) и в водах северных субтропических круговоротов (25—50 мг/м³). Сравнительно высока биомасса зоопланктона (100—200 мг/м³) в экваториальных, интенсивно перемешиваемых водах.

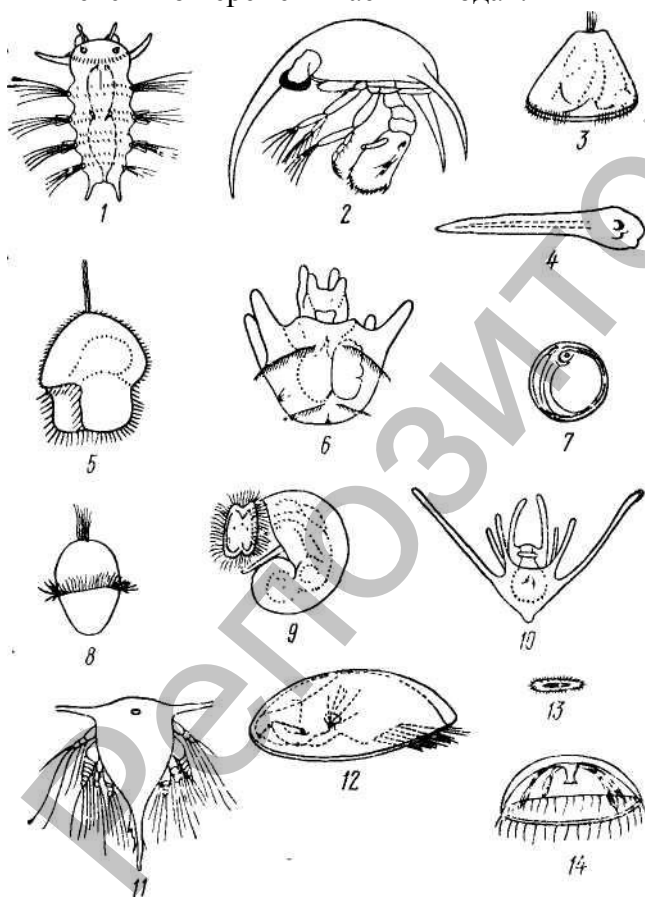


Рис. 9. Представители морского меропланктона (по Одуму, 1975).

1 — личинка червя *Platynereis*, 2 — зоеа краба *Emerita*, 3 — личинка мшанки, 4 — личинка сессильных оболочников, 5 — пилидий немертин, 6 — плутеус морского ежа, 7 — икринка рыбы, 8 — трохофора полихет, 9 — велигер моллюсков, 10 — плутеус морской звезды, 11 — науплиус усоногих, 12 — циприсовая личинка усоногих, 13 — планула кишечнополостных, 14 — медузоидная стадия гидроидов.

К **нектону** в основном относятся рыбы, млекопитающие, головоногие моллюски и высшие раки. Обитающие в море рыбы относятся к **морским** — живущим только в море, **проходным** — как правило, откармливающимся в море и нерестящимся в реках, и к **полупроходным** — обитающим в прибрежье морей и размножающимся в низовьях рек.

Из морских рыб в северном полушарии наиболее многочисленны сельдевые (сельдь, сардина, мойва, кильки, хамса), на втором месте стоят тресковые (треска, пикша, сайда, навага, хек, минтай), на третьем — окунеобразные (скумбрия, тунцы, морской окунь, ставриды). Проходные рыбы наиболее богато представлены лососевыми и осетровыми, среди полупроходных рыб в первую очередь следует назвать воблю, леща, сазана, многих бычков. Из водных млекопитающих наибольшее значение в нектоне морей имеют китообразные. Очень многочисленны в морях ластоногие. Головоногие моллюски представлены в нектоне преимущественно кальмарами. Среди

нектонных ракообразных наиболее многочисленны креветки. Суммарное количество нектонных организмов в Мировом океане оценивается в 1 млрд. т.

Население бентали. Донная флора в основном состоит из бактерий, грибов, водорослей и некоторых цветковых растений. В фауне преобладают простейшие, черви, высшие ракообразные, брюхоногие и двустворчатые моллюски, иглокожие.

Бактериобентос встречается на всех глубинах, хотя на мелководье он значительно богаче. Грибы преимущественно представлены фикомицетами, среди которых наиболее многочисленны траустохитриевые (сапрофитные формы). Фитобентос в основном состоит из бурых, красных и зеленых водорослей, а также некоторых цветковых растений. К бурым водорослям, которые живут в прибрежье, прикрепившись специальными корнеобразными выростами к морскому дну, относится около 900 видов. Красных водорослей, в некоторых случаях сплошным ковром устилающих дно мелководий, насчитывается более 2500 видов. Гораздо менее разнообразны в фитобентосе зеленые и другие водоросли, немногими видами представлены цветковые растения — зостера (взморник), морской лен, посадония и некоторые другие.

Зообентос в наибольшей степени представлен кораллами, полихетами, брюхоногими и двустворчатыми моллюсками, высшими ракообразными и иглокожими. Меньшую роль в нем играют губки, гидроидные полипы, различные червеобразные, боконорвные и лопатоногие моллюски, погонофоры, оболочники и некоторые другие группы. В прибрежной зоне количественно преобладают моллюски, дающие биомассу до 30 кг/м², как это, например, наблюдается в щетках мидий. С переходом от каменистых грунтов к песчанистым и илистым численность донных животных обычно увеличивается, а их средняя масса снижается в результате мельчания представителей эпифауны (уменьшение опорности грунта, невозможность нахождения на нем крупных форм). За счет представителей инфауны общая биомасса бентоса на мягких грунтах может быть выше, хотя биомасса животных эпифауны здесь ниже, чем на жестких грунтах.

Лекция 4.

СООБЩЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1. Планктон и нектон.
2. Бентос и перифитон.
3. Пелагобентос, нейстон и плейстон.
4. Определение видового разнообразия гидробиоценозов.
5. Основные биоценозы Мирового океана и континентальных вод. Их структура.

Жизненные формы — это конвергентно возникшие совокупности организмов разного систематического положения, обладающие принципиально сходными приспособлениями, позволяющими им существовать и удерживаться в определенных биотопах. В пелагиали жизненные формы представлены планктоном и нектоном, на твердых субстратах — бентосом и перифитоном, в зоне контакта бентали и пелагиали — пелагобентосом, в поверхностном слое воды — нейстоном и плейстоном.

В пределах каждой жизненной формы обычно различают совокупности организмов, выделяемые по тем или иным признакам в зависимости от особенностей самих гидробионтов и условий их существования. Например, планктон можно подразделять по типу водоемов (морской, пресноводный, речной, озерный и др.), их географическому положению (тропический, бореальный, высокогорный и т. П.), экологическим зонам (поверхностный, глубоководный, неритический, литоральный и др.), сезонам года (весенний, летний, осенний, зимний), качеству воды (ацидо-алкалофильный, холодо- и теплолюбивый и др.), степени привязанности к биотопу (истинный, временный, случайный, облигатный, факультативный), таксономическому составу (зоо- и фитопланктон, бактериопланктон, рачковый планктон, ихтиопланктон и т. П.), размерному признаку (нано-, микро-, макропланктон и др.). Более или менее сходно классифицируют бентос и другие жизненные формы гидробионтов.

1. Планктон и нектон

К планктонным организмам (в отличие от нектонных) относятся гидробионты не способные активным движениям или обладающие ими, но в этом случае в силу малых скоростей перемещения не противостоящие токам воды. Такое разграничение в общих чертах правильно, однако недостаточно точно: в спокойной воде планктонты могут активно двигаться в определенном направлении, а очень быстрые потоки способны нейтрализовать результаты плавательных усилий нектонтов.

По размерному признаку различают *мегало-, макро-, мезо-, микро-, нанно- и пикопланктон*, к которым соответственно относятся организмы крупнее 5 см, 5 мм, 0,5 мм, 50 мкм, 5 мкм и менее 5 мкм. По степени привязанности организмов к водной толще различают *голо- и меропланктон*. К первому принадлежат организмы, которые всю активную жизнь проводят в толще воды; и только покоящиеся стадии (почки, яйца и др.) могут находиться на дне. К меропланктону относятся формы, обитающие в толще воды только на каком-то отрезке своего активного существования, а остальную часть жизни ведущие иной образ жизни (пелагические личинки донных животных, икра и личинки рыб, личинки плейстонта — физалии).

Своеобразной жизненной формой является *криопланктон* — население талой воды, образующейся под лучами солнца в трещинах льда и пустотах снега. Днем организмы криопланктона, например жгутиконосец *Chlamydomonas nivalis*, окрашивающий снег в красный цвет, или придающая ему зеленую окраску *Ancylonema nordenskjoeldii*, ведут активный образ жизни, а ночью вмерзают в лед.

Приспособления планктонтов и нектонтов к пелагическому образу жизни сводятся прежде всего к обеспечению плавучести — развитию различных адаптации, замедляющих погружение организмов, поскольку их плотность обычно несколько больше единицы. Другой ряд адаптации связан с активным передвижением, включая развитие средств распознавания среды и ориентации. Наконец, огромное значение для обитателей пелагиали имеют адаптации к использованию течений и других средств пассивного передвижения, которые маневренно осваиваются гидробионтами, особенно мелкими, для обеспечения пребывания в нужных биотопах, расселения, выбора наиболее благоприятного положения в градиентном поле различных факторов и ряда других целей. Для многих пелагических организмов характерны суточные вертикальные миграции.

Плавучесть. Может рассматриваться как погружение с наименьшей скоростью, и тогда формула плавучести приобретает следующий вид (В. Оствальд): $a = b:cd$, где a — скорость погружения, b — остаточная масса (разница между массами организма и вытесненной им воды), c — вязкость воды, d — сопротивление формы. Из этой формулы следует, что организмы могут увеличивать плавучесть, повышая трение о воду и уменьшая остаточную массу.

Повышение трения о воду. Чем больше удельная поверхность тел, тем медленнее в результате трения они погружаются в воду. Поскольку с уменьшением размера тел их удельная поверхность возрастает, длительное парение организмов в толще воды облегчается. Отсюда наиболее характерная черта планктона — малые и микроскопические размеры образующих его организмов. Помимо этого, увеличение удельной поверхности организмов достигается их уплощением, сильным расчленением тела, образованием всевозможных выростов, шипов и различных других придатков. Часто с ухудшением условий плавучести (повышение температуры, понижение солености) удельная поверхность планктонтов возрастает. Например, в Индийском океане жгутиковые *Ceratium recticulatum* и *C. palmatum* имеют гораздо более длинные и лапчатые роговидные придатки, чем в Восточной Атлантике, где вода холоднее. В оз. Балхаш с повышением солености дафнии становятся более круглоголовыми, а по мере опреснения воды шлем достигает все большего развития. По-видимому, в какой-то мере с сезонными колебаниями температуры, сопровождающимися изменениями плотности и вязкости воды, связан *цикломорфоз* некоторых планктонтов (рачков, коловраток и др.), когда при потеплении образуются поколения организмов с менее компактной формой тела, а с похолоданием начинается развитие в обратном направлении (рис. 10). Судя по ряду экспериментальных данных, цикломорфные

изменения могут отражать периодическое усиление пресса хищников, т. е. иметь защитное значение. Существуют и другие точки зрения на природу и сущность сезонных изменений формы тела планктонтов.

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 планктонтов регулируется так, что она приближается к плотности воды. Как правило, плотность пресноводных планктонных организмов не превышает $1,01 - 1,02 \text{ г/см}^3$, морских — $1,03 - 1,06 \text{ г/см}^3$, и их плавучесть близка к нейтральной. Если гидробионты совершают вертикальные миграции или перемещаются в участки с иной плотностью воды, они обычно изменяют свою плотность, модулируя состав тела. Плотность его отдельных компонентов выражается следующими средними величинами (при 20°C): сквален — $0,86 \text{ г/см}^3$; восковые эфиры — $0,90$, диацилглицериновый эфир — $0,91$; триацил-глицерин — $0,92$, белок — $1,33$, скелетная ткань — $2-3 \text{ г/см}^3$.

Снижение остаточной массы может достигаться уменьшением 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 тяжелых скелетных образований хорошо прослеживается у пелагических моллюсков (головноногих, крылоногих, килевоногих); не имеют скелетных образований плавающие кишечнотелостные, у пелагических корненожек раковина более пористая, чем у бентосных. У многих радиолярий кремниевые иглы становятся полыми. Планктонные диатомовые отличаются от бентосных более тонкими и слабее окремненными оболочками; у плавающих черепах редуцируются кости панциря.

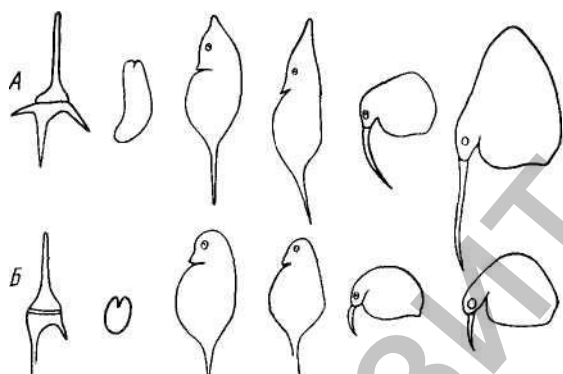


Рис. 10. Цикломорфоз планктонных организмов
 А — летние формы (слева направо): *Ceratium hirundinella*, *Asplanchna priodonta*, *Daphnia hyalina*, *Hyalodaphnia cucullata*, две расы *Bosmina coregoni*;
 Б — зимние формы тех же видов

Значительное уменьшение количества белка отмечено у некоторых глубоководных рыб — до 5% от массы тела вместо обычных 20—25%. Замена тяжелых ионов на легкие отмечена у многих беспозвоночных и водорослей; вместо Mg^{2+} , Ca^{2+} и SO_4^{2-} в их теле накапливаются Na^+ и NH_4^+ . Например, активное удаление SO_4^{2-} характерно для медуз, гребневиков, птеропод, гетеропод и пелагических оболочников. У водоросли *Entomodiscus rex* активно удаляются из вакуолей ионы Mg , Ca и SO_4 . Всплывание ночесветки обуславливается заменой двухвалентных ионов легкими одновалентными. У кальмаров имеются специальные резервуары с менее плотной жидкостью. Например, у Cranchidae, целомическая жидкость которых составляет 65% всей массы тела и имеет плотность $1,01$, нейтральная плавучесть обеспечивается за счет замены Mg^{2+} и Ca^{2+} на NH_4^+ .

Наиболее обычный способ снижения плотности у гидробионтов — накопление жира. Богаты им ночесветки *Noctiluca*, радиолярии *Spumellaria*, ветвистоусые и веслоногие рачки. Жировые капли имеются в пелагической икре ряда рыб (кефалевые, камбалы, скумбрия). Жир вместо тяжелого крахмала в качестве запасного питательного вещества отлагается у планктонных, диатомовых и зеленых водорослей. У акулы *Cetorhinus* и луны-рыбы *Mola* так много жира, что они почти без всяких активных движений могут держаться у поверхности воды, где питаются планктоном.

Часто накопление жира сопровождается характерными изменениями в его составе. Например, у акул *Centrophorus* жировые отложения на 90% представлены наиболее легким липидом — скваленом. У собачьей акулы наблюдается адаптивное изменение в накоплении

диацилглицеринового эфира и более тяжелого триацилглицерина. Когда к грудным плавникам этих рыб подвешивали грузики, отношение первого липида ко второму у них возрастало вдвое по сравнению с контрольным. У мезо-пелагических рыб и ракообразных отмечено преимущественное накопление (до 90%) восков. При больших давлениях эти липиды дольше других сохраняются в жидком состоянии и, видимо, потому и накапливаются у глубоководных животных. С выделением гидрофобных восков из водорослей и ракообразных, когда ими питаются другие гидробионты, связано появление жировых пленок на поверхности воды.

Эффективное средство повышения плавучести — газовые включения в цитоплазме или специальные воздушные полости. Газовые вакуоли есть у многих планктонных водорослей, плавательные пузыри — у ряда прикрепленных гидрофитов, например у бурых водорослей р. *Fucus* (помогают им держаться в вертикальном положении).

В процессе эволюции накопление газовых пузырей на талломах *Sargassum natans* и *S. Fleutans* превратило эти бурые водоросли из донных в гипонейстонные формы.

Газовый пузырек имеют в своей цитоплазме раковинные амебы *Diffugia hydrostatica* и *Arcella*, воздухоносные камеры есть в подошве плавающих вниз щупальцами медуз *Mynianictae*. Образуя под pedalным диском пузырек газа, всплывают к поверхности воды голодающие гидры *Hydra littoralis*. Каракатица *Sepia officinalis* имеет в спинной пластинке до 100 камер, заполненных газом или жидкостью, причем они способны активно регулировать свое положение в пространстве, перераспределяя содержание жидкости и газа в отдельных камерах. Механизм регуляции плавучести у этой каракатицы, совершающей вертикальные миграции, связан с активным переносом ионов. Удаление ионов снижает тоничность жидкости в камере и в результате вода выходит из нее, что ведет к увеличению объема газовой фазы. Газовые пузырьки имеют личинки комаров *Chaoborus*, плавательный пузырь, наполненный газом, свойствен очень многим рыбам. Интересно, что у глубоководных рыб плавательный пузырь, не могущий служить газовым резервуаром в условиях больших давлений, часто заполняется липидами. Наивысшего развития воздухоносные полости достигают у ряда сифонофор, благодаря чему их тело становится даже легче воды и сильно выдается из нее.

Один из самых распространенных способов снижения остаточной массы — повышение содержания воды в теле. Ее количество у некоторых сальп, гребневиков *Cestus veneris* и трахимедуз *Carmarina* достигает 99%. При таком содержании воды остаточная масса организма приближается к 0 и способность к пассивному флотированию становится практически безграничной. В некоторых случаях плотность снижается путем выделения вокруг организма больших количеств слизи, хотя биологическое значение ее образования значительно шире.

Миграции. Популяциям многих представителей планктона и nekтона свойственны массовые перемещения, регулярно повторяющиеся во времени и пространстве. Они совершаются в вертикальном и горизонтальном направлениях, в те участки ареала, где в данное время наиболее благоприятные условия. Таким образом, миграции позволяют популяции маневреннее использовать жизненные ресурсы в соответствии с изменением их расположения в пространстве и времени, а также в связи с потребностями самих организмов.

Вертикальные миграции. Среди них наибольшее значение имеют суточные, сезонные и возрастные (онтогенетические). Мигранты перемещаются под контролем различных факторов, из которых главные — освещенность и температура.

Суточные миграции, свойственные многим представителям фито-и зоопланктона, отличаются многообразием своего проявления: сроками, амплитудой, направлением, скоростью и другими особенностями. По-видимому, столь же разнообразно и их экологическое значение, во многих случаях еще не расшифрованное, трактуемое на уровне гипотез. Особенно сложна картина суточных миграций зоопланктонтов. Большинство их в темное время суток концентрируется у поверхности, днем — в более глубоких слоях. Заметно реже наблюдаются *инвертированные* миграции, при которых животные сосредоточиваются у поверхности днем и держатся на глубине ночью. Для ряда форм характерны сумеречные миграции, когда после вечернего подъема следует полуночное

погружение, затем перед рассветом новое всплытие, за которым наступает дневное погружение, более значительное, чем полуночное. Своеобразны миграции глубоководного планктона, поднимающегося на глубины 200—300 м ночью и опускающегося днем на многие сотни метров (иногда — наоборот). При всех типах миграций в них могут участвовать не все особи популяции, причем перемещения отдельных животных неодинаковы по амплитуде.

Обычно в пределах одной систематической группы одна часть видов не совершает миграций, другая мигрирует на небольшие глубины и лишь немногие виды перемещаются на несколько сот метров (некоторые креветки и эвфаузииды — до 600—700 м). Даже представители одного и того же вида в зависимости от их особенностей (возраст, пол, размер, физиологическое состояние) и специфики внешних условий (прозрачность воды, освещенность, температура, глубина и др.) могут быть мигрантными или немигрантными. В первом случае они совершают прямые или инвертированные миграции с разной скоростью и неодинаковой дружностью, с большей или меньшей амплитудой, начинающиеся и заканчивающиеся в разные сроки. Например, веслоногие рачки *Calanus finmarchicus*, *C. tonsils* и *C. cristatus*, обитающие в дальневосточных морях, становятся мигрантными, начиная с V копепоидитной стадии; в Баренцевом море *C. finmarchicus* совершает суточные миграции только с августа по октябрь; эти же рачки в августе у берегов Исландии и Фарерских о-вов делятся на две группы, из которых одна, состоящая из упитанных особей, держится, не мигрируя, на глубине 200 м, а другая — из менее упитанных особей того же возраста (IV, V копепоидитные стадии) — имеет ясно выраженные суточные миграции. В Куйбышевском водохранилище самки *Daphnia longispina* преимущественно находятся в эпилимнионе, самцы — в гиполимнионе, а ночью те и другие рассеиваются во всей водной толще. Обычно с возрастом размах миграций возрастает. В Беринговом море *Sagitta elegans* длиной 5—10 мм миграций не совершают, особи размером 10—12 мм мигрируют на глубину до 50 м, взрослые животные — на 100 м и более.

Во время полярного дня в морях Арктики и Антарктики суточные миграции гидробионтов отсутствуют. С продвижением в низкие шпорты, где смена дня и ночи выражена резче, круг мигрантных форм расширяется, а сами миграции совершаются на большую глубину.

Размах миграций планктонтов и нектонтов в морях обычно достигает 50—200 м и более, в пресных водоемах с малопрозрачной водой он не превышает нескольких десятков сантиметров. Например, средняя величина вертикальных суточных перемещений у *Daphnia schrodieri*, *D. Galeata* и *D. Retrocurva* в оз. Мендота (США) составляет всего 0,87 м, что соответствует обычной амплитуде миграций этих рачков в эвтрофных озерах. Еще меньше размах перемещений планктонных рачков в водохранилищах. В прозрачном Фирвальдштетском озере *D. Hyalina* мигрирует на глубину до 66 м и более, в оз. Байкал с очень прозрачной водой бокоплав *Macrohectopus* днем держится преимущественно в самом поверхностном слое, а ночью — на глубине 100—200 м. Амплитуда миграций планктона в центральных районах Индийского океана выше, чем в менее прозрачных водах Тихого океана.

Часто изменения амплитуды миграций зависят от сезона года. Например, в оз. Севан она максимальна весной и летом, в оз. Уиндермир (Англия) циклопы в июне мигрируют на большую глубину, чем в апреле, в озерах Индианы (США) амплитуда перемещения ряда рачков зимой значительно больше, чем летом.

Размах миграции часто ограничивается резкими температурными градиентами. В заливе Мэн рачок *Metridia lucens* поднимается вверх не до поверхности, а только до термоклина с градиентом 7°C на 10 м и лишь немногие особи проходят сквозь него. Рачок *Centropages typicus*, наоборот, совершает вертикальные миграции только над слоем температурного скачка. Веслоногий рачок *Pleromamma* в тропических водах мигрирует на большую глубину, чем в экваториальной области, где глубинные холодные воды поднимаются ближе к поверхности.

Пресноводные рачки *Sida cristallina* в период температурной стратификации озерной воды вечером и ночью скапливаются в поверхностном слое 0—10 м, а днем мигрируют на

глубину 15—20 м; во время гомотермии они днем мигрируют на глубину 25—35 м (Pygh, 1963). Подобно термоклину, размах миграций могут ограничивать и другие резкие гидрологические градиенты, в частности большие различия в солености и аэрированности смежных слоев воды.

Планктонты, мигрируя, активно снижают свою доступность для планктофагов, ориентирующихся с помощью зрения. Рыбы и другие планктофаги в качестве контрадаптации также поднимаются к поверхности в вечернее время и используют сумерки для интенсивного питания.

С вертикальными миграциями обитателей пелагиали связаны изменения в расположении *глубинных звукорассеивающих слоев*. На глубинах 300—500 м эхолоты регистрируют подобие «дна» вследствие нахождения здесь скоплений организмов, отражающих звук и создающих иллюзию существования «мелководья». Такой эффект возникает при возрастании концентрации эвфаузиид до 6—7 экз./м³, сифонофор — до 0,3 колоний на 1 м³, рыб — до 0,017 экз./м³.

Сезонные и возрастные вертикальные миграции соответственно связаны с сезонными изменениями различных гидрологических показателей и с переменами в состоянии самих организмов. Например, рачки *Epischura baicalensis* и *Macrohectopus* в оз. Байкал зимуют на глубине 200—300 м, а весной поднимаются в поверхностный слой воды. Такая же картина наблюдается у *Limnocalanus grimaldii* в Среднем Каспии. В Черном море холодноводные *Calamis helgolandicus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oithona similis*, *Sagitta euxina*, *Evadne nordmanni* и *Pleurobrachia pileus* летом не встречаются в поверхностном слое 0—50 м, где обитают зимой. Огромные по своему размаху (до 2—3 тыс. м) сезонные миграции совершают многие батипелагические веслоногие, в частности в дальне» восточных морях. Обычно взрослые рачки и их копеподиты на последних стадиях в теплое время года поднимаются в верхние слои воды, а в холодное время опускаются в глубинные.

Горизонтальные миграции. Массовые активные перемещения в горизонтальном направлении совершают главным образом представители нектона, особенно рыбы и млекопитающие. Миграции, направленные из открытого моря к его берегам и в реки, называют *анадромными*, а имеющие противоположное направление — *катадромными* (ана — вверх, kata — вниз, dromeion — бежать). Идут на нерест из моря в реки многие рыбы (осетровые, лососевые и др.), периодически подходят к берегам океаническая сельдь, треска. Из рек в моря плывут на нерест угри.

По биологическому значению выделяют *кормовые*, *нерестовые* и *зимовальные* миграции, причем они часто комбинируются друг с другом. Например, весной на откорм из Черного моря входят в Азовское огромные косяки хамсы, а осенью возвращаются назад на зимовку в более теплые воды. Атлантическая сельдь в феврале — марте подходит для нереста из открытого моря к берегам Норвегии, после чего, интенсивно питаясь, перемещается в обратном направлении. Тихоокеанская сардина (иваси) — один из главных объектов мирового промысла рыб — нерестится весной у о. Кюсю, затем вдоль обоих берегов Японского моря совершает кормовую миграцию на север до Татарского пролива. Осенью с похолоданием вод сардина возвращается на юг, так как не выдерживает понижения температуры ниже 7—9°C. Мигрируют на север кальмары, питающиеся сардиной и вновь возвращающиеся для икрометания к берегам Японии.

Интересен пример изменения кормовых миграций иваси, нерестящейся у о. Кюсю (в завихрениях теплого течения Курисио. Несколько недель выклюнувшиеся из икринок личинки и мальки держатся в теплых круговоротах, затем окрепнувшая молодежь покидает их и, как уже говорилось, начинает двигаться вдоль обоих берегов Японского моря на север, причем протяженность миграционного пути тесно коррелирует с численностью популяции рыб. Чем многочисленнее стада иваси, тем больше требуется им кормовых пастбищ и тем дальше мигрируют они на север.

В конце 30-х годов нашего столетия теплые завихрения Курисио у о. Кюсю исчезли, и икринки иваси, продолжавшей нереститься в прежних районах, стали выноситься в открытое море. В результате резко ухудшившихся условий воспроизводства уловы этой ценнейшей промысловой рыбы упали с 3 млн. т до 5—10 тыс. в год, т. е. в сотни раз. Рыбы,

сохранившиеся у о. Кюсю, перестали мигрировать, так как корма для малочисленной популяции уже оказалось достаточно. В 70-х годах у о. Кюсю начали восстанавливаться благоприятные для иваси условия воспроизводства (образование завихрений Куросио), численность рыб возросла, и они стали мигрировать дальше на север в соответствии с потребностью расширения кормовых пастбищ.

Горизонтальные миграции нектонтов могут достигать очень большой протяженности. Креветка *Penaeus plebejus* преодолевает расстояния до тысячи километров и более. Молодь креветки *Penaeus*, обитающая в эстуариях южной Флориды, мигрируя на места откорма, за несколько месяцев проходит путь в 250—300 км. Гренландские тюлени откармливаются среди плавучих льдов, а осенью откочевывают на юг, где размножаются на льду и остаются здесь до весны. Грандиозны миграции некоторых проходных рыб. 3—4 тыс. км проделывают нерка и чавыча, идущие на нерест из восточных районов Берингова моря в верховья р. Юкон, на огромные расстояния мигрируют кета, горбуша, семга, осетры. Путь в 7—8 тыс. км проплывают угри, идущие из рек Северной Европы в Саргассово море, где после нереста погибают. Покрывая огромные расстояния во время миграций, животные обнаруживают поразительные навигационные способности. Например, рыбы неизменно идут на нерест в одни и те же места, выбирая среди десятков и сотен притоков реки тот, в котором появились на свет.

2. Бентос и перифитон

Бентосные организмы обитают на поверхности грунта и в его толще, в соответствии с чем население дна подразделяют на *эпи*- и *эндобентос*. По такому же принципу применительно к донным животным выделяют представителей *эпи*- и *инфауны*. По размерному признаку различают *микро*-, *мейо*(*мезо*)- и *макробентос*. К первому относят организмы мельче 0,1 мм, к последнему — крупнее 2 мм. К наиболее массовым представителям бентоса относятся бактерии, актиномпцеты, водоросли и грибы, простейшие (особенно корненожки и инфузории), губки, кораллы, кольчатые черви, ракообразные, личинки насекомых, моллюски, иглокожие.

К перифитону (обрастанию) обычно относят все организмы, обитающие на плотных субстратах за пределами придонного слоя воды; в ряде случаев четкую границу между бентосом и перифитоном провести невозможно (например, организмы, обрастающие скалы, откосы каналов, различные предметы на дне). Перифитонные организмы обитают на покрытых водой поверхностях различных гидротехнических сооружений, днищах кораблей и на других объектах, на стенках водоводов, на взвешенных в воде частицах, на корягах, бревнах и иных плавающих предметах, на растениях и животных. Своеобразен перифитон, развивающийся на нижней поверхности колоссальных полей льда, особенно в морях Арктики и Антарктики.

В состав перифитона входят бактерии, актиномицеты, многие водоросли, особенно диатомовые и грибы, простейшие, губки, мшанки, черви, низшие ракообразные (особенно усоногие), двустворчатые моллюски и другие беспозвоночные. Первыми осваивают свободные поверхности бактерии, грибы и водоросли, затем личинки и взрослые формы беспозвоночных. Покров из прикрепленных организмов создает возможность нахождения в перифитоне подвижных форм. Шероховатые субстраты заселяются быстрее и обильнее гладких (удобство прикрепления), горизонтальные поверхности — интенсивнее вертикальных (меньше смыв водой, оседание детрита сверху, естественное положение тела); нижние поверхности обычно заселяются слабее верхних (меньшее накопление детрита, затененность, больший смыв); максимум обрастания наблюдается на некоторой глубине, где условия освещения и другие абиотические факторы наиболее благоприятны для развития перифитона. Скорость заселения субстратов, в частности микроорганизмами, тесно коррелирует с их концентрацией в планктоне и температурой воды; нарастание численности и биомассы прекращается после достижения некоторых пределов в результате отмирания и отрыва части перифитонтов.

Приспособления гидробионтов к бентосному и перифитонному образу жизни, прежде всего, сводятся к развитию средств удержания на твердом субстрате, защите от захоронения

оседающей взвесью, к выработке наиболее эффективных способов передвижения. Очень характерны для организмов бентоса и перифитона приспособления к временному переходу к планктонному образу жизни. Это обеспечивает малоподвижным формам возможность значительных перемещений в интересах расселения или смены биотопов.

Удержание на твердом субстрате. Для организмов бентоса и перифитона существенно сохранение своей приуроченности к тому или иному биотопу вопреки различным силам смещения (движения воды, гравитационные силы и др.). Противостояние перемещениям достигается повышением плотности, прикреплением к субстрату, заглублением в него, развитием различных якорей и некоторыми другими способами.

Повышение плотности обычно достигается образованием тяжелого массивного скелета, благодаря которому гидробионты не перемещаются на субстрате даже сравнительно сильными течениями. Таков, например, скелет многих иглокожих, массивные раковины брюхоногих и двусторчатых моллюсков, карапаксы крабов. В теле неприкрепленных бентосных организмов не встречаются воздухоносные полости, значительные скопления жира.

Прикрепление к субстрату наблюдается у многих растений, простейших, губок, кишечнополостных, червей, моллюсков, ракообразных и ряда других гидробионтов, причем оно может быть временным или постоянным. Морфологически прикрепление бывает пневматическим, в виде сплошного прирастания, корневидным, с помощью нитей. Пневматическое (присасывательное) наблюдается, например, у моллюсков *Ancylus*, у многих представителей класса бокоплавов, пиявок, актиний. Сплошное прирастание может быть известковым (одиночные кораллы, усногие раки, устрицы и др.), хитиновым или рогоподобным (усногие раки без известкового основания, моллюски *Anomia* и др.). Прикрепление с помощью корней и ризоидов прежде всего характерно для многих водорослей (*Caulerpa*, *Laminaria* и др.) и основной массы высших растений. Корневидными выростами укрепляются многие гидроиды, стеклянные губки, плеченогие, морские лилии. Прикрепление нитями биссуса свойственно многим моллюскам, в частности мидиям и дрейссене, с помощью клейкого секрета удерживаются на субстрате личинки симулиид. Методом сканирующей электронной микроскопии выявлено крайнее разнообразие способов фиксации микроорганизмов (бактерий, грибов) на частицах взвеси: с помощью стебельков, выростов, слизистых капсул, сети клейких волокон, молекулярной сорбции; сидячие диатомовые прикрепляются волокнистыми тяжами из слизистых полисахаридов, подвижные — веществами, выделяемыми из шва.

Заглубление в субстрат осуществляется в форме частичного или полного закапывания в грунт, а также внедрением в твердые породы путем их высверливания и протачивания. Способны закапываться в грунт многие моллюски (*Venus*, *Mya*, *Tagelus*, *Solen* и др.), иглокожие (*Echinocardium cordatum* и другие *Spatangoidea*), большинство олигохет и полихет, личинки многих насекомых и даже некоторые рыбы. Например, трубчатый угорь, обитающий в Красном море, обычно находится в воде в вертикальном положении, цепляясь задним концом за верхний край норки и прячась в нее в случае опасности. К временному закапыванию в грунт приспособились многие крабы, креветки, головоногие моллюски, морские звезды, некоторые рыбы (например, камбала). Внедряются в твердые субстраты, разрушая их механически или химически (растворение кислотами), некоторые губки, моллюски, ракообразные, иглокожие и другие организмы. У ряда форм фиксация достигается уплощением тела, образованием всевозможных выростов, усиливающих сцепление организмов с грунтом, построением прикрепленных к грунту или свободно лежащих на нем домиков и некоторыми другими средствами.

В ряде случаев донные организмы не способны прикрепляться к грунту, если он имеет недостаточно твердую консистенцию. Поэтому у бентонтов, обитающих на полужидком грунте, существуют различные приспособления, предупреждающие погружение в него. К ним относятся снижение плотности организмов (в частности, истончение раковин у моллюсков и плеченогих), «айсберговая адаптация» — погружение части тела до более плотного слоя грунта, «лыжная адаптация» — уплощение тела, а также уменьшение размеров.

Защита от засыпания взвесью. Всем прикрепленным к грунту организмам грозит опасность захоронения под слоем осадков вследствие непрерывного оседания на дно взвешенных в воде минеральных и других частиц. Поэтому у всех бентонтов конвергентно вырабатывается в качестве защитной меры приподнятое над грунтом за счет соответствующей формы тела и вытягивания вверх в процессе роста. Наиболее распространенная форма тела у прикрепленных донных организмов — конусообразная, воронковидная, грибообразная, во всех случаях более тонкая снизу. Такая форма, в частности, свойственна многим губкам, одиночным кораллам, ряду моллюсков, плеченогих, морским лилиям. У двустворчатых моллюсков р. *Diceras* вершины обеих створок закручены, как у брюхоногих, причем спираль, с помощью которой они прикрепляются, сильно растянута, позволяя животным держаться приподнятыми над грунтом. Эффективно как приспособление против засыпания взвесью прикрепление с помощью длинного вертикального стебелька, свойственное, например, морским лилиям. В других случаях таким приспособлением служит столбообразная подставка, на которой находится значительно большее по диаметру остальное тело животных (например, губки *Coeloptychium*). Сходная грибовидная форма характерна для мшанок *Alcyonidium disciforme*, губки «нептунова чаша». Некоторые прикрепленные животные, например стеклянные губки *Euplectella*, имеют вид вытянутой вверх трубки. У прикрепленных брюхоногих моллюсков, в частности представителей сем. *Vermetidae*, раковинная спираль разворачивается, а сама раковина чрезвычайно удлиняется, постепенно превращаясь в расширяющуюся кверху трубку. Сходные трубки свойственны многим сидячим червям (род *Protula* и др.), некоторым трубчатым кораллам (например, красный органый коралл).

Наряду с вытягиванием вверх защита от засыпания взвесью у прикрепленных организмов достигается поселением на субстратах, возвышающихся над дном (как живых, так и мертвых). Прирастают к скалам и камням, к различным твердым предметам и организмам усоногие рачки, моллюски дрейссены, мшанки. Растения спасает от засыпания быстрое нарастание стеблей.

В водоемах с высокой гидродинамической активностью энергичные процессы взмучивания грунта и седиментации взвешенных частиц могут стать фактором, исключаящим существование прикрепленных донных организмов. Такая картина наблюдается, например, в равнинных участках Амударьи, Сырдарьи и некоторых других рек, энергично размывающих свое ложе.

Особи одного вида могут иметь разные размеры в зависимости от степени твердости грунта, на котором они обитают. Так, в Азовском море у двустворчатого моллюска *Abra (Syndesmya) ovata* на твердых грунтах (песок и ракушка) раковина толстая и достигает 25 мм длины. На илу его длина не превышает 20 мм, а раковина становится тонкой и прозрачной.

Движение. По степени подвижности среди бентосных и перифитонных организмов выделяют формы бродячие, или *вагильные* (крабы, осьминоги, морские звезды и др.), *седентарные*, которые лежат на грунте, не делая значительных перемещений (многие моллюски, морские ежи), и прикрепленные, или *сессильные* (губки, мшанки, кораллы). В целом у обитателей бентали и перифитали способность к активным движениям выражена слабее, чем у пелагических организмов, и одновременно они в меньшей степени адаптированы к пассивным перемещениям. Малая подвижность, характерная для многих бентонтов и перифитонтов во взрослом состоянии, обычно компенсируется высокой мобильностью их молоди, ведущей пелагический образ жизни. В ряде случаев в целях смены биотопа всплывают в толщу воды и разносятся ее токами взрослые стадии бентосных форм (моллюски, олигохеты и др.).

Покидая грунт, бентонты могут то или иное время находиться в толще воды, всплывая к ее поверхности или передвигаясь в горизонтальном направлении с помощью гребни конечностями, изгибания тела или иным способом. Уже через несколько часов монолиты грунта, подвешенные над дном затона в толще воды, обильно заселялись олигохетами, моллюсками, крупными личинками хирономид и другими бентосными организмами (Константинов, 1971). Широко используют течения рек для расселения высшие ракообразные. Например, в низовьях Дона кумовые рачки с наступлением темноты всплывают для

размножения и в это время сносятся вниз по течению. Подъем в верхние слои воды наблюдается и у корофид, живущих в трубках, прикрепленных к грунту; всплывающие рачки уносятся за ночь на значительные расстояния, а с восходом солнца опускаются на дно и строят себе новые трубки.

Движение по поверхности твердого субстрата совершается путем бегания или хождения, ползания, прыганья, лазанья. Бегание и хождение на грунте свойственно многим ракообразным, водным насекомым и их личинкам, паукообразным и позвоночным. Особенно широко оба способа передвижения используют животные, обитающие на морской литорали.

Ползание происходит с помощью амебоидных движений (корненожки), перистальтических сокращений тела (черви), конечностей (личинки ряда насекомых) и ресничек (инфузории, различные черви, моллюск *Saesum* и др.). Часто оно осуществляется подтягиванием тела к месту прикрепления с последовательным перенесением его вперед по ходу движения. Например, осьминог присасывается щупальцами к тому или иному субстрату, затем подтягивает к месту прикрепления все тело, после чего щупальцы снова выбрасываются вперед и прикрепляются к субстрату. За счет подтягивания тела передвигаются пиявки, иглокожие и некоторые другие беспозвоночные. Способностью прыгать обладают отдельные виды брюхоногих моллюсков, прыжками путем резкого выпрямления изогнутой ноги спасается от морской звезды двустворка *Garitellinella*. Лазанье характерно для многих насекомых, которые, цепляясь лапками, могут передвигаться даже по совершенно гладким поверхностям.

В грунте животные перемещаются в узких промежутках между частицами, раздвигая их или заглатывая с последующим выбросом через анальное отверстие. Передвижение между частицами грунта возможно только для очень мелких организмов, как правило, обладающих нитевидным телом, — многих инфузорий, коловраток, гастротрих, нематод, личинок двукрылых. В песчанистом грунте с размерами частиц менее 0,1 мм капиллярные ходы очень малы и инфауна обычно отсутствует.

Для многих представителей бентоса характерно явление «хоминга» — возвращения в место постоянного обитания. Покидая свои убежища ради питания или других целей, животные каждый раз возвращаются «домой», руководствуясь работой самых разных органов чувств. Особенно характерен хоминг для моллюсков и высших раков. Например, моллюски *Siphonaria pectinata*, начинающие передвижение тотчас после отлива, возвращаются к исходной точке либо по уже пройденному пути, либо описав замкнутую кривую длиной до 1,5 м.

Миграции. Регулярные массовые перемещения бентонтов происходят по дну, в толще грунта и путем подъема в водную толщу, где они подхватываются различными течениями. Наиболее значительные горизонтальные миграции на грунте совершают крупные ракообразные. Для откорма из открытых частей моря к побережью мигрируют многие креветки, крабы, омары, лангусты. На расстояние до 200 км из побережья в открытое море перемещается осенью камчатский краб *Paralithodes camtschatica*, а весной с мест зимовки снова возвращается в прибрежные воды. Сходные миграции прodelывают американский омар, зимующий на глубинах около 180 м, и некоторые другие ракообразные. Лангусты *Panularis argus*, совершая массовые миграции, образуют цепочки из десятков особей, которые следуют строго друг за другом, касаясь abdomena или хвоста впереди идущего антеннами или переоподами; массовые миграции происходят осенью с началом штормов со скоростью 1 км/ч в течение нескольких дней.

Китайский краб *Eriocheir sinensis* поднимается для кормежки вверх по течениям рек на сотни километров, а для размножения мигрирует из рек в море. От берегов в открытые участки моря уходят для размножения креветка *Crangon crangon*, камбала *Pleuronectes platessa*. Моллюски *Lacuna pallidula* в Баренцевом море мигрируют для откладки яиц из литорали в сублитораль; с наступлением зимы уходят с литорали Белого моря в сублитораль годовики *Nereis virens*. Регулярные миграции в более мелкие воды совершают весной самцы краба *Chionoecetes tanneri*, на зиму снова уходящие на большие глубины. Личинки комара *Sergentia*, обитающие летом на мелководье озер, осенью передвигаются дальше от берега. В

это же время перемещаются из прибрежья озер и рек в более глубокие части водоемов личинки других насекомых, олигохеты, моллюски и ракообразные.

Миграции вниз по течению ручьев и рек совершают многие ракообразные и личинки насекомых. Для этого они поднимаются в толщу воды и, проплыв по течению некоторое расстояние, оседают на новом месте. Как правило, подъем в толщу воды происходит ночью, когда опасность выедания ниже. В р. Дон рачки *Corophium*, *Pterocuma*, *Stenocuma* и некоторые другие появляются через полчаса после захода солнца в поверхностном слое воды, а перед восходом снова опускаются на дно, проделав за это время значительный путь вниз по течению реки. Большое значение для массовых перемещений донных организмов в толщу воды имеет свет, играющий роль основного сигнального фактора.

Вертикальные миграции в толще грунта носят суточный и сезонный характер. Суточные перемещения обычно связаны с защитой от выедания, с расселением, питанием, добыванием кислорода. В Аральском море в дневное время крупные личинки хирономид, избегая выедания рыбами, уходят в грунт на глубину до 40 см, а ночью снова поднимаются к его поверхности (Никольский, 1940). В Каспийском море инфузории ночью концентрируются в верхних слоях грунта (0—4 см), днем максимум их нахождения смещается в более глубокие горизонты (6—10 см); летом и в ясную погоду миграции выражены резче, чем зимой и в пасмурные дни. Четко выраженные вертикальные миграции инфауны на песчаной морской литорали прослеживаются в связи с чередованием приливов и отливов.

Зимой многие представители озерного бентоса, например олигохеты и личинки хирономид, перемещаются в поверхностные слои грунта, что связано с ухудшением кислородного режима и снижением пищевой активности врагов. Избегая промерзания в грунте, глубже закапываются в него зимой личинки комаров *Glyptotendipes*, *Chironomus*. Зимнее перемещение в более глубокие слои грунта отмечено у бентосных инфузорий Каспийского моря; у перифитонных форм прослежена ночная миграция к поверхности воды, а днем — оседание на оставленные субстраты.

3. Пелагобентос, нейстон и плейстон

Значительная часть гидробионтов приспособилась к существованию на границе раздела воды с твердой и газообразной фазами. В зоне контакта водной толщи с дном обитают представители пелагобентоса, то плавающие, то передвигающиеся по грунту или закапывающиеся в него. Приповерхностный слой воды является биотопом нейстона и плейстона. Существенная разница между представителями этих двух жизненных форм заключается в том, что нейстонты — микроскопические или мелкие формы, обитающие на поверхности пленки (эпинеuston) или непосредственно под нею (гипонеuston), а плейстонты — организмы крупных или средних размеров, часть тела которых погружена в воду, а часть выступает над нею.

Пелагобентос. В зависимости от размеров и степени подвижности представители пелагобентоса относятся к *некто-* или *планктобентосу*. Среди представителей нектобентоса наиболее обычны высшие раки и рыбы. Например, проникают в поверхностный слой грунта многие креветки и мизиды, взмучивающие ил с целью добывания пищи. Морские рыбы песчанки закапываются в песок, спасаясь от преследования. Набрасывая на себя песок, частично закапываются в грунт плоские скаты и камбала. Одна из самых обычных рыб наших водоемов — шиповка, находясь в грунте, даже может питаться в его толще. Такой же способностью обладают личинки миног — пескоройки, по нескольку дней не поднимающиеся в воду из грунта.

К типичным планктобентонтам относятся попеременно живущие в воде и грунте прозрачные личинки комара *Chaoborus*, многие жуки, веслоногие и ветвистоусые рачки, ряд коловраток, снабженных ногами, многочисленные хлорококковые, десмидиевые водоросли и синезеленые. Ракушковые рачки ведут преимущественно донный образ жизни, но часто держатся в воде над грунтом и многие из них — типичные планктобентонты. Регулярное перемещение из грунта в придонные слои воды и обратно наблюдается у ряда инфузорий Каспийского моря в соответствии с наступлением темного и светлого времени суток.

Попеременное обитание в толще воды и грунта ведет к выработке у планкто- и нектобентонтов специфических адаптации, обеспечивающих, с одной стороны, способность проникать в грунт и оставаться в контакте с ним, а с другой — возможность нахождения во взвешенном состоянии, причем в обоих случаях они ведут активный образ жизни, сопровождающийся нормальным ростом и развитием особей. Например, все закапывающиеся в грунт рыбы имеют змеевидное вытянутое тело, облегчающее внедрение в плотный субстрат. Находясь в нем, они активно питаются.

Нейстон. Условия существования организмов на верхней стороне пленки натяжения воды резко иные, чем в приповерхностном слое. Поэтому эпинейстонты-аэриобионты и гипонейстонты-гидриобионты по существу образуют разные жизненные формы.

Эпинейстон (рис. 27). По верхней стороне пленки натяжения в пресных водоемах бегают клопы-водомерки *Gerris* и *Hydrometra*, жуки-вертячки *Gyrinus*, подуры, мухи *Ephydra*; на поверхности океанов многочисленны клопы-водомерки *Halobates*. Пленка под ногами бегающих насекомых прогибается, но не рвется, чему способствует несмачиваемость их тела, позволяющая использовать вертикальную составляющую силы поверхностного натяжения воды.

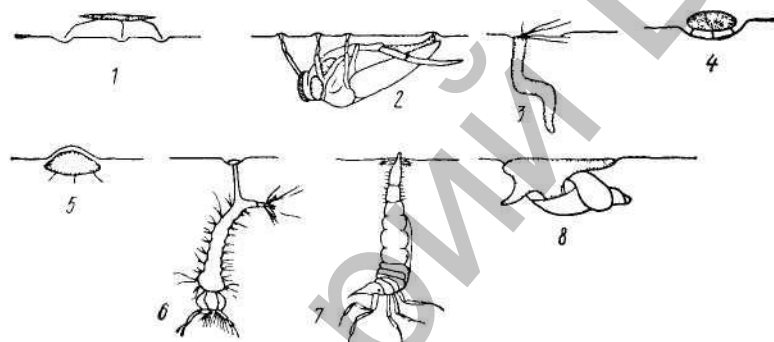


Рис. 11. Представители нейстона.

1 – *Hydrometra*, 2 – *Notonecta*, 3 – личинка *Stratiomis*, 4 – *Gyrinus*, 5 – *Hydrophilidae*, 6 – личинка *Culex*, 7 – личинка *Dytiscus*, 8 – *Limnea*

Условия жизни эпинейстонтов характеризуются усиленной солнечной радиацией (световой поток падающей и отраженной радиации), высокой влажностью воздуха, подвижностью поверхности опоры. Высокая концентрация органических веществ, скапливающихся на поверхностной пленке и под нею (см. ниже), создает благоприятные условия для питания эпинейстонтов. С другой стороны, они сами весьма уязвимы для врагов, так как могут подвергаться нападению из воды и воздуха, а каких-либо убежищ лишены.

Гипонейстон (рис. 11). К гипонейстону относят совокупность организмов, населяющих верхний слой воды толщиной 5 см. В нем поглощается до половины всей солнечной радиации, проникающей в воду, большая часть ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. В этом слое резко выражен перепад температуры на границе воды и атмосферы, солевой режим вследствие испарения и выпадения осадков отличается значительной лабильностью, концентрация кислорода из-за контакта с воздухом неизменно высокая. Поверхностная пленка благодаря своей упругости представляет своеобразную опору нейстонным организмам, подвешивающимся к ней или упирающимся в нее снизу. Явления смачивания и несмачивания вызывают самые разные биологические последствия в жизни гипонейстонтов, контактирующих с пленкой. Чем больше натяжение пленки, тем количественно беднее гипонейстон.

Необычайно характерна для приповерхностного слоя воды высокая концентрация органических веществ. С одной стороны, на поверхность воды оседают трупы различных аэриобионтов, особенно насекомых, а также содержащая органику пыль, приносимая с суши. С другой стороны, из глубин к поверхности всплывают остатки отмерших гидриобионтов, образуя так называемый «антидождь трупов». Наконец, существенную роль в повышении концентрации органики у поверхности воды играют поднимающиеся газовые пузырьки и пена. Как показали исследования многих авторов, пузырьки газа, возникающие в результате

волнения воды, фотосинтеза, гниения и других причин, адсорбируют органические вещества и транспортируют их в приповерхностный горизонт. Характерно, что в периоды волнения моря концентрация бактерий в гипонейстали возрастает в 10—100 раз. Количество органического детрита, образующегося в приповерхностном слое за счет адсорбции растворенной органики на пузырьках газа, примерно в 10 раз больше того, которое продуцируется в том же слое фотосинтетиками. Сейчас еще трудно сказать, какое качество пены — трофическое или стимулирующее — имеет большее значение для жизни гипонейстонтов. Пена концентрирует в себе многие химические элементы, обладает многообразной ферментативной активностью, содержит различные стимуляторы роста, выделяемые бактериями.

Высокая концентрация органического вещества в приповерхностном слое воды создает для обитателей гипонейстали, в частности бактерионейстона, благоприятные условия развития; в Черном море он богаче бактериопланктона по числу клеток в 250 раз, в Алеутском желобе — в 177 раз, в субтропической области Тихого океана — в 220 раз; суточная продукция бактерионейстона в единице объема воды на 1—2 порядка величин выше, чем для бактериопланктона в тех же участках водоема. Количество беспозвоночных, икры и личинок рыб в гипонейстали в десятки и сотни раз превосходит их концентрацию в остальной толще воды.

Следует отметить, что нейстон существует в сложных биотических условиях. Эта сложность определяется тем, что нейстонты находятся под действием «двойного пресса» хищников: на них нападают и аэробии (птицы, летучие мыши и др.), и гидробионты. Защита от хищников ограничена высокой освещенностью воды, отсутствием экранов и укрытий, а также сниженными возможностями ухода от преследования гидробионтами (невозможность движения вверх).

Специфические особенности абиотических и биотических условий существования гипонейстона обуславливают выработку у его представителей своеобразных адаптаций. К ним, в частности, относятся смачиваемость внешних покровов, положительный фототрофизм, ряд приспособлений к питанию органическими частицами, падающими на поверхность воды из воздуха, криптическая окраска или прозрачность, развитие пигментации, защищающей организмы от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей.

Пигментация, в частности, характерна для подавляющего большинства бактерий, гипонейстона, в первую очередь для форм, резистентных к УФ-излучению. В экспериментальных условиях наибольшую устойчивость к УФ-лучам обнаруживали микроорганизмы с желтым пигментом; именно в такой цвет окрашены многие колонии неистинных бактерий. Тем не менее в часы максимальной солнечной радиации численность бактерий в гипонейстоне заметно снижается. Бактерицидный эффект УФ-облучения, смягчаемый защитной пигментацией, компенсируется быстрым темпом размножения клеток в условиях высокой экологической обеспеченности другими факторами, в частности трофическим, температурным и кислородным.

В гипонейстоне преобладают гетеротрофные организмы, и для него характерна большая изменчивость во времени, поскольку многие гидробионты ведут нейстонный образ жизни периодически, в те или иные часы суток, в те или иные сезоны.

В состав гипонейстона входят бактерии, простейшие, ракообразные, моллюски, насекомые, молодь рыб и представители многих других групп. Крайне характерно присутствие в гипонейстоне яиц и молоди многих гидробионтов, в частности рыб, для которых теплый и хорошо аэрирующийся поверхностный слой воды играет роль своеобразного «инкубатора».

Некоторые организмы гипонейстона в качестве опоры используют нижнюю поверхность пленки. В пресных водах по ней передвигаются моллюски *Limnaea*, *Physa*, рачки *Scapholeberis*, жуки-водолюбы, клопы *Notonecta*, в море — моллюски *Hydrobia*, *Glaucus* и *Aeolis*, личинки высших раков и др. Моллюск *Peringia ulvae* держится на поверхностной пленке воды с помощью слизистого плотика, одновременно улавливающего пищу. Моллюск *Janthina janthina* для плавания на поверхности сооружает поплавок из сли-

зистой массы с пузырьком воздуха внутри; поедая сифонофор, он отбрасывает свой поплавок и пользуется тем, который остается от жертвы.

Различают формы *эв-* и *мерогипонейстонные*. Первые в течение всей жизни связаны с поверхностным слоем воды, вторые — лишь на отдельных стадиях развития. Многие животные присутствуют в гипонейстоне только в ночное время, днем перемещаясь вглубь. Среди типичных представителей морского эвгипонейстона можно назвать веслоногих рачков Pontellidae, изопод Idothea, сагитт. Для мерогипонейстона характерны личинки моллюсков, яйца полихет, науплиальные и копеподитные стадии многих веслоногих, икра кефали, ставриды, хамсы, личинки многих рыб. Ночью в верхнем пятисантиметровом слое держатся рачки *Gammarus*, *Dexamine* и *Aphenusa*, креветки *Palaemon*, мизиды *Gastrosaccus* и ряд других организмов.

Плейстон. Для представителей плейстона наиболее характерна двойственность адаптации, поскольку часть их тела находится в воде, а часть — в воздухе. У плейстонных растений, например, дыхание происходит как за счет поглощения кислорода из атмосферного воздуха, так и растворенного в воде. Характерно, что устьица образуются только на верхней стороне листовой пластинки, контактирующей с атмосферой, причем в очень большом количестве (в десятки раз больше, чем на листьях наземных растений). Заливание устьиц водой предупреждает соответствующая изогнутость листовой пластинки и восковой налет, обеспечивающий ее несмачиваемость. Из плейстонных животных атмосферное дыхание имеют сифонофоры-дисконанты.

Многие плейстонты для своего движения используют ветер. Так, обитающая по обе стороны от экватора сифонофора *Physalia aretusa* имеет крупный пневматофор, который, заметно поднимаясь над водой, служит ей своеобразным парусом и может обеспечивать движение против течения. Парус несколько асимметричен, причем у особей, находящихся по равным сторонам экватора, асимметрия выражена с соблюдением зеркального подобия. Благодаря этому в северном полушарии, где экваториальное течение отклоняется к северу, ветер сносит физалий к югу, а в южном полушарии, где течение отклоняется к югу, — ветер сносит их к северу. В результате физалии, все время передвигаясь под действием ветра и течений, не выходят за пределы своего ареала. В сходных целях используют для передвижения свой пневматофор сифонофоры *Velella* и др. Рыбы *Histiophorus* и *Mola*, переходя к временному плейстонному образу жизни, выставляют на воздух свой сильно развитый плавник, используя для передвижения силу воздушных течений. Наибольшего богатства фитоплейстон достигает в небольших стоячих водоемах, например в прудах, старицах и небольших озерах. Зооплейстон почти исключительно встречается в морях и океанах, где включает десятки различных форм, главным образом сифонофор и брюхоногих моллюсков.

4. Определение видового разнообразия гидробиоценозов

Гидробиоценоз является структурно-функциональной частью водной экосистемы, ее биоты. Это биологическая система, включающая популяции разных видов растений, животных, микроорганизмов, которые населяют определенный участок водного объекта (водной толщи, дна и т. д.), то есть определенный биотоп (экотоп). Для водных организмов среда их обитания является одновременно и их внутренней средой, из которой они получают кислород, биогенные элементы и куда выделяют продукты жизнедеятельности (экзометаболиты). Между организмом и растворенными в воде веществами постоянно осуществляется метаболическая связь. Как сложная биологическая система, гидробиоценоз объединяет представителей различных систематических групп растений, животных и микроорганизмов, взаимосвязанных между собой и с окружающей водной средой. Именно такие связи определяют целостный характер гидробиоценоза. Уже в самом названии «гидробиоценоз» отражены три составляющие такой системы: «гидро» (водная среда), «био» (биота) и «ценоз» (сообщество). Гидробиоценоз только тогда может рассматриваться как живая надорганизменная биологическая система, когда все ее элементы включаются в единую взаимосвязанную трофическую цепь круговорота веществ и энергии.

2. Определение видового разнообразия гидробиоценозов. В состав гидробиоценоза входят организмы разных видов, которые в условиях конкретных биотопов образуют отдельные популяции. Количественное и качественное соотношение разных популяций формирует *видовую структуру гидробиоценоза*. В него входят и отдельные организмы, которые могут находиться в составе биоценоза временно. Структурными элементами гидробиоценоза являются все компоненты биоты (микроорганизмы, водоросли, высшие водные растения, беспозвоночные, рыбы, позвоночные животные).

Видовое разнообразие гидробиоценоза - это количественное соотношение отдельных видов гидробионтов, входящих в его состав. Наиболее часто используются следующие индексы видового разнообразия и сравнения.

Индекс видового разнообразия. Видовое разнообразие оценивается при помощи индекса **К. Шеннона**:

$$H = \sum_{i=1}^m \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

где N_j - численность любого i -го вида; N - общая численность всех видов в сообществе; m - количество видов. Для расчетов индекса можно использовать и значения биомассы гидробионтов.

Индекс Шеннона характеризует видовой состав и численность гидробионтов - компонентов гидробиоценоза и довольно адекватно отображает его разнообразие. Индекс Шеннона обычно варьирует от 1,5 до 3,5, редко превышая 4,5.

Индекс выравнинности. На основе индекса Шеннона можно вычислить **показатель выравнинности E** (отношение наблюдаемого разнообразия к максимальному). $E = H/\ln S$, где H - индекс Шеннона, S - число выявленных видов. $E = 1$ при равном обилии всех видов.

Индекс доминирования. В экологии используются также **показатель разнообразия по Симпсону**.

$$D = \sum (n_i(n_i - 1) / N(N - 1)),$$

где n_i - число особей i -го вида, N - общее число особей.

По мере увеличения индекса D , разнообразие уменьшается.

Биологическое значение этих показателей состоит в том, что они отражают не только разнообразие видового состава отдельных гидробиоценозов, но и их приспособленность к условиям среды. Тенденция развития естественных растительных и животных сообществ состоит в увеличении их видового разнообразия, но существует определенный предел, до которого это увеличение обеспечивается естественными энергетическими ресурсами. Переход за эту границу приводит к снижению эффективности использования ресурсов живыми компонентами водной экосистемы.

Экосистемы с невысоким биотическим разнообразием, существующие за счет легкодоступной внешней энергии, могут быть достаточно стойкими во времени и способе противостояния внешним неблагоприятным факторам, если поступление питательных веществ извне сохраняется на достаточном уровне в течение продолжительного времени. В этом случае даже низкий показатель видового разнообразия их гидробиоценозов может быть оптимальным. Если же основным энергетическим источником является солнечная энергия, стационарное состояние экосистемы поддерживается лучше при высоком уровне видового разнообразия растительных организмов-автотрофов. Это объясняется более эффективным использованием источника энергии благодаря наличию широкого спектра альтернативных путей его утилизации.

При благоприятных условиях существования численность видов в гидробиоценозах возрастает, но каждый вид представлен меньшим количеством особей. Наоборот, в неблагоприятных условиях уменьшается видовое разнообразие, но численность каждой популяции повышается. Видовое разнообразие гидробиоценозов зависит от времени их существования. В гидробиоценозах давно сформированных водных экосистем видов значительно больше, чем в молодых. Это можно проследить на примере искусственно созданных водоемов-накопителей и рыбоводных прудов. После их пуска большая часть

гидробионтов погибает, а после заполнения водой процесс восстановления видового состава и численности происходит довольно медленно.

Индексы сравнения видового разнообразия.

Между видовым разнообразием гидробиоценозов и количеством энергии, поступающей в них, существует прямая коррелятивная зависимость, которая обнаруживается при сопоставлении степени видового подобия гидробиоценозов с их энергетическими потоками. Для оценки степени видового подобия гидробиоценозов применяется *коэффициент видовой общности*, или видового сходства, который определяется процентным отношением количества общих видов к общему количеству видов. Для расчетов используют индексы, предложенные Жаккаром, Серенсеном и Константиновым. **Индекс Жаккара:** $K =$

$$\frac{c}{(a+b)-c},$$

индекс Серенсена: $K = \frac{2c}{a+b},$

где a и b - количество видов, выявленных в каждом из сравниваемых гидробиоценозов; c - количество общих для них видов. **Индекс Константинова:**

$$K = \sum_{i=1}^N \min(a_i^1, a_i^2),$$

где a_i^1 и a_i^2 - соответственно наименьшая численность i -го вида в процентах от общей численности в первом и втором сравниваемых гидробиоценозах; N - общее количество видов в сравниваемых биоценозах.

Приведем такой пример. В первом гидробиоценозе на отдельные виды, обозначенные A, B, C и D , приходилось соответственно 50, 25, 25 и 10 % особей по численности или биомассе. Во втором эти показатели составляли 20, 0, 30 и 50 %. Тогда, в соответствии с приведенной формулой, индекс Константинова, характеризующий коэффициент видового сходства этих гидробиоценозов, будет равен 55 % ($K = 20 + 0 + 25 + 10 = 55$ %).

5. Основные биоценозы Мирового океана и континентальных вод. Их структура

Гидробиоценозы, состоящие из автотрофных и гетеротрофных организмов, называются *полночленными*. Иногда встречаются водные экосистемы, в которых практически отсутствуют автотрофные организмы, а имеются лишь гетеротрофные. К таким *неполночленным* гидробиоценозам относятся биоценозы водоемов темных пещер, где не может происходить фотосинтез. В то же время здесь могут жить простейшие, хемосинтезирующие бактерии и даже некоторые беспозвоночные, которые питаются готовыми органическими веществами, поступающими извне (например, из фильтрационных вод, которые проходят через пласт грунта и вымывают из него не только неорганические, но и органические вещества).

В состав полночленных гидробиоценозов входят гидробионты различных систематических групп: микро- и макроводоросли, высшие водные растения, бактерии, актиномицеты, простейшие, беспозвоночные и рыбы.

Гидробиоценозы можно подразделять на сообщества водорослей (*альгоценозы*), высших водных растений (*фитоценозы*), животных (*зооценозы*), рыб (*ихтиоценозы*) и т. д. Можно выделять гидробиоценозы также по характеру биотопа, например гидробиоценозы толщи воды, литоральной зоны, скал (морские биоценозы), песчаного грунта и др. В гидроэкологической практике нередко объектом системного исследования являются не все популяции гидробиоценоза, а только относящиеся к определенному таксону (*таксоценоз*).

В зависимости от характера донных грунтов изменяется и состав донной фауны. По этому признаку в континентальных водоемах различают биоценозы песчаных грунтов (*псаммофильные*), глинистых грунтов (*аргилофильные*), каменистого дна (*литофильные*), ила (*пелофильные*). Для проточных (*лотических*) водных экосистем к названию биоценоза прибавляется приставка «*рео*». Так, биоценозы речных экосистем с песчаным дном имеют

название *псаммореофильные*, с глинистым - *аргилореофильные*, с илистым - *пелореофильные* и т. п.

В гидробиоценозе могут выделяться четко ограниченные локальные сообщества растений или животных. Они не являются доминирующими, но играют довольно заметную роль в функционировании гидробиоценоза.

Помимо доминантных и специфичных (характерных) видов растений и животных в составе гидробиоценозов встречаются виды, представленные немногочисленными особями. Они не определяют общей структуры биоценоза, но при некоторых изменениях условий среды могут играть важную роль в его биологическом разнообразии. Используя разные источники питания, такие немногочисленные организмы при определенных условиях могут значительно увеличивать свою численность и биомассу и даже занимать в биоценозе доминирующее положение. Такие неспецифичные для определенного периода существования биоценоза виды гидробионтов делают его структуру более устойчивой, то есть, благодаря значительному видовому разнообразию достигается динамическое существование гидробиоценозов.

Для водной среды характерна *вертикальная структура гидробиоценозов*. Она определяется, прежде всего, экологическими условиями, типичными для отдельных зон водных объектов. Так, для пелагических зон определяющими факторами являются градиент освещенности, температура, газовый режим, концентрация биогенных веществ. На больших глубинах в морях и океанах формирование донных биоценозов зависит от гидростатического давления, характера грунтов и динамики водных масс. Все эти факторы определяют специфику видового состава, преобладание определенных видов, их биопродуктивность и влияние на популяции других организмов. Именно абиотические факторы среды определяют пространственную структуру гидробиоценозов. Пространственным границам гидробиоценозов отвечает биотоп, для которого минимальное пространство с комплексом взаимодействующих видов обеспечивает полный цикл биогенного круговорота веществ и энергии.

Сообщество высших водных растений (фитоценозы) характеризуется как горизонтальной, так и вертикальной структурой. Отдельные участки зарослей могут отличаться по плотности, возрастному составу и общей фитомассе. Пространственное деление связано с поддержанием оптимальной плотности растений в условиях ценотической конкуренции.

Вертикальная структура фитоценозов формируется в соответствии с уровнем освещенности, влияющим на фотосинтетическую активность популяций в целом. Ее можно характеризовать, исходя из ярусности растительности, то есть сосуществования разных по высоте групп растений в пределах фитоценоза. Для высших водных растений ярусность может проявляться как на уровне одновидовых сообществ, так и в сосуществовании разных типов водной растительности: погруженных в воду, прикрепленных с плавающей листвой, свободноплавающих и воздушно-водных растений. Для каждого из этих экологических типов растительности характерна своя пространственная структура. Так, для куги озерной типичным является куртинный тип фитоценозов. Замкнутость куртин невысокая (проективное покрытие 5-40 %, иногда до 70 %). Эти сообщества имеют одноярусную вертикальную структуру с плотностью побегов до 200-300 на 1 м². Фитоценозы рогоза узколистного имеют одноярусный травостой доминантного растения. Но часто в пределах фитоценоза можно наблюдать двух- и трехъярусную структуру, образуемую популяциями других видов растений. Среди сообществ свободноплавающих высших водных растений выделяются широким распространением фитоценозы сальвинии плавающей, которая в местах массового развития покрывает поверхность водоемов сплошным ковром. Из прикрепленных растений с плавающими вегетативными органами, которые могут образовывать до 100 % проективного покрытия, можно упомянуть кувшинку белую. Фитоценозы этого растения часто имеют двухъярусную вертикальную структуру. При этом нижний погруженный в воду ярус значительно *более* развит, чем верхний, находящийся на поверхности водоема.

Таким образом, формы структурной организации фитоценозов водных растений довольно разнообразны. Наряду с небольшими куртинами они могут образовывать сплошные заросли, занимающие значительные площади мелководий. При этом вертикальная ярусность в них связана с генетически закрепленной особенностью протекания всех физиологических процессов (фотосинтез, утилизация питательных веществ, транспирация, вегетативное и половое размножение).

Биоценозы шельфа Мирового океана. Прибрежные районы Мирового океана отличаются чрезвычайной пестротой условий существования и соответственно сложным биоценотическим расчленением, особенно на литорали. Основными факторами, влияющими на состав и распределение шельфовых биоценозов являются: характер грунтов, волновые воздействия, особенности водных и воздушных масс, температура водных масс, сток пресных вод, биотические факторы.

Характер грунтов. На Открытых океанических мелководьях с песчанистым или мелкокаменистым грунтом могут существовать лишь прикрепленные, зарывающиеся или очень подвижные организмы. На скалах, создающих убежища от штормовых волн, повышается видовое разнообразие населения и появляются биоценозы резко иного состава. В полузакрытых и закрытых прибрежных районах биоценозы богаче, чем в прибойной зоне, где нет убежищ.

На состав и распределение шельфовых биоценозов наиболее влияет температура водных масс. Грунты определяют состав, структуру и распределение биоценозов только на участках со сходными физико-химическими условиями и не играют ведущей роли при смене доминирующих форм под влиянием изменения характера водных масс. В районах с заметным стоком пресных вод. возникают солоноватоводные биоценозы. Там, где льды вспахивают прибрежные грунты, биоценозы бедны как по видовому составу, так и по биомассе.

В шельфовых биоценозах по численности и биомассе обычно резко доминируют организмы одного вида. Эти организмы становятся важнейшим элементом биотопа для других гидробионтов, представляя им, в частности, убежище и пищу, благодаря чему видовое разнообразие и биомасса биоценозов резко возрастают. Например, на устричных и индиевых банках, в зарослях ламинариевых и фукусовых водорослей встречается до ста и более представителей макробентоса с биомассой до 20—30 кг/м² и более. На сходных грунтах и глубинах, но в отсутствие упомянутых фонообразующих организмов число видов не превышает нескольких десятков, а биомасса нескольких десятков граммов (Скарлато и др., 1967). Чем меньше доминирующих видов в биоценозе, тем выше его видовое разнообразие и биомасса. Например, в биоценозах залива Посыет (южнее Владивостока) с одним доминирующим видом биомасса достигала 10 кг/м² и более, число видов—свыше 120. Когда число доминирующих видов увеличивалось до двух и трех, биомасса снижалась соответственно до 0,5 и 0,1 кг/м², число видов—до 20 и 9 (Голиков, Скарлато, 1976).

Обычно при биоценотическом расчленении шельфа выделяется небольшая группа крупных биоценозов, в пределах которых различают сообщества меньших масштабов. Например, в Черном море С. А. Зернов выявил шесть крупных биоценозов: скал, песка, зоостеры, устричная, индеевого и фазеолинового плыв. В Баренцевом море, согласно Л. А. Зенкевичу (1963), к наиболее крупным относятся биоценозы *Spongia*, центральный баренцевоморский, восточный средних глубин, восточный прибрежный и северный глубоководный. Для Азовского моря В. Воробьев (1949) указывает семь основных сообществ, среди которых наибольшую площадь дна занимали биоценозы моллюсков сердцевидки, абры и карбуломии.

Для мелководной тропической зоны очень характерны биоценозы мангровых зарослей и коралловых рифов. Первые образованы в основном низкорослыми (5—10 м) деревьями и кустарниками с сильно разветвленными, полупогруженными в вязкий ил ходульными корнями. Прибрежная полоса зарослей представлена кустарниковой пальмой нила и болотным фиником, ближе к морю следуют деревья рнзофора, авиценния, зоннерадия и бругиера. Замедление приливно-отливных течений корнями зарослей сопровождается выпадением ила, заболачиванием дна у берега. У многих растений наблюдается

«живорождение»: семена прорастают на дереве, проростки с хорошо развитыми корнями падают в воду и укореняются на грунте. Среди корней зарослей многочисленны норы крабов, инфауна вследствие насыщения ила сероводородом практически отсутствует. На грунте и в воде многочисленны двусторчатые моллюски, гарпактикоиды, бокоплавы, мизиды, рыбы (в частности, ципринодоны). Отмершие листья мангров составляют основу энергетики сообщества.

Широко распространенные на мелководьях теплых морей коралловые сооружения, образуемые в основном мадрепоровыми кораллами и известковыми водорослями (литотамниями), представлены береговыми рифами, барьерными рифами и атоллами. Первые примыкают непосредственно к берегу, создавая широкие мелководные террасы. Барьерные рифы состоят из коралловых гряд, тянущихся на некотором расстоянии от береговой линии и отделенных от нее лагуной. Атоллы — коралловые острова с лагуной внутри.

Коралловые рифы представляют собой высокопродуктивную хорошо сбалансированную экосистему с сильно развитыми симбиотическими связями. В эндодерме кораллов обильны панцирные жгутиковые, имеющие стадию свободноплавающих клеток, что обеспечивает их распространение. Избыточные продукты фотосинтеза эндозойных водорослей переходят в ткани полипов и кораллы могут жить только за счет симбионтов, хотя лучше растут, когда потребляют и зоопланктон; аппарат для улавливания планктона служит одновременно для поглощения биогенов, нужных симбионтам и хозяевам. Установлено, что кораллы теряют фосфор намного медленнее других животных, не имеющих симбионтов. Последние, значительно усиливают и способность кораллов к построению скелетов (связывание CO_2 при фотосинтезе способствует образованию CaCO_3). Значительную роль в формировании известкового субстрата и энергетики рифов играют литотамнии (красные водоросли в основном рода *Porolithon*), развивающиеся преимущественно на внешней стороне коралловых образований, поскольку лучше противостоят прибою. По существу, рифы — кораллово-водорослевые образования.

Кораллы выделяют много слизи, которая предохраняет их от засорения взвесью и одновременно седиментирует органические частицы, улучшая условия питания детритофагов. Значительный вклад в трофику вносят разрастающиеся на поверхности кораллов тенелюбивые зеленые водоросли, клетки которых богаты хлорофиллом. Рифы дают приют многочисленным ракообразным, иглокожим, червям. Стаи ярко окрашенных рыб пасутся на водорослях и кораллах, питаются сестоном. Глубже держатся акулы и мурены. Ночью активны лангусты и другие ракообразные и беспозвоночные, прячущиеся днем в расщелинах. В целом экосистема отличается высокой степенью сбалансированности. Соотношение дыхания и фотосинтеза в этом исключительно продуктивном сообществе близко к 1, т. е. оно находится в состоянии, очень близком к равновесному.

В каждом отдельном районе побережья донные биоценозы литорали, как правило, в видовом отношении несколько беднее, чем в сублиторали, а в целом в первой зоне дна значительно разнообразнее, чем во второй. Это объясняется чрезвычайным варьированием условий жизни на литорали, так как прежде всего здесь встречаются самые разные грунты, создающие возможность существования организмов, нуждающихся в неодинаковых субстратах. На литорали наиболее велик диапазон температур, меняющихся на протяжении года в широтном направлении, соответственно чему в различных участках этой зоны могут обитать эвритермные, тепло- и холодноводные формы.

Периодическое осушение грунта делает биотоп литоральных биоценозов более сложным, так как входящие в них организмы взаимодействуют не только с грунтом и водой, но и с атмосферой, т. е. зависят от сильно варьирующих погодных условий. Биомасса литоральных биоценозов обычно очень высока, что в первую очередь связано с пышным развитием фитобентоса продуктами распада, которого питаются многие животные. Приливно-отливной режим значительно улучшает условия питания и дыхания животных. Отрицательное значение имеет унос личинок бентонтов в открытое море, опреснение воды береговым стоком, опасность обсыхания, замерзания или перегрева животных во время отлива, значи-

тельные суточные и сезонные колебания температуры. По этим причинам виды, входящие в состав литоральных биоценозов, отличаются высокой эврибионтностью.

В пределах эвфотического слоя неритической и открытой зон Мирового океана выделяют шесть типов водных сообществ (гидробиоценозов):

1. Южное холодное (ледово-неритическое). Общее для трех океанов. Характерна резкая смена сезонов в развитии фитопланктона в котором преобладают диатомеи. В зоопланктоне отсутствуют личинки донных животных, мало голопланктонов. Слабо сбалансирован трофический цикл, значительные изменения видового разнообразия в зависимости от сезона года.
2. Северное холодное сообщество (северный полярный бассейн, северо-западные побережья Атлантического и Тихого океанов). Население криофильного фитопланктона.
3. Южное умеренное холодно-водное сообщество. Общее для трех океанов. Доминируют океанические специфические виды в фитопланктоне. Четко выражена сезонная смена видов. Значительна биомасса зоо- и фитопланктона. Максимум зоопланктона наступает после максимума фитопланктона. Сообщество слабо стратифицировано по вертикале.
4. Северные умеренно-холодные сообщества. Характерна низкая биомасса фитопланктона и высокая зоопланктона при малом видовом разнообразии. Сильное «выедание» водорослей препятствует возникновению весенней вспышки. Сезонные колебания количества планктона малы.
5. Теплое олиготрофное сообщество (в субтропических круговоротах). Биомасса фито- и зоопланктона мала, видовое разнообразие велико. Доминантов нет. Преобладают мелкие организмы с большим числом генераций. Сезонные колебания планктона незначительны. Сообщество сильно стратифицировано по вертикале.
6. Тепловодные эвтрофные сообщества (в тропических круговоротах). Выражены в экваториальной зоне. Содержат ряд специфических форм. Сильнее выражено доминирование отдельных форм.

Лекция

**ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ
ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ**

1. Первичная продукция и методы ее определения.

2. Вторичная продукция и методы ее определения.

1. Первичная продукция.

Биологическая продукция и биохозяйственная продукция (биомасса организмов, имеющая в данное время промысловое значение). Первичные продуценты: фитопланктон, фитобентос, фитоперифитон и высшая водная растительность.

Первичная продукция водоема зависит от:

2. Видового состава растений в водоеме.
3. Количества растений и распределения в толще воды.
4. Оптических свойств воды.
5. Концентрации биогенов.
6. Температуры.
7. Степени перемешиваемости воды.

Первичная продукция — это количество биомассы, образованной в единице объема за какое-то время. Различают:

Валовую первичную продукцию (брутто-продукцию)— отражает величину накопления энергии в экосистеме в виде энергии химических связей органического вещества синтезируемого в ходе фотосинтеза и образуемого автотрофными бактериями в процессе хемосинтеза, а также энергия, расходуемая на поддержание обмена гидробионтов.

Эффективную первичную продукцию — органическое вещество, образуемое фотосинтезирующими организмами в течении определенного промежутка времени за

вычетом их собственных энергетических затрат. В среднем она составляет 80% от валовой продукции.

Чистая первичная продукция – абсолютный прирост новообразованного органического вещества за счет фотосинтеза.

Единицы выражения вторичной продукции. Биопродуктивность водоемов выражают величиной, отнесенной к единице площади. Величина выражается: массой органического углерода, биомассой органического вещества, в единицах энергии:

1г. углерода=2гсухого в-ва фитопланктона=41,9кДж.

В Мировом океане величина первичной продукции колеблется от нескольких мг до десятых долей грамма углерода в день на 1 м². Выделяют три зоны Мирового океана в зависимости от продуктивности:

- Открытые районы 50 г С/ м² в год.
- Прибрежные воды 100 г С/ м² в год.
- Зона апвеллинга 300 гС/ м² в год.

В целом для Мирового океана средняя за год величина первичной продукции составляет 50-250 гС/ м². Заметно выше, чем в Мировом океане, темпы продуцирования в континентальных водоемах. Это объясняется большим поступлением биогенов с суши и более интенсивной перемешиваемостью воды и, как следствие, лучшей мобилизацией биогенов из донных отложений. Средняя продуктивность рек и озер составляет 250 гС/ м² в год, речных дельт 1500 гС/ м² в год, эвтрофных озер 600 – 800 гС/ м² в год, олиготрофных озер 50-300 гС/ м² в год, болот 2000 гС/ м² в год.

Методы определения первичной продукции. Из методов определения первичной продукции в гидроэкологической практике наиболее часто используется скляночный метод в кислородной и радиоуглеродной модификации. С целью установления скорости новообразования органического вещества А. Пюттер еще в 1908 г. предложил определять концентрацию кислорода в светлых и темных склянках, заполненных естественной водой, после их суточной экспозиции. Этот метод получил название *определение первичной продукции методом склянок*. В его основе лежит определение количества кислорода, получаемого в светлых склянках в процессе фотосинтеза и поглощаемого в темных склянках в процессе дыхания гидробионтов.

Пробы воды, отобранные батометром, экспонируют в водном объекте на определенной глубине в герметически закрытых склянках – светлых (прозрачных) и темных. В светлой склянке одновременно происходят процессы фотосинтеза и дыхания организмов планктона. В темной склянке протекают только процессы дыхания (деструкции), при которых кислород поглощается. Чтобы установить прирост или уменьшение содержания кислорода на протяжении опыта, перед экспозицией склянок определяют его исходное содержание в воде водного объекта. Темные склянки окрашивают в черный цвет или помещают в черные непрозрачные мешочки. Объем склянок зависит от плотности фитопланктона и может колебаться от 50 до 500 мл. Склянки подвешивают на тросах или специальных подставках. После окончания экспозиции из склянок отбирают пробу объемом 50-100 мл и фиксируют в ней кислород раствором хлористого магния и едкой щелочи. Его содержание потом определяют химическим методом Винклера или применяют кислородные датчики, с помощью которых содержание кислорода определяется электрометрически.

В результате проведенного таким образом эксперимента получают три основных показателя: а) исходную, или контрольную, концентрацию кислорода (К); б) концентрацию кислорода в прозрачных склянках (С); в) концентрацию кислорода в темных склянках (Т).

Валовая первичная продукция А рассчитывается в миллиграммах кислорода на 1 дм³:

$A = C - T$. Деструкция (К) и чистая продукция (Р) исчисляются соответственно по формулам $R = K - T$ и $P = C - K$.

Определяют обычно суточную продукцию, экспонируя склянки в течение 24 ч, что связано с суточным циклом солнечного освещения: фотосинтез наиболее интенсивен с 10 до 16-18 ч, в темное время суток усиливается деструкция, а за сутки получают среднюю величину. Однако при некоторых условиях время экспозиции приходится значительно

уменьшать (до 2-4 ч). Такая более короткая экспозиция применяется в случае «цветения» воды, когда вследствие интенсивного фотосинтеза водорослей реакция среды смещается в щелочную сторону, падает содержание биогенных элементов, из-за этого фотосинтетическая активность фитопланктона уменьшается и начинают преобладать процессы деструкции.

Значительные методические трудности могут возникать при определении первичной продукции, в условиях массового развития синезеленых водорослей – таких как *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flosaquae*. Последний вид в условиях замкнутых склянок (и даже в открытых сосудах) очень быстро поддается лизису, при этом поглощается кислород и усиливается деструкция. Кроме того, обе эти водоросли выделяют токсичные метаболиты, вызывающие самоотравление. Если в планктоне много мертвых клеток и колоний, то в прозрачных склянках может преобладать поглощение кислорода. Поэтому перед началом экспозиции необходимо проверить соотношение живых и мертвых клеток в пробе с помощью люминесцентного микроскопа (живые клетки светятся красным цветом, мертвые – зеленым).

Наоборот, при очень активном фотосинтезе и накоплении кислорода в газовых вакуолях, клетки водорослей могут всплывать на поверхность воды и забиваться в щели между горловиной склянки и пробкой, а вокруг клеток образуются пузырьки кислорода. Чрезмерное выделение кислорода приводит к тому, что значительная его часть переходит в газовую фазу, и в конечном итоге формируется большой газовый пузырь, в который диффундирует весь вновь образованный кислород (так называемая физическая жабра). При открытии склянки этот кислород мгновенно выделяется в воздух и поэтому не может быть учтен при окончательном определении, что является причиной довольно значительных ошибок.

При обычных уровнях концентрации фитопланктона и отсутствии «синезеленого цветения» такие погрешности не возникают.

На основании показателей продукции и деструкции рассчитывают A/R – отношение валовой продукции к деструкции. При наличии данных о биомассе определяют A/V (валовую удельную продукционную способность водорослей) или P/V , где P – чистая первичная продукция водорослей. Все эти показатели имеют большое значение при расчете продуктивности водоемов, а при перерасчете на энергетические единицы – для общей оценки энергоемкости водной экосистемы.

Первичная продукция фитобентоса и эпифитных сообществ водорослей измеряется аналогично продукции фитопланктона, с тем отличием, что окончательные расчеты для фитобентоса выполняются на единицу площади в миллиграммах кислорода на 10 см^2 в сутки или в граммах кислорода на 1 м^2 в сутки, а для эпифитных сообществ водорослей – на единицу массы высших водных растений (мг O_2 на 1 г сырой или сухой массы растений в сутки).

Первичная продукция высших водных растений определяется по наибольшей для всего вегетационного периода фитомассе. Чтобы учесть опадание листьев и отмирание некоторых частей на протяжении вегетации, вводится коэффициент – надбавка к максимальной фитомассе, для большинства растений он принимается равным 1,2.

Для определения продукции высших водных растений собирают и взвешивают их надземную массу с участков площадью 0,25, 0,5 или 1 м^2 (для плавающих растений – 4 м^2). Абсолютно сухую массу из таких проб получают после высушивания в сушильном шкафу при температуре от 60 до $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Чтобы определить продукцию (выделение и поглощение кислорода высшими водными растениями, в частности для оценки их роли в кислородном балансе водных экосистем), используют скляночный метод в кислородной модификации.

Для этого фрагменты растений помещают в светлые (прозрачные) и темные склянки с широкой горловиной, заполняют их водой, взятой из зоны зарослей, и экспонируют на соответствующей глубине. Можно также использовать склянки (цилиндры, колбы и т. П.), закрывающиеся герметически с помощью специальных устройств, надевая их на неотделенные части растений непосредственно в водоеме. Учитывая большой объем

фитомассы, продолжительность экспозиции можно сократить (2-4 ч). После окончания экспозиции и удаления растений в склянках определяют концентрацию кислорода. Установив массу каждого растения, экспонированного в склянках, рассчитывают продукцию, исходя из количества образованного ими кислорода. Зная удельную продукцию растения, а также общую массу зарослей, для которых оценена удельная продукция, рассчитывают продукцию на общей площади.

Учитывая, что в воде, взятой из зарослей макрофитов, есть и водоросли, определяют также и их продукцию. С этой целью склянки (прозрачные и темные) параллельно заполняются водой, взятой из зарослей, для определения продукции и деструкции фитопланктона. Обычно во всех экспериментах определяется начальная (контрольная) концентрация кислорода в воде в зоне зарослей.

2. Вторичная продукция. Важной характеристикой водных экосистем является вторичная продукция, или продукция популяций водных животных. К ней относится продукция гетеротрофных организмов, питающихся готовыми органическими веществами, то есть продукция организмов второго и последующих трофических уровней. Кроме водных животных к таким организмам относятся также бактерии и грибы. Вторичная продукция включает прирост соматических и генеративных тканей, экскреты, отчужденные элементы тела (слущенный эпителий, слизистые покрытия и т. Д.). Исходя из этого, вторичную продукцию можно рассматривать как итог ассимиляции кормовых продуктов в процессе энергетического обмена.

Единицы выражения вторичной продукции. Вторичную продукцию рассчитывают на единицу площади или объема за те или иные сроки. Ее величину выражают в единицах: сырой или сухой массы, в единицах энергии, в количестве образующихся белков, жиров, углеводов.

Производительность популяции водных животных зависит как от условий существования, так и от ее размерно-возрастной структуры. По этим показателям популяции подразделяются на ряд типов. Так, к моноциклическим относятся популяции гидробионтов с коротким периодом развития, рождающихся практически одновременно. Моноциклическими являются, в частности, популяции веслоногих ракообразных (Copepoda). Второй тип – популяции, в которых одновременно присутствуют особи различных возрастных групп. Это, например, популяции крупных двухстворчатых моллюсков, большинства видов рыб, у которых довольно продолжительный период развития и очень короткий период размножения. В таких популяциях в стадии половой зрелости находится одновременно несколько поколений, что делает их возрастную структуру достаточно разнообразной.

Третью группу составляют популяции ветвистоусых планктонных ракообразных и некоторых других видов, которые размножаются непрерывно на протяжении всего вегетационного периода. Такие популяции при переходе от одной стадии развития к другой не теряют биомассу в результате элиминации, а наоборот, она возрастает вследствие перехода молоди в старшую группу.

К четвертой группе относятся популяции видов, характеризующихся непрерывным полициклическим размножением и коротким периодом индивидуального развития (коловратки, простейшие, бактерии). Например, для большинства представителей класса Rotatoria продолжительность жизни составляет 5-10 суток. Такие коловратки, как *Brachionus calyciflorus*, *B. Rubens* и некоторые другие откладывают довольно большие по размеру яйца уже через сутки после рождения.

Деление популяций водных животных на 4 типа имеет существенное значение при выборе методов расчета скорости образования продукции популяции.

В континентальных водоемах, уровень вторичного продуцирования заметно выше, чем в Мировом океане, что связано с более высокой первичной продуктивностью, поступлением значительных количеств аллахтонной органики.

Методы определения вторичной продукции. Вторичную продукцию, или накопление биомассы (энергии) на уровне консументов, определяют несколькими методами: 1) по увеличению биомассы (плюс биомасса изъятия, или элиминации) за определенный промежуток времени в расчете на единицу объема воды или площади дна; 2) по

интенсивности газообмена (при параболическом типе роста гидробионтов); 3) по динамике суточного прироста особей одного размера с учетом их биомассы, численности и средних размеров. 4) суточная продукция бактерий и других гидробионтов, которые размножаются делением надвое, определяется по скорости размножения с учетом средней численности популяции.

Рассмотрим некоторые из упомянутых методов расчета вторичной продукции.

I. Так, для **популяций бентосных животных** (моллюски, хирономиды и др.), у которых показатели роста особей являются линейной функцией возраста, пользуются формулой Бойсен-Йенсена: $P = V_e + V_2 - V_1$, где P – продукция; V_e – элиминированная биомасса, которая равна производной величине от численности погибших особей и их средней биомассы; V_1 и V_2 – биомасса в начале и в конце периода наблюдений.

Этот метод позволяет рассчитывать продукцию популяций видов водных животных, у которых можно различать отдельные поколения или когорты. Например, если нужно рассчитать продуктивность популяции *Calanus finmarchicus* за год, учитывается снижение численности каждого поколения в ней. При этом масса элиминации определяется по уменьшению численности особей за год и средней биомассе каждой из элиминированных особей. В тех же случаях, когда имеющаяся биомасса за расчетное время не изменяется, считается, что продукция популяции равняется элиминации.

II. Для определения **продуктивности популяций с полициклическим типом размножения** пользуются методом, базирующимся на данных о росте особей, их скорости размножения и возрастной структуре популяций. Он перспективен при расчетах продуктивности популяций планктонных ракообразных (разных типах дафний). Согласно этому методу суммарную продукцию P за конкретный период времени можно рассчитать по формуле:

$P = P_s + P_g$, где

P_s – соматическая продукция, P_g – продукция за счет размножения.

Соматическая составляющая продукции определяется показателями роста организмов, входящих в популяцию. Связь между линейными размерами и массой организмов выражается уравнением:

$W = qL^b$, где

W – масса животного, мг сырой массы; q – константа, равняющаяся массе гидробионта при длине тела 1 мм; L – линейный размер; b – показатель формы тела. Когда показатель роста водных животных не связан с изменением формы тела, b – равен 3.

Величина генеративного роста, связанного с размножением, определяется по формуле:

$P_g = NFq/D$, где

N – численность размножающихся самок; F – количество яиц в одной кладке; q – масса одного яйца, мг; D – продолжительность развития яйца, сутки.

III. Для определения продукции по скорости размножения с учетом средней численности популяции используются данные по динамике численности, причем для всех особей принимается некоторая средняя масса. Этот метод часто используется для **определения продукции организмов, размножающихся делением надвое (бактерии)**:

$P = 0,693nB$, где

P – суточная продукция, n – число генераций в сутки, B – исходная (начальная) биомасса.

3. Загрязнение водоемов

Проблемы чистой воды и охраны водных экосистем становятся все более острыми по мере исторического развития общества, стремительного увеличения его воздействия на природу, вызванного научно-технической революцией.

Уже сейчас во многих районах земного шара наблюдаются большие трудности в обеспечении водопотребления (питьевое и техническое водоснабжение, орошение и др.) и водопользования (рекреация, навигация,

энергетика и др.) вследствие количественного и качественного истощения водных ресурсов, что связано с загрязнением водоемов и забором из них больших объемов воды. Огромны по своим масштабам последствия гидростроительства (зарегулирование, переброска части стока рек и др.), ведущегося в интересах энергетики, орошения земель, навигации и в других целях.

Загрязнение водоемов в наибольшей степени связано со сбросом в них промышленных, сельскохозяйственных и бытовых стоков, с попаданием загрязняющих веществ из атмосферы, а также деятельностью человека на самих водоемах (судоходство, транспорт нефти, подводное бурение, лесосплав и др.). Во многих водоемах загрязнение настолько велико, что привело к полной деградации их как источников водоснабжения, рыбохозяйственных угодий, зон рекреации или в ином отношении, отрицательно сказывающемся на ресурсной ценности гидроэкосистем.

Ресурсная деградация водоемов часто вызывается их *антропогенной эвтрофикацией* (повышением уровня трофии), сопровождающейся нарушением баланса веществ в экосистеме. В результате такой эвтрофикации, как правило, связанной с избыточным поступлением в водоемы биогенов, первичная продукция начинает резко превалировать над деструкцией, аэробные процессы все больше заменяются анаэробными, питьевые и гигиенические качества воды снижаются, ухудшается санитарное и рекреационное состояние водоемов.

Значительное влияние на ресурсную ценность водоемов оказывает их *термофикация* (отепление). Обычно она связана со сбросом в водоемы подогретых вод из охлаждающих контуров тепловых и атомных электростанций. Термофикация вызывает ряд существенных сдвигов в структуре и функциях гидроэкосистем и часто становится фактором, усиливающим проявление антропогенной эвтрофикации. Вместе с тем отепление водоемов создает новые возможности их рыбохозяйственного освоения и использования в других отношениях.

Небольшое количество загрязняющих веществ не всегда вызывает ухудшение состояния водоемов, так как они обладают свойством *биологического самоочищения* той или иной мощности. За счет минерализации органических веществ, разрушения различных токсических соединений и ряда других процессов гидробиоценозы способны кондиционировать среду, препятствуя ее отклонениям от нормы. Эту особенность биоценозов широко используют при организации очистки сточных и питьевых вод.

Водопотребление и водопользование часто осложняются биологическими помехами. Заращение каналов снижает их пропускную способность, цветение водорослей ухудшает качество воды, ее санитарное состояние и осложняет организацию питьевого водоснабжения. Обрастание создает помехи в навигации и при эксплуатации гидротехнических сооружений. Многие гидробионты патогенны для человека и домашних животных или вредны в других отношениях. Поэтому разработка мер борьбы с биологическими помехами приобретает большое практическое значение и становится одной из серьезных задач гидробиологии.

Загрязнение, эвтрофикация и термофикация водоемов, забор из них больших объемов воды и многие последствия гидростроительства отражаются не только на водопотреблении и водопользовании, но и на биосферной роли водных экосистем. Изменяясь, они уже не обеспечивают тот вклад в биосферу, который обуславливал ее становление и эволюцию. Создается угроза нарушения экологического равновесия в природе, опасность которого трудно переоценить. Поэтому перед человечеством встает грандиозная задача охраны гидросферы — оптимизация ее состояния в интересах водопотребления, водопользования и сохранения экологического равновесия в биосфере. Следовательно, охрана гидросферы — не сохранение ее в исходном состоянии, не уменьшение использования водоемов, а преобразование их как элементов природной среды человека с перспективой на временную бесконечность природопользования.

Под загрязнением водоемов понимается ухудшение их экономического значения и биосферных функций в результате антропогенного поступления в них вредных веществ. Экологическое действие загрязняющих веществ проявляется на организменном, популяционном, биоценотическом и экосистемном уровнях.

На организменном уровне наблюдаются нарушение отдельных физиологических функций, изменение поведения, снижение темпа роста, увеличение смертности вследствие прямого отравления или уменьшения устойчивости к стрессовым состояниям внешней среды. Большое значение имеет изменение наследственности особей — повреждение их генетического аппарата и трансформации исходного генофонда.

На уровне популяций загрязнение может вызывать изменение их численности и биомассы, рождаемости и смертности, половой и размерной структуры, типа динамики и ряда функциональных свойств. К этому следует добавить хаотизацию внутривидовых отношений, вызываемую изменением поведения особей и искажением языка химических сигналов, играющих огромную роль в коммуникации особей.

На биоценотическом уровне загрязнение сказывается на структуре и функциях сообщества, поскольку одни и те же загрязняющие вещества неодинаково влияют на разные компоненты биоценоза. Например, жгутиковые водоросли устойчивее диатомовых к нефтяному загрязнению, и оно существенно изменяет видовую структуру микропланктона (Curds, 1982). Под влиянием токсических веществ изменяется экологическая структура сообществ, цепи разложения начинают преобладать над пастбищными, анаэробные процессы над аэробными, деструкция над продукцией. В конечном счете происходит *деградация экосистем* — ухудшение их как элементов среды человека и снижение положительной роли в формировании биосферы, обеднение в хозяйственном отношении (замена ценных видов бесполезными, появление вредных видов и др.).

Каждый из токсикантов обладает определенным *механизмом действия* (пути воздействия загрязнителя на клетки, ткани, органы и организмы в целом) и обуславливает специфический *механизм реагирования* — ответные реакции на изменения, вызванные загрязнителем. Гидробионты, их популяции и

гидробиоценозы обнаруживают разную *чувствительность и устойчивость* к токсикантам. Под чувствительностью понимают способность реагировать на минимальные концентрации токсикантов, под устойчивостью — способность выносить без ущерба для себя ту или иную степень загрязнения среды. Наиболее важный критерий устойчивости — сохранение уровня естественного воспроизводства, включая сохранение качества потомства в ряде поколений. Чувствительность гидробионтов к действию одного и того же токсиканта может различаться в тысячи раз. То же самое относится и к устойчивости.

При одновременном действии на гидробионтов нескольких токсикантов влияние каждого из них может быть независимым, и тогда имеет место эффект *аддитивности* (слагаемости) конечных результатов. В других случаях может наблюдаться *синергизм* («тверхаддитивность»), когда суммарный эффект выше суммы отдельных воздействий, или *антагонизм*, если результат совместного действия ниже аддитивного. Сила воздействия отравляющих веществ наиболее часто оценивается концентрацией или дозой токсиканта, вызывающих гибель половины особей (обозначаются соответственно CL_{50} и DL_{50}). При этом учитывают время воздействия токсиканта: чем дольше организмы испытывают действие яда, тем ниже его концентрация, вызывающая отравление. Например, после четырех дней пребывания карасей в воде с концентрацией фенола - 25 мг/л у рыб обнаруживался ряд симптомов отравления, но без летального исхода, через 10 дней наблюдалась гибель всех особей. Помимо летальной концентрации токсиканта различают *пороговую* - ту минимальную, которая вызывает какие-либо патологические сдвиги в любой отдельно взятой функциональной системе организма; это определение можно распространить также на популяции и биоценозы.

Для многих гидробионтов характерен *кумулятивный* эффект — накопление в организме токсиканта, когда скорость "его" поступления в тело выше, чем скорость выведения из него. Накапливая ядовитое вещество, организмы начинают страдать от него даже тогда, когда концентрация токсиканта в воде сравнительно невелика (ниже пороговой). Помимо этого, концентрируя в себе ядовитые вещества, гидробионты сами становятся токсически опасными. *Коэффициенты накопления*, или *коэффициенты концентрации* (отношение концентрации токсиканта в организме к таковой в воде), иногда выражаются астрономическими цифрами. Например, коэффициент накопления кобальта в теле *Lamascina* достигает $4 \cdot 10^{13}$, а кадмия — $14 \cdot 10^{15}$ (Крепс, 1959). Огромные количества мышьяка — до 2 мг, а в пальпах и жабрах — до 13 мг/г сухой массы накапливают обитающие у побережья Великобритании полихеты *Tharix marioni*; небезынтересно, что другие полихеты, встречающиеся совместно с *T. marioni*, содержат мышьяка в десятки раз меньше.

Обнаружено, что многие моллюски энергично накапливают цинк и медь, медузы — цинк, радиолярии — стронций, асцидии — ванадий, морские водоросли — йод, бром и алюминий. Ксенофиофоры — единственная группа животных, у которых в значительных количествах встречаются кристаллы барита — сульфата бария (Gooday, Nott, 1982). Среди металлов и их радиоизотопов низкие коэффициенты аккумуляции в организме (10^2 — 10^3)

характерны для щелочных и щелочно-земельных элементов, в том числе Sr-90 и Sr-137, средние (10^3 — 10^4) для Ce, Ru, Zr, Ni, высокие (10^4 — 10^5) для Fe, Mn, Cu, Zn и др. (Патин, 1977). В ряде случаев наблюдается нарастание концентрации токсикантов в организмах последующих трофических уравнилий — так называемый эффект пищевой цепи. Например, с липофильными свойствами метилированной ртути и ее способностью образовывать прочные комплексы с белками связано «ртутное загрязнение» тунцов — одного из верхних звеньев трофической цепи в океане. Эффект пищевой цепи характерен также для хлорорганических соединений (ДДТ и др.) и некоторых других токсикантов. Прослеживается обратная корреляция между размерами организмов и коэффициентами накопления ими токсикантов. В значительной мере это связано с увеличением относительной поверхности при уменьшении организмов (больше адсорбирующая площадь).

Из загрязняющих веществ наибольшее значение для водных экосистем имеют нефть и продукты ее переработки, пестициды, соединения тяжелых металлов, детергенты, антисептики. Чрезвычайно опасным стало загрязнение водоемов различными продуктами радиоактивного распада — *радионуклидами*, или *радиоизотопами*. Все большую озабоченность вызывает ацидификация пресных водоемов в результате выпадения «кислых дождей», когда в атмосферной влаге растворяются сернистый газ и некоторые другие вещества, выбрасываемые в воздух различными промышленными предприятиями. Значительную роль в загрязнении водоемов играют бытовые стоки, лесосплав, отходы деревообрабатывающей промышленности, пластики и многие другие загрязнения, не относящиеся к токсическим, но ухудшающие среду гидробионтов (снижение концентрации кислорода, уменьшение прозрачности воды, выпадение взвеси на дно и др.).

Радионуклиды. В водоемах наиболее опасны для гидробионтов и часто встречаются радиоизотопы стронция, иттрия, цезия, циркония, ниобия. Поверхность водоема представляет собой более эффективный коллектор радиоактивных аэрозолей, чем суша, причем особенно много радионуклидов накапливается в самом поверхностном слое. Так, в пене водохранилищ, исследованных в 1957 г., концентрация радиоизотопов доходила до 370 мБк/л, а в воде — 185 мБк/л. В 1965—1966 гг. в северо-восточной, западной и центральной частях Тихого океана концентрация стронция-90 в поверхностных водах соответственно равнялась 11,1—22,2, 7,4—11,1, 2,9—5,5 мБк/л, а на глубинах 500, 1000 и 1500 м изменялась в пределах 0,55—1,4 мБк/л. Среднее содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в пелагиали Мирового океана достигает соответственно 2,4—7,4, 2,96—11,1 мБк/л.

В грунте водоемов концентрации многих радионуклидов (церия-95, цезия-144 и др.) в десятки раз выше, чем в воде, вследствие их адсорбции на поверхности минеральных и органических частиц. Поэтому гидробионты, ведущие донный или придонный образ жизни, страдают от радиоактивных загрязнений больше, чем пелагические. В зависимости от интенсивности облучения ионизирующая радиация может оказывать на гидробионтов стимулирующее, угнетающее или летальное воздействие. Например, длительное облучение предличинок чавычи γ -лучами в дозе 5 мГр в день

ускоряло их рост, большее — вызывало различные нарушения. У парамеций родов *Caudatum* и *Aurelia*, изолированных от действия естественной радиации (помещались в толстостенные свинцовые цилиндры), численность популяций через 2—6 дней снижалась вдвое и восстанавливалась до исходных величин, когда культуры облучались ^{60}Co до уровня естественного фона.

Как правило, радиочувствительность с повышением уровня организации гидробионтов возрастает. Наиболее выносливы бактерии; некоторые из них (например, *Pseudomonas*) живут в воде, охлаждающей атомные реакторы при величине облучения до 1 млн. рентген. Растения обычно устойчивее животных. Доза радиации, вызывающая гибель 50% облученных организмов за 30 дней ($\text{LD}_{50/30}$), для водных растений обычно равна 0,1—5 кГр, для беспозвоночных — 0,01—2 кГр, для рыб — 5—40 Гр, для млекопитающих — 2—5 Гр. Есть данные, что при высоких температурах радиочувствительность рыб возрастает.

Наблюдается известная избирательность в накоплении отдельных радиоизотопов различными гидробионтами. Например, цезий-137 наиболее энергично накапливают бурые и красные водоросли, стронций-90 — радиолярии, бурые водоросли и кости рыб, радиоизотопы иттрия — ракообразные и икра рыб, церий-114 — актинии. Часто отмечается характерная локализация отдельных радионуклидов в различных тканях. Так, радиоактивные стронций и кальций накапливаются преимущественно (до 90%) в скелете, це-зий-137 — главным образом в мышцах и мягких тканях, кобальт-60 — в печени и почках.

Нефть. Загрязнение водоемов нефтью и различными продуктами ее переработки (бензин, керосин, соляровое масло, мазут и др.) происходит главным образом при транспортировке жидкого топлива и повреждениях нефтепроводов, работе флота, подводных бурениях нефтяных скважин, в результате сбросов стоков нефтеперерабатывающих предприятий, смыва нефтепродуктов, загрязняющих сушу.

Среднее содержание нефти в пелагиали Мирового океана достигает 10—20 мкг/л. Заметно выше оно в континентальных водоемах. Особую форму нефтяного загрязнения представляют мелкие комочки, в огромном количестве плавающие в толще воды. Комочки становятся субстратом, на котором обильно поселяются бактерии, простейшие и другие организмы, образующие своеобразное перифитонное сообщество.

Образуя на поверхности воды пленку, нефть нарушает дыхание гидробионтов, так как препятствует проникновению кислорода в толщу воды. Растворяющиеся в воде фракции нефти остро токсичны для подавляющего большинства гидробионтов. Опускающиеся на дно тяжелые фракции склеивают частицы грунта. При сильном загрязнении образуются зоны, практически лишенные жизни, если не считать развивающихся здесь в большом количестве нефтеокисляющих бактерий.

Нефть оказывает токсическое действие на фитопланктон в концентрациях 10^{-3} — 10^{-8} (замедление или прекращение деления клеток, снижение первичной продукции). В хронических опытах (70 дней) первичная продукция морского фитопланктона при концентрации нефтепродуктов 0,05—0,5 мг/л снижалась на 50%.

Низшие ракообразные начинают гибнуть при концентрации нефти и ее продуктов около 10^{-6} мг/л, такова же степень устойчивости икры рыб. Личинки рыб примерно на порядок устойчивее икры, взрослые рыбы выдерживают еще более высокие концентрации. Сравнительно устойчивы к нефтяному загрязнению многие донные животные (мидии, мраморные крабы, раки-отшельники и др.), выдерживающие концентрации до 10^{-3} — 10^{-4} мг/л. Мраморные крабы не покидают прибрежных районов, загрязненных нефтью, хотя, вылезая на выступающие из воды камни, многократно проходят через нефтяную пленку. Мидии, фильтруя морскую воду, освобождают ее от эмульгированной нефти, переводя последнюю в комочки псевдофекалий (Миронов, 1976). Донные растения выдерживают концентрации нефти порядка 10^{-5} — 10^{-4} мг/л. Примерно та же устойчивость к нефтяному загрязнению у простейших, выносящих концентрации порядка 10^{-5} мг/л.

Острая токсичность нефти и ее продуктов связана с тем, что углеводороды легко смачивают поверхность гидробионтов и, проникая внутрь, растворяют липоидные фракции клеточных оболочек и мембран, разрыхляют их, изменяют их проницаемость. Разрушая липо-протеидные комплексы, входящие в состав клеток, углеводороды изменяют физико-химическое состояние цитоплазмы и нарушают упорядоченность биохимических процессов. Имеются данные о резком воздействии нефти и ее продуктов на генетический аппарат гидробионтов, в частности на содержание в клетках РНК и ДНК. Уменьшение содержания ДНК и РНК у большинства водорослей, вероятно, связано с подавлением биосинтеза нуклеиновых кислот. Влияние нефтяного загрязнения на содержание ДНК и РНК отмечено и для беспозвоночных.

Пестициды. К пестицидам относят многие тысячи химических препаратов, синтезированных для борьбы с вредными животными и растениями. По назначению их подразделяют на инсектициды, акарициды, нематоциды, моллюскоциды, ихтиоциды, альгициды, гербициды и некоторые другие. По химическому составу различают хлорорганические (ДДТ, гексахлоран, альдрин, эндрин и др.) и фосфорорганические (метафос, хлорофос, карбофос), соединения — производные симм-триазина (атразин, симазин), мочевины (монурон, днурон), карбоновых кислот (трихлорацетат) и ряд других соединений. Хлорорганические пестициды малорастворимы в воде и хорошо в жирах, липидах, восках и потому накапливаются в жировой ткани, печени, почках и мозге водных животных. Период полураспада этих пестицидов более 10 лет. Попадая в организм, они долго удерживаются в нем. Фосфорорганические пестициды в организмах не накапливаются, быстро разлагаясь под действием внутриклеточных эстераз.

Пестициды попадают в водоемы с поверхностным стоком, из атмосферы, особенно при опылении полей с самолетов с большей высоты и в ветреную погоду, при обработке водоемов различными препаратами с целью уничтожения вредных гидробионтов и другими путями. В настоящее время ежегодное мировое производство пестицидов достигает более 2 млрд. т, и значительная часть их попадает в водоемы. Пестициды, главным образом хлорорганические, обнаружены у гидробионтов почти всех исследованных

водоемов, как морских, так и пресных. Среднее содержание пестицидов в пелагиали Мирового океана достигает 10—20 нг/л. Заметно выше оно в континентальных водоемах.

Из отдельных пестицидов особенно опасны хлорорганические соединения из-за их устойчивости и разнообразных эффектов воздействия (токсический, мутагенный, канцерогенный). Нельзя не упомянуть, что в настоящее время применение наиболее распространенного хлорорганического препарата ДДТ, за синтез которого П. Мюллеру в 1948 г. была присуждена Нобелевская премия, во многих странах, в том числе и в СССР, запрещено законом. Летальная концентрация ($ЛК_{50}$) ДДТ для отдельных видов лежит в пределах 2—20 мкг/л. Для карбофоса применительно к тем же видам $ЛК_{50}$ равна 0,1—10 мг/л., т. е. примерно в 100 раз выше. Сходная величина летальной концентрации наблюдалась для препарата байтокс (0,9—3 мг/л), более высокая — для препарата линдан (2—75 мкг/л).

Рыбы эвтрофных водоемов устойчивее к действию пестицидов, чем представители ихтиофауны более холодных и чистых вод. Например, летальная концентрация ДДТ для карася, карпа и кумжи соответственно равна 20, 10 и 2 мкг/л.

Заметно чувствительнее к действию пестицидов беспозвоночные. Например, для высших ракообразных $ЛК_{50}$ карбофоса лежит в пределах 3—250, а для рыб равна 170—12 900 мкг/л. Для линдана соответствующие концентрации составляют 12—62 и 20—90 мкг/л, для байтекса — 15 и 930—3400 мкг/л.

Фотосинтез фитопланктона угнетается на 75—95% при концентрации хлорорганических соединений 1—10 мкг/л, для зоопланктона они токсичны в дозах порядка 10 мкг/л. Хлорорганические пестициды хорошо растворяются в нефти и ее продуктах, загрязняющих воду, вследствие чего становятся еще более опасными.

Заметно токсичнее хлорорганических фосфорорганические пестициды. Например, ветвистоусые рачки полностью погибают после суточного содержания в воде с концентрацией байтекса, дихлорофоса, карбофоса и метилнитрофоса соответственно 0,1, 0,1, 100 и 500 мкг/л. Не столь токсичны, но тем не менее крайне опасны производные симм-триазины, мочевины и карбоновых кислот. Например, препараты монурон, диурон, атразин и трихлорацетат ядовиты для дафний в концентрациях 1—10 мг/л, приблизительно в тех же концентрациях они токсичны для протококковых и нитчатых водорослей. С повышением температуры токсический эффект пестицидов возрастает.

Внутри организмов пестициды в основном попадают через истонченные поверхности, в частности через жабры и другие органы дыхания. Механизм действия различных пестицидов в зависимости от их химической природы крайне многообразен: угнетение фотосинтеза растений и дыхания животных в результате блокирования реакций с переносом электронов, нарушение обмена через мембраны, ингибирование синтеза белка и хитина, нарушение функций нервной системы.

При воздействии пестицидов на гидробионты наблюдается характерная фазность; после возбуждения следуют депрессия и гибель.

Тяжелые металлы и другие вещества. Среди тяжелых металлов наибольшую роль в загрязнении водоемов играют ртуть, свинец, олово, кадмий, хром, медь, цинк. Попадают они в водоемы с промышленными стоками, из атмосферы (например, свинец выхлопных газов автомобилей), из лакокрасочных покрытий, защищающих суда от обрастания, и некоторыми другими путями. Токсичность отдельных соединений сильно колеблется и неодинакова для разных гидробионтов. Например, *Daphnia hyalina* более чувствительна к стронцию и цинку и менее — к никелю. *Cyclops abyssorum* резистентнее к перечисленным металлам, чем дафнии. Ртуть остроотоксична для многих гидробионтов в концентрациях свыше 1 мкг/л, свинец — при содержании более 0,1 мкг/л, кадмий — при 1 мг/л. Например, в трехдневных опытах с эмбрионами моллюска *Mercenaria mercenaria* ЛК₅₀ HgCl₂, Pb(NO₃)₂, NiCl₂, AgNO₃ и ZnCl₂ составляла по металлу соответственно 5, 800, 300, 20 и 160 мкг/л. Для краба *Eurypanopeus depressus* ЛК₅₀ хлористого кадмия равнялось 4,9 мг/л. Оловоорганические соединения вызывают полную гибель (ЛК₁₀₀) водорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda*, ряски и элодеи в концентрации 0,5 мг/л; значительно токсичнее они для животных, вызывая полную гибель рачков дафний, личинок насекомых и рыб (тиляпий) соответственно в концентрациях 10, 250 и 50 мкг/л (Филенко, 1975).

В организм водных животных металлы попадают в основном с пищей; меньшее значение имеет непосредственное проникновение через поверхность тела — путь, характерный для водных растений. Токсичность металлов зависит не только от их концентрации и продолжительности действия. Большую роль играют температура, насыщенность воды кислородом, синергизм и антагонизм ионов, жесткость воды и другие факторы.

Наиболее опасное действие тяжелых металлов — отравление системы ферментов. Например, ртуть, медь и серебро, имея высокое сродство с амино- и сульфогидрильными группами, блокируют многие реакции. Цинк уже в концентрации 0,065 мг/л ингибирует фосфорилирующее дыхание. Опасность тяжелых металлов как загрязнителей усугубляется тем, что они устойчивы к разрушению в течение многих лет, быстро накапливаются в гидробионтах и, обладая в сульфидной форме большой стабильностью, очень медленно выводятся из организмов.

Существенное экологическое значение для гидробионтов имеет загрязнение водоемов детергентами — синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ), антисептиками, фенолами, солями серной и других кислот, отходами деревообрабатывающей, целлюлозной и бумажной промышленности, химических и металлургических предприятий и многими другими веществами. Например, катионные, анионные и неионные детергенты вызывают полную гибель бокоплавов и многих рыб в концентрациях свыше 0,5—25 мг/л; в меньших дозах они задерживают рост и развитие гидробионтов, ухудшают усвоение пищи, ингибируют функции хеморецепторов. У водорослей СПАВ в сублетальных концентрациях нарушают подвижность половых клеток и спорообразование. Большие количества детергентов

попадают в водоемы с промышленными и бытовыми стоками, при обработке (эмульгировании) нефтяных скоплений в водоемах. Средняя концентрация СПАВ в Атлантическом океане достигает 27—30 мкг/л на поверхности и 8—9 мкг/л на глубине 500 м (Симонов, 1981).

Крайне токсичны для гидробионтов многочисленные антисептики, находящие применение в разных отраслях промышленности. Например, пантахлорфенолят и салициланилид, используемые в целлюлозно-бумажной промышленности, вызывают нарушения в эмбриональном развитии ряда костистых рыб в концентрациях выше 0,01—0,1 мг/л (Данильченко, Строганов, 1973). Примерно столь же токсичны фенолы, ядовитые для рыб в концентрации выше 3—10 мг/л. Растения устойчивее к действию фенолов и снижают интенсивность фотосинтеза с повышением их концентрации до 0,1—2 мг/л. В токсичных концентрациях фенолы блокируют у животных нервно-мышечную проводимость в синапсах, что приводит к полному торможению двигательных реакций.

В последнее время во все больших количествах выпадают «кислые осадки», образующиеся вследствие промышленного выброса в атмосферу различных газов, особенно содержащих SO_2 и NO_x . В кислых осадках, помимо оксидов серы (до 60%) и азота (до 30—50%), содержатся Cu, Cd, Pb, Ca, Mg и другие крайне токсичные компоненты, pH снижен до 4—5. Из-за кислых осадков в водоемах утрачивается бикарбонатная забуференность, уменьшается и резко колеблется pH, повышается концентрация ряда катионов, бикарбонаты замещаются сульфатами и наблюдаются другие сдвиги в гидрохимическом режиме. В закисленных водоемах резко обедняется планктон, исчезают рыбы. Например, в озерах Швеции с pH 7 встречается 60—70 видов водорослей, а при pH 4,1—4,5 — только 8—10 форм. Численность зоопланктонтов сокращается в 8—16 раз. В Канаде выявлено более 140 озер, лишенных рыбы вследствие ацидификации, в Адирондаке (США) — 212 (Muniz, 1981). Полностью погибла ихтиофауна в 107 ацидифицированных реках Пенсильвании (США), в сотнях озер Южной Норвегии. В штате Мэн (США) pH многих озер за последние 30—40 лет снизился в среднем с 7 до 6,5.

Крайне токсичны поступающие в водоемы с промышленными стоками соединения мышьяка, фенолы, цианистые соединения. Их летальные для гидробионтов концентрации примерно те же, что и для тяжелых металлов. Отходы бумажной и деревообрабатывающей промышленности, помимо химического воздействия, оседая на дно, делают его безжизненным вследствие захоронения бентосных организмов и ухудшения кислородного режима. Глобальный характер приняло в настоящее время загрязнение вод чрезвычайно медленно разлагающимися пластиками. Они составляют 2/3 всех всех объектов, дрейфующих на поверхности океанов и выбрасываемых на берег (Winston, 1982). Многие животные, заглатывая пластики, погибают. Ряд организмов — водоросли, гидроиды, мшанки, полихеты и др. — используют пластики в качестве субстрата для прикрепления. Ряд бентонтов, в частности полихеты, строят из пластмассовых частиц трубки.

Помимо токсических, в водоемы попадает огромное количество других веществ, которые резко ухудшают качество воды, санитарное состояние

водоемов и нарушают структуру их биоценозов. Сюда относятся коммунальные сточные воды, стоки животноводческих ферм и комплексов, поступление органических веществ с отходами деревообрабатывающей промышленности и некоторыми другими. Не оказывая непосредственного токсического действия на гидробионтов, они ухудшают газовый режим водоемов и многие другие условия существования водных организмов, обуславливают изменение фауны и флоры, кардинальные сдвиги в структуре и функциях гидробиоценозов. В последнее время все возрастающее экологическое значение начинают приобретать рекреационные загрязнения. Водоемы часто используют в качестве зон отдыха без учета их самоочистительного потенциала.

Все большее влияние начинает оказывать на гидробиоценозы добыча полезных ископаемых и строительных материалов в водоемах, в частности бурение на нефть и газ, сейсморазведка, сбор железо-марганцевых конкреций, изъятие значительных количеств леска и гравия, землечерпательные работы. В последние годы внимание привлечено к проблеме неионизирующей радиации, особенно к «электромагнитному загрязнению», значение которого для гидробионтов, несомненно, существенно, но пока еще мало исследовано. Более изучено действие «шумового загрязнения», создаваемого, в частности, маломерным флотом. Например, креветки *Grangon crangon*, выращиваемые при уровне шума 30 дБ с диапазоном частот 25—400 Гц, по сравнению с контролем заметно снижали интенсивность питания и скорость роста, как это наблюдается при других стрессорных реакциях.

Антропогенная эвтрофикация и термофикация водоемов

В понятие «антропогенная эвтрофикация» разные исследователи вкладывают неодинаковый смысл. Наиболее часто под нею подразумевают связанное с деятельностью человека повышение уровня трофического водоемов, возникающее при некоторых условиях в результате избыточного поступления в них биогенов (азота, фосфора) и сопровождающееся характерным комплексом изменения экосистем. Наиболее существенные из них — ухудшение кислородного режима, возникновение и усиление контрастности полойного распределения биохимических процессов с обособлением верхней трофической области и глубоководной трофической; соответствующим образом распределяются окислительно-восстановительные условия и наиболее связанные с химическими реакциями концентрации кислорода, карбонатов, водородных ионов, биогенов.

В результате антропогенной эвтрофикации повышается скорость новообразования органического вещества, продукция преобладает над деструкцией и биомасса экосистемы возрастает. Подобный процесс может происходить в результате естественной сукцессии водоемов, но в этом случае темп изменений неизмеримо ниже. Критерий скорости — один из самых надежных при диагностике антропогенной эвтрофикации, развитие которой измеряется не столетиями, что наиболее обычно для естественного процесса, а годами или десятками лет.

Термофикация водоемов — это изменение их температурного режима, вызываемое поступлением подогретых вод с тех или иных предприятий, в первую очередь тепловых электростанций. Повышение температуры воды

ускоряет круговорот веществ в экосистеме, в частности первичное продуцирование (при достаточном количестве биогенов), что служит дополнительной предпосылкой эвтрофикации водоемов. Вместе с тем нарушение естественного температурного режима сопровождается изменением флоры и фауны водоемов, часто вызывая существенные сдвиги в структуре и функциях исходных экосистем в нежелательном направлении.

Эвтрофикация и термофикация водоемов часто сопровождаются ухудшением их социального значения и биосферных функций экосистем. В этом случае оба явления выступают как особые формы загрязнения. Однако эвтрофикация и термофикация не всегда ведут к деградации водных экосистем и могут оказаться полезными для человека. Например, термофикация водоемов расширяет перспективы развития аквакультуры, то же значение имеет повышение трофности водоемов при умелом овладении новым потенциалом. Кроме того, следует четко различать два процесса: дополнительное поступление в водоемы биогенов и тепла (предпосылки эвтрофикации) и само это явление (эвтрофикацию). В рыбоводстве дорогостоящие биогены специально вводят в водоемы ради повышения продуктивности; об опасности эвтрофикации прудов речь не идет. Интенсивное поступление биогенов в озера и водохранилища не всегда сопровождается их эвтрофированием, если направить работу экосистем в нужном направлении. Например, изъятие из водоемов органики в форме полезной продукции может проводиться в масштабах, уравнивающих ее перепроизводство вследствие дополнительного поступления биогенов. В системе будет сохраняться одно и то же количество биогенов, баланс нормализуется, и явления эвтрофикации окажутся исключенными.

Перспективы управления продуктивностью водоемов могут предусматривать и другие средства в борьбе с эвтрофикацией, в частности перекрытие различных каналов избыточного поступления биогенов в водоемы. Однако важно подчеркнуть, что поступление биогенов в водоемы нельзя отождествлять с ухудшением состояния последних, которое вызывается целым комплексом причин и условий. Таким должен быть подход и к оценке термофикации. Остановить рост строительства предприятий, сбрасывающих подогретые воды в водоемы-охладители, нельзя. Сброс подогретых вод усиливает опасность эвтрофикации и вреден лишь в той степени, в которой невозможно управлять экосистемными процессами. Овладение ими превратит термофикацию в источник дополнительных выгод за счет лучшего использования водоемов путем развития аквакультуры.

Проявления и причины антропогенной эвтрофикации. Для оценки степени эвтрофикации водоемов используют биологические, химические и физические показатели, различные для поверхностных и глубинных вод. Например, для эпилимниона это в первую очередь видовой состав, численность, биомасса и продукция водорослей, численность бактерий, в частности сапрофитных, видовой состав и степень развития макрофитов, содержание $P-PO_4$ или сумма фосфорсодержащих компонентов в начале весенней циркуляции, активность фосфатазы и нитрогеназы. Для гипolimниона это прежде всего содержание кислорода в воде к концу летней стагнации, БПК,

выделение CO_2 , накопление P—PO_4 и растворенных соединений азота, образование метана и сероводорода в донных отложениях. На основе статистического анализа Р. Р. Фолленвайдер в 1977 г. предложил схему классификации трофии водоемов по содержанию в воде общего фосфора, азота, хлорофилла «а» (в мг/м^3) и прозрачности (в м, по диску Секки). Соответствующие показатели для олиготрофных водоемов равны 8, 660, 1,7 и 9,9; для мезотрофных — 27, 753, 4,2 и 4,2; для эвтрофных — 84, 1875, 14,3 и 2,45.

В наибольшей степени антропогенной эвтрофикации подвергаются континентальные водоемы, в частности озера, реки и водохранилища, но она отчетливо прослеживается и в морях. Например, за последние 10—20 лет численность бактерий в Ионическом море возросла в 2 раза, в Тирренском — в 4, в Черном — в 6, в Адриатическом и Эгейском — в 20 и 30 раз.

Одно из важнейших отрицательных проявлений антропогенной эвтрофикации, особенно в озерах и водохранилищах, — цветение водоемов (обычно цианобактерии *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* и некоторые другие), увеличивающееся зарастание прибрежных мелководий и появление здесь в больших количествах нитчатых водорослей, загрязнение берегов остатками гидрофитов. Обилие водорослей ухудшает питьевые качества воды (выделение метаболитов, придающих воде различные запахи и привкусы), затрудняет ее переработку при организации питьевого водоснабжения (засорение фильтров). Всплывая к поверхности после отмирания, цианобактерии образуют сплошной ковер, ухудшающий условия атмосферной аэрации воды. Разложение отмерших водорослей сопровождается образованием продуктов анаэробного распада. Гниение массы водорослей, выброшенных на берег или скапливающихся около него, ухудшают возможность рекреационного использования водоемов, в частности водохранилищ. Практически цветут все водохранилища.

Наиболее часто цветение вызывается цианобактериями. Их способность к быстрому размножению прежде всего связана с выносливостью к экстремальным температурам и концентрациям солей, низкому содержанию биогенов, к слабой освещенности, наличию H_2S , малому количеству кислорода. Другая группа свойств, благоприятствующих массовому развитию синезеленых, — их способность к миксотрофному и хемогетеротрофному питанию, помимо обычного фототрофного, а также способность многих из них к фиксации азота. Некоторые цианобактерии в условиях дефицита фосфора могут выделять щелочную фосфатазу, способствующую высвобождению P—PO_4 из монофосфорных эфиров — экзометаболитов различных водорослей. Это создает дополнительные условия для существования цианобактерии.

Во время массового развития цианобактерий образуются характерные «пятна цветения». Иногда они имеют площадь в несколько десятков гектаров и хорошо ограничены от тех, которые находятся в планктоне. Образование скоплений представляет собой определенное звено в сезонном развитии цианобактерии, связанное со старением и отмиранием особей в популяции. Последовательность процессов, происходящих в пятне цветения, характеризуется постепенным переходом цианобактерии от активной

жизнедеятельности к разрушению и распаду. В соответствии с этим в пятнах цветения различают отдельные зоны: *планктонную*, где клетки находятся во взвешенном состоянии, *гипонейстонную*, представленную кашицеобразной или студенистой массой клеток, и *деструктивную* — грязную пенистую массу на самой поверхности центральной части пятна. Пятна цветения разбиваются штормами, массы клеток выбрасываются на мелководье и прибрежные отмели, где отмирающие генерации дают начало новым, превращая прибрежные участки в своеобразные «резерваты», способствующие процветанию популяции этих бактерий (Брагинский и др., 1968).

Резерватом цианобактерий служат и придонные слои воды. Например, *Microcystis aeruginosa* до начала летней стратификации в значительной мере концентрируется на грунте. С наступлением здесь кислородного дефицита, сопровождающегося высвобождением дополнительного количества фосфатов и аммонийного азота, происходят физиологическая активация клеток, увеличение объема их газовых вакуолей и всплывание колоний в эпилимнион, где они быстро размножаются. С началом осеннего перемешивания колонии заносятся на все большие глубины и возрастающее давление, действуя на вакуоли, снижает плавучесть бактерии. Это приводит к оседанию колоний на грунт, где они сохраняются до следующего лета.

Вещества, способствующие эвтрофикации водоемов, разнообразны по своему происхождению, составу, физиологическому и экологическому значению. Из них основные — фосфор и азот, значительно реже углерод, кремний и некоторые другие. Из двух первых биогенов большее значение имеет фосфор; реже лимитирует развитие автотрофов азот, что в значительной мере связано со способностью многих бактерий и цианобактерий к его фиксации. Исследования В. Эдмондсона (Edmondson, 1970, 1972) на оз. Вашингтон показали, что порознь азот и фосфор слабее стимулировали развитие фитопланктона, чем совместно. Испытание действия различных сочетаний биогенов (N + P, N + P + S) вскрыло регулируемую роль фосфора в формировании продукционного процесса. Повышение его содержания усиливает потребление кремния диатомовыми и способствует более полному использованию фитопланктоном имеющегося в воде азота. По-видимому, фосфор стимулирует фиксацию азота.

В определенных условиях стимулирующее действие на развитие автотрофов оказывают железо, медь, кобальт, бор, марганец, молибден и др. Однако роль этих стимуляторов в антропогенной эвтрофикации невелика. Сравнительно мала и роль таких витаминов, как B₁₂, тиамин, биотин. Вместе с тем заметно усиливать развитие водорослей могут различные очищенные коммунальные стоки, в которых образуются какие-то биостимуляторы.

Избыточное накопление биогенов — основная причина эвтрофикации — в первую очередь обусловлено поступлением их с водосборной площади, с коммунальными стоками, атмосферной пылью, а также рекреационным использованием водоемов. Это накопление резко возрастает вследствие интенсификации сельского хозяйства, в частности все более широкого применения минеральных удобрений. Значительную роль при этом играет

усиление смыва поверхностных слоев почвы. Найдено, что до 10—25% вносимого в почву азота и 1—5% фосфора попадает в водоемы.

По мере роста населения и развития централизованной канализации непрерывно увеличивается поступление биогенов с коммунальными стоками. Этому способствует, в частности, употребление во все больших количествах моющих средств, содержащих фосфор. Поступление фосфора и азота в коммунальные стоки составляет на одного человека соответственно 4—5 и 8—10 г в сутки. Учитывая предельно допустимые нормы сброса, можно подсчитать, что минимальная площадь водоема, обеспечивающая отсутствие эвтрофикации, должна составлять около 5 тыс. м² на человека, если даже не учитывать другие источники поступления биогенов. Показательно, что каждый купающийся вносит в водоем в среднем 75 мг фосфора и 695 мг азота и для предупреждения эвтрофикации водоемов рекреационная нагрузка должна быть не более 50—100 человек на 1 га в сутки. Количество азота, попадающего в водоемы с пылью, может достигать около 10 кг/га в год.

В водоемы СССР 94% фосфора поступает с сельскохозяйственных угодий, 5% — с коммунальными стоками и около 1% — с городских территорий; для азота соотношение несколько иное (соответственно 68, 31 и 1%). В ФРГ с коммунальными водами в водоемы поступает 91% всего фосфора и только 9% — с сельскохозяйственных угодий. При образовании новых водоемов, в частности водохранилищ, их обогащение биогенами может идти дополнительно за счет вымывания из вновь залитых почв. Особенно интенсивно этот процесс идет в первые 3—4 года после затопления ложа водохранилища, обуславливая в это время наиболее бурное цветение воды.

Антропогенная эвтрофикация водоемов часто усиливается или даже полностью обуславливается изменением гидрологического режима водоемов. Например, после падения уровня оз. Севан на 18 м и почти полного исчезновения в нем гипolimниона прозрачность воды снизилась почти в два раза, стал наблюдаться летне-осенний дефицит кислорода, первичная продукция возросла в несколько раз, еще резче усилилась деструкция, в массе появились цианобактерии. Олиготрофное озеро превратилось в эвтрофное главным образом в результате мобилизации биогенов из донных отложений и возросшей прогреваемости толщи воды. В сильнейшей мере эвтрофикация водоемов усиливается с возрастанием их застойности, при снижении турбулентной перемешиваемости воды, что, в частности, способствует цветению. В значительной мере по этой причине цветут равнинные водохранилища, особенно в низких широтах. Зарегулирование стока рек, сопровождающееся замедлением течения и усилением режима стагнации, сильно ускоряет процесс их антропогенной эвтрофикации. Сходным образом стимулирует процесс эвтрофикации ухудшение кислородного режима, а также термофикация водоемов. Дополнительное поступление биогенов служит лишь предпосылкой антропогенной эвтрофикации, которая развивается при определенных гидрологических условиях, обеспечивающих новый тип круговорота веществ в водоеме.

Термофикация водоемов. В наибольшей мере термофикация водоемов связана со спуском в них вод, охлаждающих пар в атомных и тепловых

электростанциях (АЭС и ТЭС); в меньшей — со сбросом подогретых городских стоков. В настоящее время тепловыми электростанциями мира вырабатывается $17 \cdot 10^{12}$ кВт·ч в год, и водоемам-охладителям отдается около $61 \cdot 10^{18}$ Дж. Согласно основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на перспективу до 2000 г. выработка электроэнергии в нашей стране к 1990 г. достигнет 1840—1880 млрд. кВт·ч, и сброс теплых вод возрастет в 1,3—1,4 раза.

Подогрев воды в конденсаторах АЭС и ТЭС достигает обычно 8—11°C. Проходя через открытый водосбросный канал, вода остывает на 0,5—1°C, основное же тепло отдается в водоем-охладитель. Малые водоемы-охладители прогреваются полностью, в крупных создается зона подогрева той или иной конфигурации. Летом подогретые воды обычно растекаются в поверхностном слое. Зимой образуется полынья, температурная стратификация становится обратной (охлаждение поверхностного слоя). Кислородный режим обычно благоприятный, так как вода дополнительно аэрируется в водосбросном канале и в результате образования полыньи. В СССР повышение температуры в водоеме допускается не свыше 3°C летом и 5°C зимой, в других странах нормы несколько иные.

В качественном отношении фауна и флора водоемов-охладителей изменяется слабо, формируясь в основном из эвритермных и более теплолюбивых форм исходного населения. Зимой список обнаруживаемых видов несколько шире, чем в неподогреваемых водоемах (за счет форм, не могущих вести активную жизнь при низких температурах), летом наблюдается обратная картина (выпадение более холодолюбивых форм). Резкое обеднение фауны и флоры начинается при повышении температуры до 30°C и более. Для гидробионтов существенна не только степень подогрева воды, но и скорость температурных изменений. Медленное нагревание воды благодаря акклимации переносится гидробионтами легче, и верхний летальный порог становится выше (см. гл. 1). Особенно плохо переносят гидробионты быстрое понижение температуры. Так, летальная для рыбы *Lepomis* скорость понижения температуры в 20 раз ниже той, которая наблюдается при повышении (Brett, 1960). Холодовой шок опаснее теплового, и с его возможностью нужно считаться даже при кратковременных остановках работы АЭС и ТЭС. Особенно чувствительны к термическому стрессу гидробионты на ранних стадиях развития.

Повышение температуры воды оказывает очень сложное влияние на физиологию гидробионтов как непосредственно, так и косвенно. Например, у рыб в связи с подогревом воды снижается буферность крови и нарушается процесс формирования скелета (снижение концентрации карбонатов), повышается рН крови, усиливается синтез липидов (деактивация холина), уменьшается количество убихинона и снижается уровень окислительного фосфорилирования, возрастает концентрация водорастворимых витаминов.

Подогрев воды сдвигает фенологические фазы на более раннее время и удлиняет вегетационный период. Схематизируя картину, можно сказать, что к северу от Москвы весна в подогреваемых водоемах начинается вместо мая в

апреле, а глубокая осень — в ноябре вместо октября. Особенно заметно сказывается подогрев на планктоне.

Повышение температуры до 45°C приводит к отмиранию *Aerobacter aerogenes* и усиленному развитию кишечной палочки, повышение до 35°C благоприятствует развитию цианобактерий в ущерб зеленым водорослям. Донные организмы испытывают его влияние значительно меньше, так как в придонных слоях температура изменяется слабо. У отдельных групп планктона реакция на подогрев имеет свои особенности. В связи с удлинением вегетационного сезона число одновременно или круглогодично вегетирующих водорослей возрастает. Видовой состав изменяется слабо, но относительная роль диатомовых снижается, а зеленых, пирифитовых и особенно цианобактерий, наиболее устойчивых к подогреву, возрастает. Фотосинтез повышается, если до подогрева температура была ниже 15—20°C, но угнетается, когда вода подогревается до 30—35°C; многие цианобактерии и протококковые от такого повышения не страдают.

Даже небольшое (2—3°C) повышение температуры сопровождается существенным перераспределением отдельных видов. Подогрев вод ускоряет освобождение и выход в раствор $P-PO_4$; при потреблении АЭС 20 тыс. м³ в оз. Нехмиц-Зее (ГДР) ежедневно дополнительно высвобождалось 3 кг $P-PO_4$ (Mothes et al., 1976). Благодаря этому и ускорению фотосинтеза с повышением температуры термофикация водоемов служит дополнительной предпосылкой их эвтрофикации. В зимнее время численность и фотосинтез водорослей заметно повышаются не только вследствие подогрева воды, но и в результате улучшения светового режима (отсутствие льда).

Зоопланктон при подогреве изменяется слабо, но при сильном — до 27—28°C — повышении температуры его количество снижается. В условиях четкой температурной стратификации рачки уходят из верхних слоев в нижние; подогрев воды в придонных слоях до 27—28°C приводит к сильному снижению численности всех видов, а при 28—30°C вследствие прекращения размножения и гибели исчезает большинство видов. При умеренном подогреве продукция зоопланктона в одних случаях повышается, в других — понижается в зависимости от конкретных трофических и других условий.

При подогреве часто наблюдается сильное разрастание нитчатых водорослей и особенно цианобактерий *Oscillatoria* — одной из наиболее устойчивых форм к повышению температуры. При умеренном подогреве количество микрофитобентоса может возрасти в 6—8 раз, при сильном (свыше 25°C) — снижается. Развитие высших растений в зонах подогрева усиливается, причем в водоемах умеренной полосы особенно разрастаются более теплолюбивые и южные формы (тростник, рдест курчавый, валлиснерия). Продукция макрофитов возрастает, и только при очень сильном подогреве (свыше 30°C) снижается.

Видовой состав и биомасса бентоса в зонах подогрева резких закономерных изменений не претерпевают, но замечаются существенные сдвиги в фенологии. С повышением температуры укорачиваются жизненные циклы олигохет, хирономид и других беспозвоночных, возрастает число поколений у отдельных форм. Например, в водоемах-охладителях бассейна

Днепра круглосуточно стали размножаться рачки *Pontogammarus robustoides* и *Limnomysis benedeni*. Продукция зообентоса в одних случаях несколько понижается, в других — повышается, что отражает воздействие на беспозвоночных не только температуры, но и многих факторов.

Развитие гетеротопных гидробионтов может подавляться из-за нарушения жизненных циклов. Например, ранней осенью личинки хирономид успешно окукливаются в теплой воде, но комары не откладывают яйца из-за низкой температуры воздуха; сходная картина может наблюдаться и весной.

Работа АЭС и ТЭС ведет не только к термофикации водоемов. При прохождении воды через узкие трубки конденсатора, когда за несколько секунд ее температура повышается на 10°C и более, у многих беспозвоночных и личинок рыб наблюдается температурный шок и связанное с ним нарушение поведенческих реакций. В результате возрастает гибель животных, в частности за счет ослабления оборонительных реакций. Значительная часть беспозвоночных отмирает вследствие травмирования в трубках конденсатора и в водосбросном канале, в особенности в местах перепада воды (Мордухай-Болтовской, 1975). Значительная часть гидробионтов, в частности водорослей, гибнет под влиянием гидравлического шока (Ramade, 1981). Во время прохождения воды через охлаждающий контур меняется состав находящихся в ней веществ в сторону уменьшения количества соединений азота и увеличения доли органических соединений повышенной биологической активности — кетонов, спиртов и др. Все это в значительной мере влияет на состояние экосистем водоема-охладителя.

Отрицательные последствия термофикации водоемов, связанные с усилением первичного продуцирования, разрастанием нитчатых водорослей и зарастанием высшими растениями, могут быть нейтрализованы правильной эксплуатацией вновь образующихся экосистем. В первую очередь сюда относится использование водоемов-охладителей в аквакультуральном плане. Разведение растительноядных рыб не только предотвращает зарастание водоемов-охладителей макрофитами и снимает вызываемые ими помехи (засорение решеток, фильтров и др.), но и дает значительную дополнительную продукцию. При этом культуру теплолюбивых растительноядных рыб, в частности белого амура и белого толстолоба, можно значительно продвинуть на север.

4. Практический раздел электронного учебно-методического комплекса «Гидроэкология»

4.1. Лабораторные занятия

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторные занятия существенно повышают прочность усвоения и закрепления изучаемых знаний и умений. Они составляют важную часть теоретической и практической подготовки студентов. Их количество и тематика соответствуют рабочей параграмме дисциплины.

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

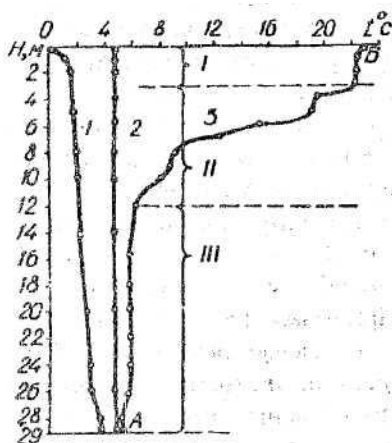


Рис.1 Изменение температуры воды с глубиной в оз. Кривом
1/III 1972 г. (1); 25/XI 1971 г. (2); 29/VI 1970 г. (3);
I эпилимнион; II - металимнион; III-гиполимнион.

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°C поверхностные слои ее становятся легче нижележащих более теплых и плотных слоев. Поэтому в зимний период, когда водные массы озер содержат наименьшее количество тепла, температура поверхностного слоя воды близка к нулю $^{\circ}\text{C}$. С глубиной температура увеличивается и у дна большинства водоемов находится в пределах $1,5\text{—}4,0^{\circ}\text{C}$, а при прогреве от теплоотдачи дна иногда несколько выше 4°C . Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рис.1, 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 - гипolimнионом. Между эпилимнионом и гипolimнионом 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 гипolimниона при отсутствии освещения погибают живые растительные организмы, уменьшается, нередко до нуля, содержание кислорода, иногда образуется губительный для всего живого - сероводород. Положение слоя температурного скачка в озере и вертикальный градиент температуры в нем зависит от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гипolimниона.

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

2. Выделить горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион, гипolimнион (рис.). 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 $^{\circ}\text{C}$. На график наносятся точки, соответствующие температуре воды на разных горизонтах измерения. Полученные точки соединяют плавной линией, которая, характеризует распределение температуры воды от поверхности до дна водоема. **2.** На графике - кривая 3 прямой термической стратификации - определяем участок резкого перепада температуры с глубиной, проводим горизонтальные линии, выделяя слои эпилимниона, металимниона и

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°C (от 22,6 до 6,2°C) на 9м глубины (12-3м), 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 $\Theta_{\text{наиб}} = 4^\circ\text{C}$ на 1м в слое 5-6 м.

3. Средняя температура воды по вертикали ($t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$) может быть вычислена с помощью графика распределения температуры воды по глубине; определяется как частное от деления площади эпюры, ограниченной на графике координатными осями, кривой распределения температуры воды и линией дна, на полную глубину вертикали:

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

где S - площадь эпюры ($^\circ\text{C м}$), 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*, ряда *irregularis*, ряда *hispidus*.
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).

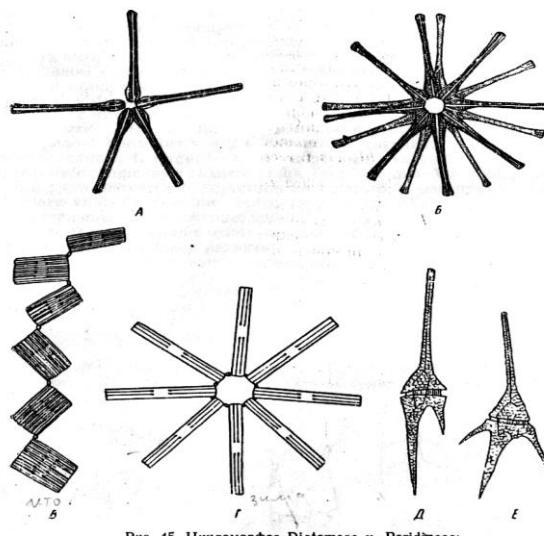


Рис. 1. Цикломорфоз Diatomeae и Peridineae:

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

Ряд *irregularis* по характеру 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 кия на панцире, вследствие этого пластинки теряют симметричное расположение; шипики слабо развиты.

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

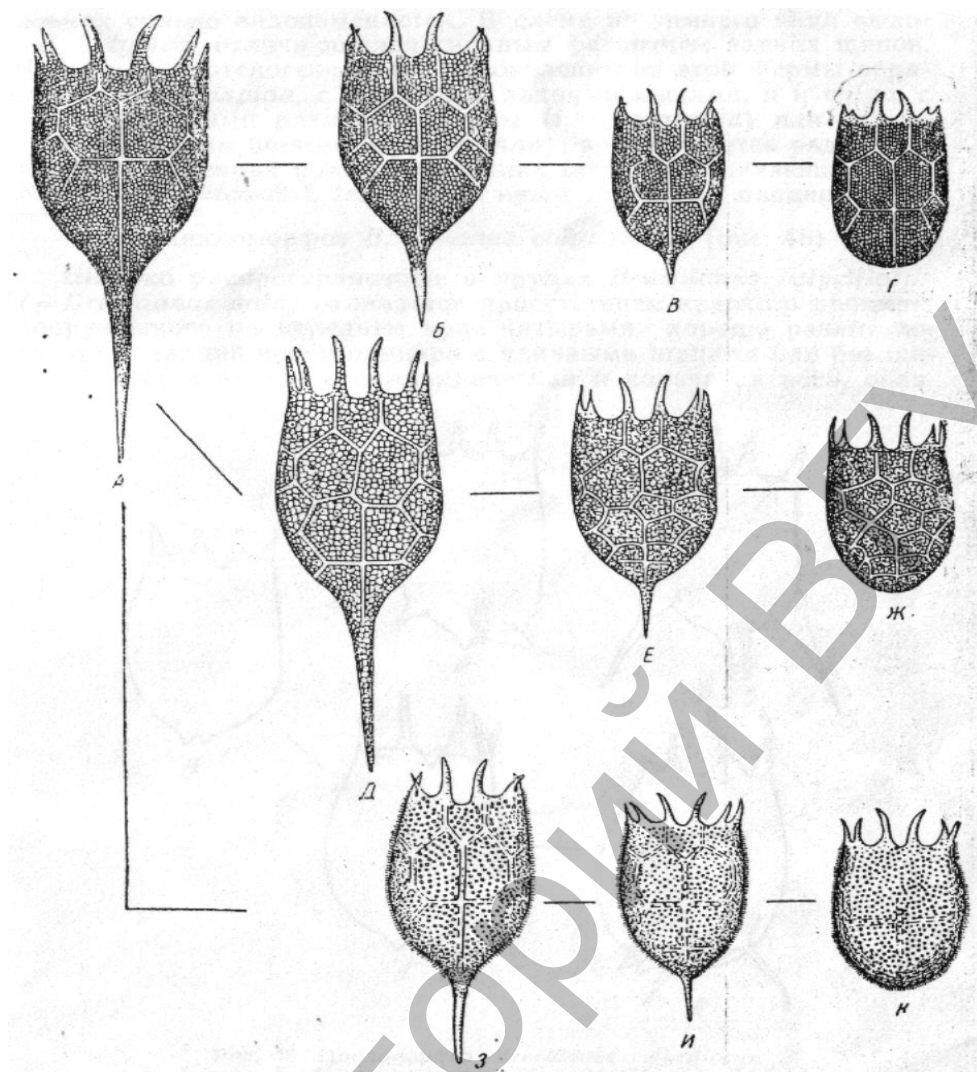


Рис. 2. Цикломорфоз *Keratella cochlearis*

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. amphiceros*, с длинными срединными и особенно боковыми задними шипами. У форм **ряда *amphiceros*** все передние шипы приблизительно одного размера.

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

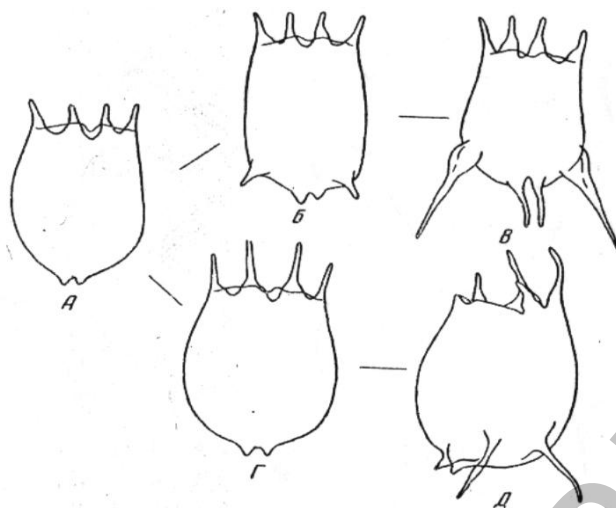


Рис.3. Цикломорфоз *Brachionus calyciflorus*
А- f. *pala*; Б- f. *anuraeiformis*; В- f. *amphiceros*; Г- f. *dorcas*; Д- f. *spinosa*.

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

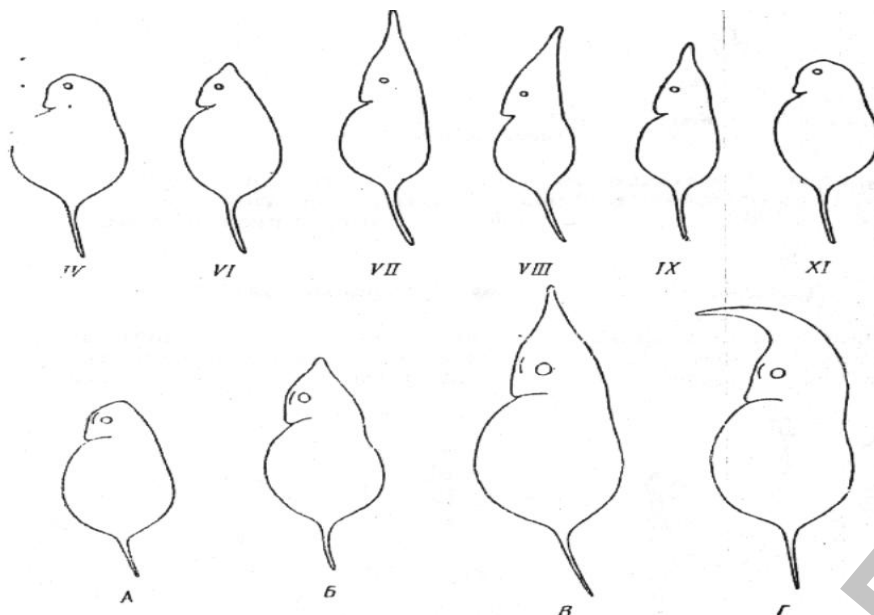


Рис. 4. Цикломорфоз *Daphnia cucullata*

Верхний ряд – генерации *Daphnia cucullata* (цифры обозначают месяцы); нижний ряд – летние формы различных варитетов *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 восстановители. 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 $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, или 48г $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, или 36,4г $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, или 42,5 г $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 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 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;
 V₁ - объем пробы воды в склянке, мл;
 V₂ - 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;
 8 - 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 БПК₅ (установлено, что БПК₅ 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 бутыл, 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:

$$\text{БПК}_5 = A_0 - A_5,$$

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:

$$\text{БПК}_5 = [(A_0 - A_5) - (B_0 - B_5)] \cdot n,$$

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;

В₅ - то же в разбавляющей воде, мг кислорода/л;
п - 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 24х24 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.

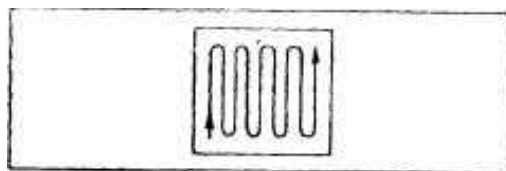


Рис.1 Ход просмотра препарата с пробой под микроскопом

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); πr^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 околотовных (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 игольчатый	++
Частуха полобожниковая	++
Рдест пронзеннолистный	++++
Рдест курчавый	+++
Штуkenия гребенчатая	+++
Рдест Фриза	+
Роголистник полволный	+++
Элодея каналская	++
Телорез алоэвидный	++++
Рдест плавающий	++
Горец земноволный	+
Кубышка желтая	++
Волокрас обыкновенный	+
Многокопелник	++
Трехлопастная трехлопастчатая	+
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 ²	Степень зарастания, %	% от площади зарастания	Биомасса макрофитов (возд.-сух. вес), т	% от общей биомассы макрофитов
Надводные	3546250	8,8	23,5	2837,0	46,6
Рдесты	8488250	21,0	56,3	1485,4	24,4
Телорезы	3305000	7,5	20,2	1769,0	29,0
Всего:	15-84500	37,3	100	6091,4	1000

1 тип – геллофитный, с преобладанием воздушно-водной растительности. Основными ценозообразователями являются: тростник, камыш озерный, аир, рогоз

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

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

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

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

В озерах *камышового подтипа* преобладают заросли надводной растительности с доминированием в них камыша озерного. Субдоминанты: тростник, рогоз узколистный, хвощ речной, болотница болотная. Разнообразно (в среднем 6-3 видов) представлены растения с плавающими листьями, образующие в заливах значительные (до 30 % общей площади зарослей) участки, чему способствует наличие укрытых мелководных заливов, высланных заиленными грунтами. Развитие подводной растительности, богатой по видовому составу (до 16 видов) фитоценозов, но представленной редкими зарослями К данному подтипу относятся мелководные эвтрофные водоемы. Они являются наиболее заросшими среда озер гелофитного типа (средняя площадь зарастания - 36 %, биомасса макрофитов - 0,240 кг/м² зарослей).

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

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

В растительном покрове озер *харового подтипа* доминируют харовые водоросли, формирующие густые заросли. Субдоминанты — широколистные рдесты (блестящий и пронзеннолистный), элодея и роголистник погруженный, часто встречаются узколистные

рдесты, телорез, реже - пузырчатка обыкновенная, уруть колосистая. Растения с плавающими листьями не получили широкого распространения. Воздушно-водные растения, представленные в основном тростником, реже - камышом озерным, занимают относительно небольшие участки песчаных литоралей. Степень зарастания водоемов (в среднем до глубины 7 - 8 м) тесно связана с высокой прозрачностью воды (в среднем 4,5 м), общей минерализацией воды и характером грунтов. Озера зарастают в среднем на 36 %; средняя биомасса макрофитов составляет 0,270 кг воздушно-сухого вещества на 1 м² зарослей. Биомасса харовых зарослей может достигать 1,5 кг/м².

В озерах *рдестового подтипа* доминирующими видами являются рдесты: пронзеннолистный, блестящий, Фриза, штукения гребенчатая, а также элодея, телорез, реже - рдесты курчавый, сжатый, роголистник, уруть, шелковники (водные лютики), харовые водоросли. Гелофиты (водно-болотные растения) занимают небольшие по сравнению с погруженными растениями площади (от 10 до 30 % заросшей площади). Растения с плавающими листьями в некоторых озерах этого подтипа занимают до 20 % заросшей площади и представлены в основном кубышкой желтой, рдестом плавающим, горцем земноводным, реже - кувшинкой чисто-белой, водокрасом, ряской. Этот подтип объединяет сильно заросшие озера со значительной биомассой макрофитов (0,400 кг/м² зарослей).

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

Для озер *мохового подтипа* характерно 100 %-ное покрытие дна мхом фонтиналисом; редко встречаются полушник, рдесты, элодея, кубышка желтая. Озера этого подтипа включают низкоминерализованные (92 мг/л) дистрофирующие мелководные водоемы (средняя глубина 1,5 м) с прозрачностью воды до дна. Развитию макрофитов препятствуют низкая минерализация воды, кислая среда (pH 5 - 7,5), наличие тонкодетритовых сапропелей (зольность 30 %). Биомасса макрофитных зарослей низкая (в среднем 0,01 кг/м² 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: пойкилоосмотические 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. Мастакс большой, широкий. *Brachionus plicatilis* отличается от других видов *Brachionus* по форме передних зубцов и по отсутствию на панцире задних шипов.

Тело *Pedalia oхyure* 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 oхyure* отличается от других видов *Pedalia*, у которых задний конец тела закруглен. Имеется два глазка. Нога отсутствует.

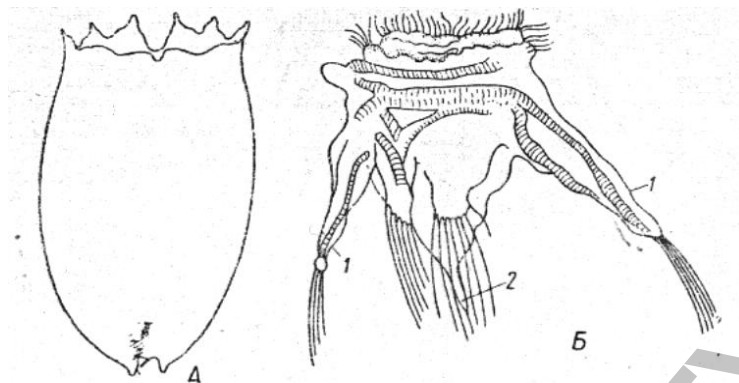
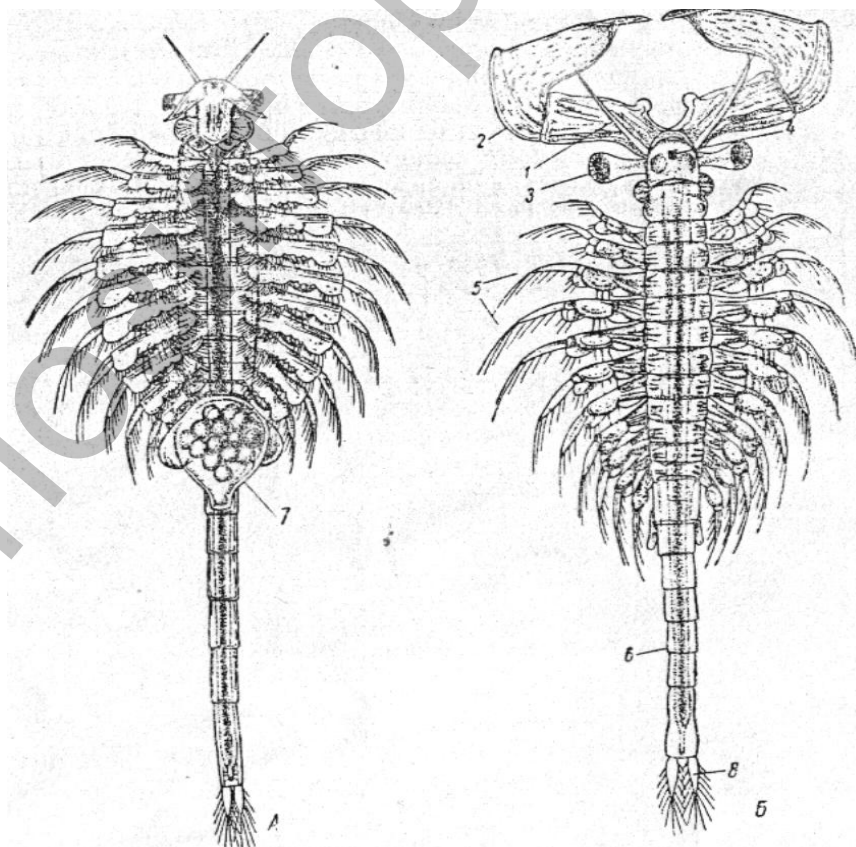


Рис. 1. Солоноватоводные организмы
А—*Brachionus plicatilis*, панцирь; Б— *Pedalia oxyure*: 1-рукообразные придатки, 2-вырост на конце тела.

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 *Vovosaceae*), 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.



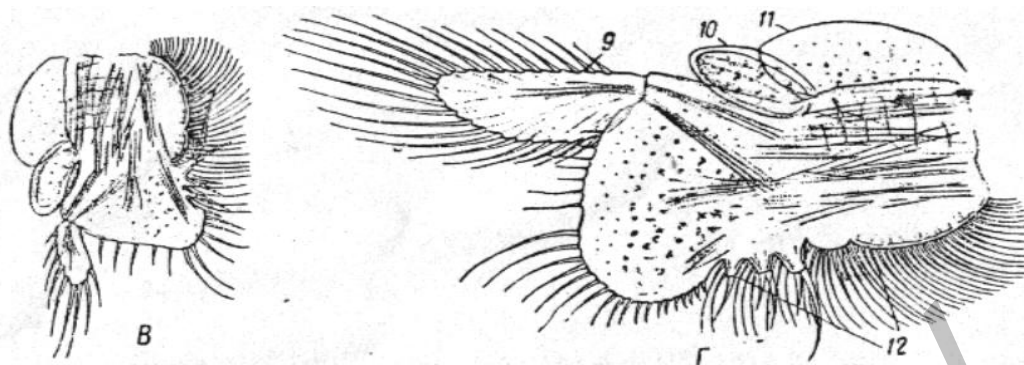


Рис. 2. Ультрагалинные организмы

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- презепиподит, 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 презепиподит. 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.

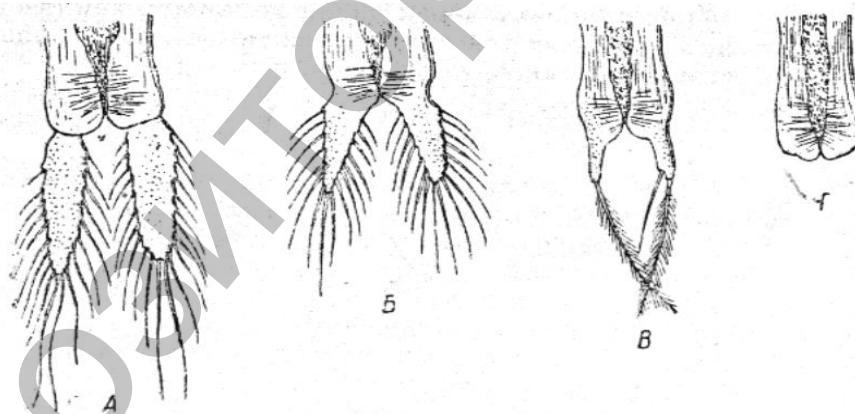


Рис. 3. Ультрагалинные организмы

Artemia salina, конец абдомена с фуркой различных вариететов: А-*var.principalis*; Б-*var.arietina*; В-*var.milhausenii*; 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.korpeniana*). Как показали экспериментальные исследования, изменение концентрации солей влечет за собой соответствующие изменения морфологии организмов в течение двух-трех генераций.

ЭВРИГАЛИННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

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

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 волосной покров клешней развит значительно слабее. Длина карапакса до 7 см.

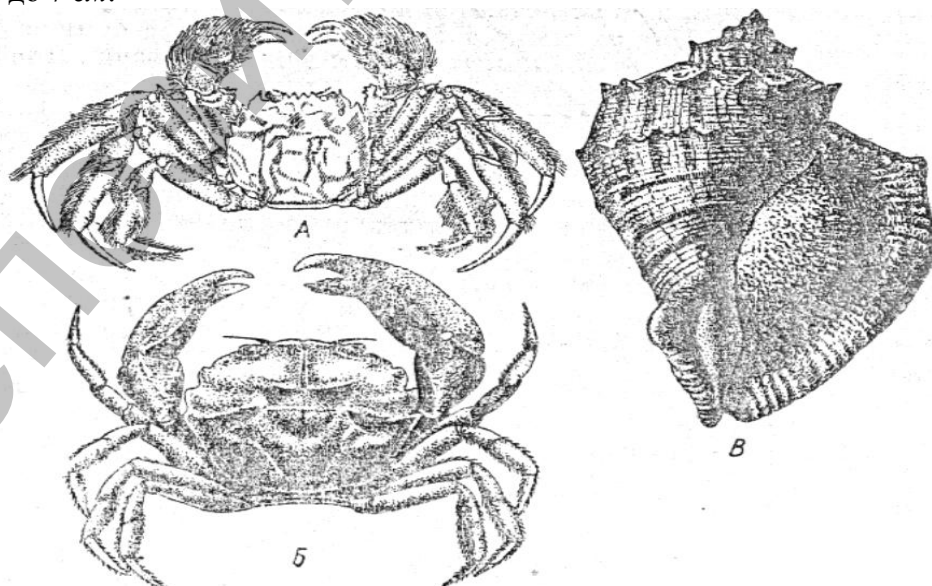


Рис. 4. Эвригалинные иммигранты
А-*Eriocheir sinensis*; Б-*Rhithropanopeus harrisi tridentatus*; В-*Rapana thomasi*.

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. Harrisi 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. Harrisi*, 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 подвид *Rh. Harrisi 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 эфиппиум 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 эфиппийных 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 эфиппийных 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 эфиппийных выбросах цисты встречаются довольно редко, что говорит о большом значении в расселении именно личиночной стадии.

Ветвистоусые ракообразные. Данная группа гидробионтов по количеству видов в эфиппийных выбросах представлены 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.

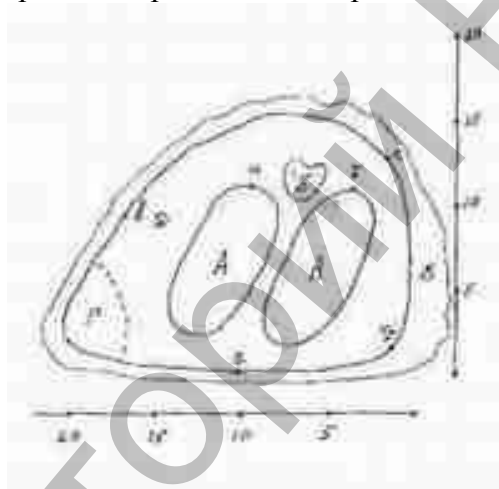


Рис. 1. Эфиппиум ветвистоусых ракообразных

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 взбешенного 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 a – скорость погружения, b – остаточная масса (масса между массами организма и вытесненной им воды), c – 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/см³, морских – 1,03-1,06 г/см³, и их плавучесть близка к нейтральной. Сохранению плавучести способствует снижение остаточной массы тела, что может достигаться: уменьшением количества костной ткани, белка в тканях, заменой тяжелых солей более легкими, отложением большого количества жира, заменой более плотного жира менее плотным, образованием полостей, наполненных воздухом.

Редукция скелета

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

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

Пропитывание водой

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

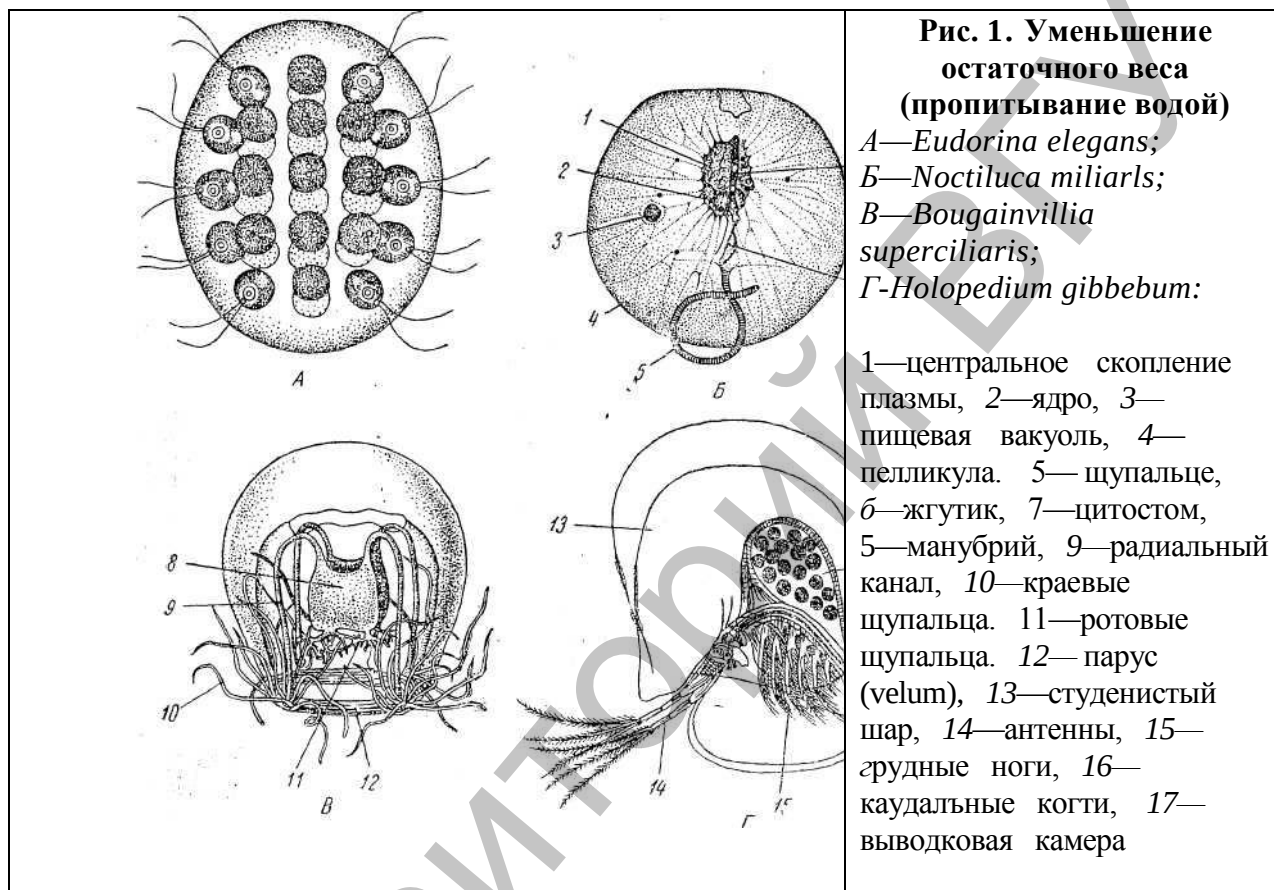
1. *Eudorina* (рис. 1, А)

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 шаровидной формы, покрыто крепкой оболочкой. На одном полюсе находится перистом, в глубине которого расположено щелевидное ротовое отверстие, цитостом. Короткий, трудно заметный жгутик отходит около цитостома, а немного далее — большое щупальце, по длине равное приблизительно половине поперечника организма; параллельная исчерченность щупальца зависит от параллельного расположения в нем тонких плазматических тяжей. Плазма образует довольно большое скопление, расположенное в области цитостома; от этого скопления плазмы отходят по всем

направлениям тонкие, между собой анастомозирующие плазматические тяжи. Внутри клетки имеется большое количество клеточного сока, благодаря которому ее величина достигается необычайных для простейших размеров, до двух миллиметров в поперечнике. Удельный вес ноктилуков 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 роострума. 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 перемиками (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.

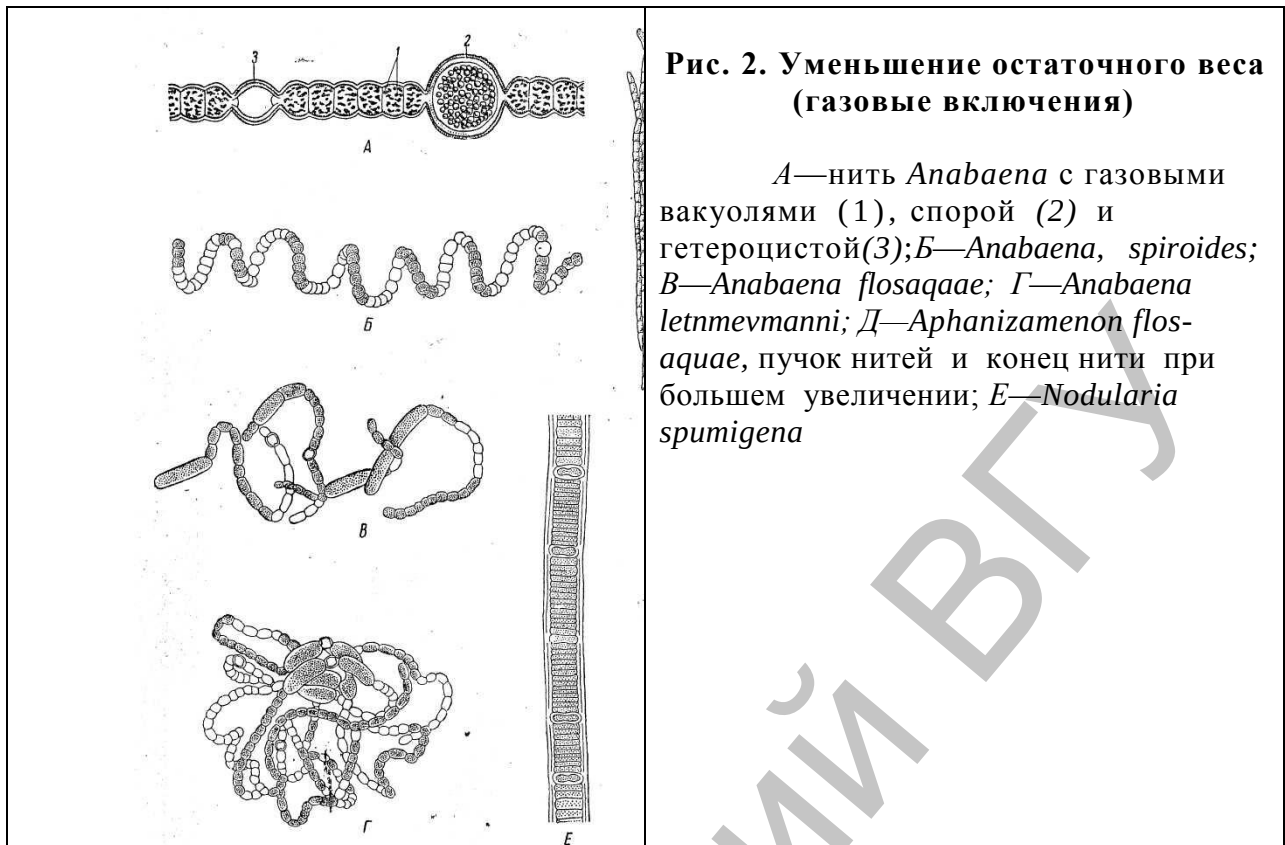


Рис. 2. Уменьшение остаточного веса (газовые включения)

А—нить *Anabaena* с газовыми вакуолями (1), спорой (2) и гетероцистой(3); Б—*Anabaena, spiroides*; В—*Anabaena flosaquaе*; Г—*Anabaena letnmevmani*; Д—*Aphanizamenon flos-aquaе*, пучок нитей и конец нити при большем увеличении; Е—*Nodularia spumigena*

Личинка *Chaoborus* (рис. 3)

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

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

Личинки комаров подсемейства Chaoborinae отличаются от личинок других комаров присутствием двух пар, а у одного вида трех пар трахейных пузырей, являющихся гидростатическим аппаратом. Благодаря этому аппарату личинки держатся в воде в горизонтальном положении, их удельный вес близок к удельному весу воды. Все личинки относятся к числу хищников, питаются дафниями, циклопами, личинками различных комаров и т. п. Среди всех личинок Chaoborinae личинки коретры (*Chaoborus*, прежнее название — *Corethra*) являются наиболее специализированными. Личинки коретры держатся в воде в горизонтальном положении в определенном слое воды благодаря присутствию гидростатического аппарата; их удельный вес почти равен удельному весу воды. При изменении объема трахейных пузырей личинки перемещаются в вертикальном направлении и могут опуститься на дно. Изменение объема трахейных пузырей происходит вследствие диффузии газа из-крови в пузыри, или, наоборот, из пузырей в кровь. Некоторое значение для перемещений личинки имеют также покрывающие пузыри пигментные клетки. Если эти клетки расширяются, то, в результате поглощения ими проникающих в воду лучей, трахейные пузыри, нагреваясь, увеличиваются в объеме, удельный вес личинки становится меньше и она поднимается вверх; 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.

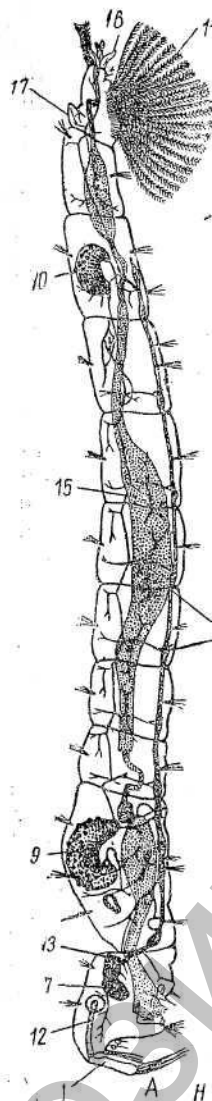


Рис. 3. Уменьшение остаточного веса на примере
Chaoborus crystallinus

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

Личинк *Mochlonux* (рис. 4)

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.

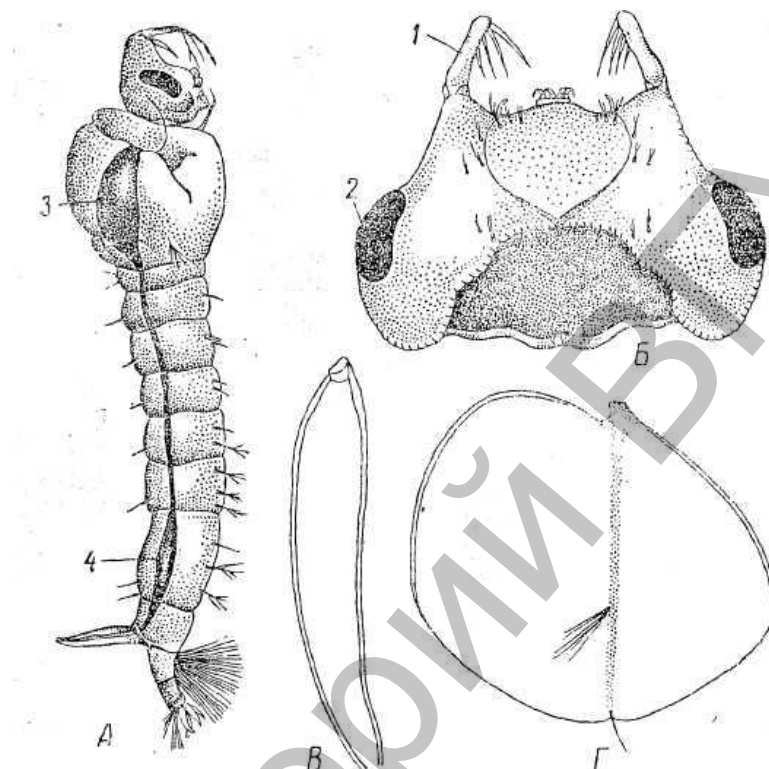


Рис. 4. Уменьшение остаточного веса

А—личинка *Mochlonyx culiciformis*; В—голова личинки; В, Г—куколка *Mochlonyx 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 пояса 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.

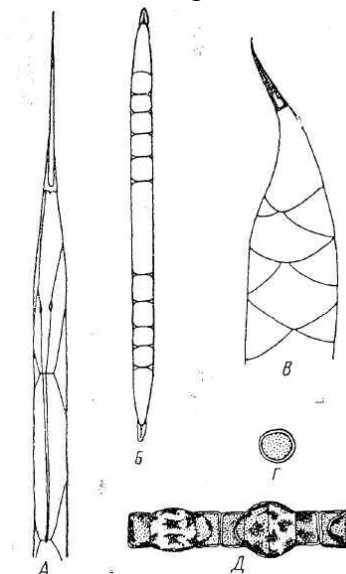


Рис. 5. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)

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

Рассмотреть и описать особенности строения Leptodora Rindni и Sagitta 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 эксоподита), несущих большое число длинных плавательных щетинок. Грудные ноги членистые, относятся к типу скелетных конечностей, встречающихся среди ветвистоусых раков только у хищных видов — лептодоры и представителей семейства Polyphemidae. Всего имеет шесть пар ног, сближенных между собой и сдвинутых к ротовому отверстию. Своими ногами лептодора захватывает добычу, состоящую главным образом из животных планктона; шипы и щетинки, находящиеся по внутреннему краю ног, облегчают это захватывание.

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

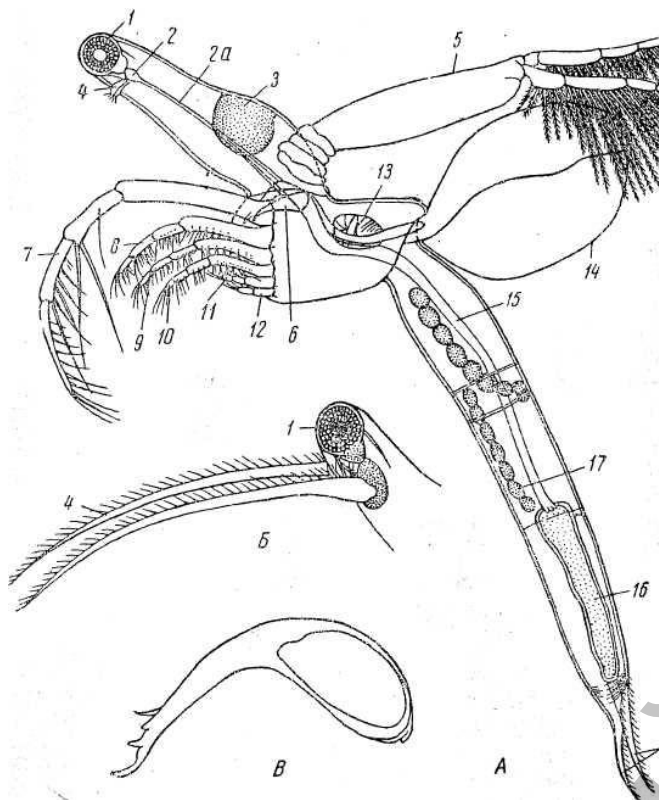


Рис. 6. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)
Leptodora kindti.

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.

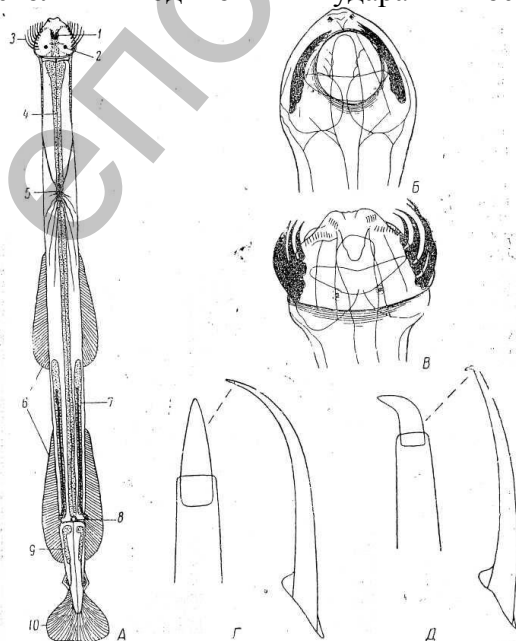


Рис. 7. Увеличение сопротивления формы (удлинение одной оси)

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 —З)

Виды *Coscinodiscus* встречаются почти исключительно в морях, нередко в очень больших количествах; в пресноводных водоемах они заменяются близкими по строению видами *Cyclotella*. Обычно одиночные клетки *Coscinodiscus* имеют вид плоских дисков или низких цилиндров, по расположению створок в точности соответствуют чашкам Петри. При рассматривании со стороны створки имеют вид кружков с сетчатой или ячеистой скульптурой, образованной радиальными или тангентальными рядами кружочков или мелких точек. Со стороны пояса 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*) колонии. При рассматривании с пояса 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.

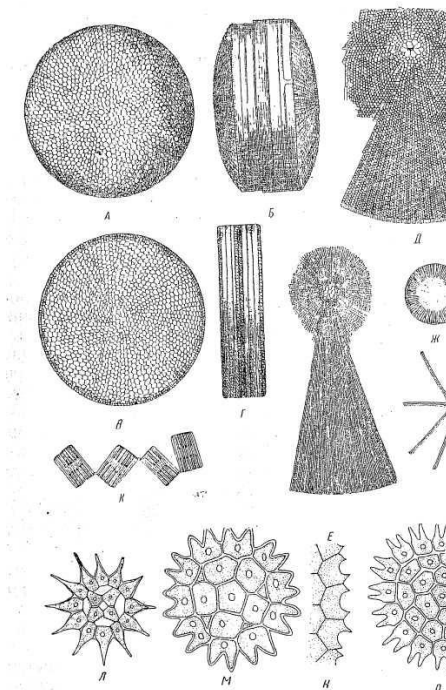


Рис. 8. Увеличение сопротивления формы (удлинение двух осей)

- 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—*Pedastrium simplex*; М - *Pedastrium duplex*;
 Н—*Pedastrium angulosum*, часть колонии;
 О—*Pedastrium 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.

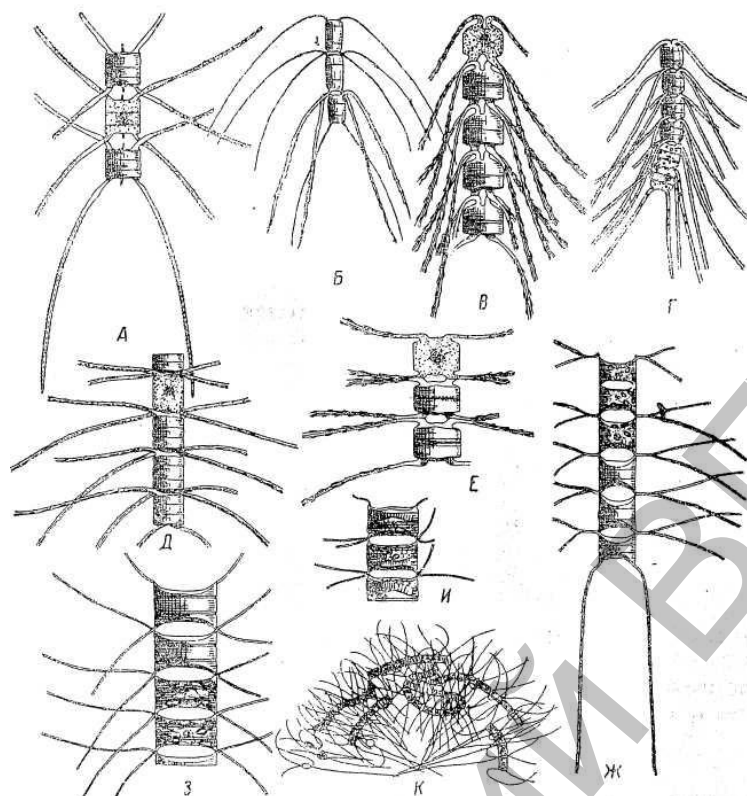


Рис. 9. Увеличение сопротивления формы (образование выростов)

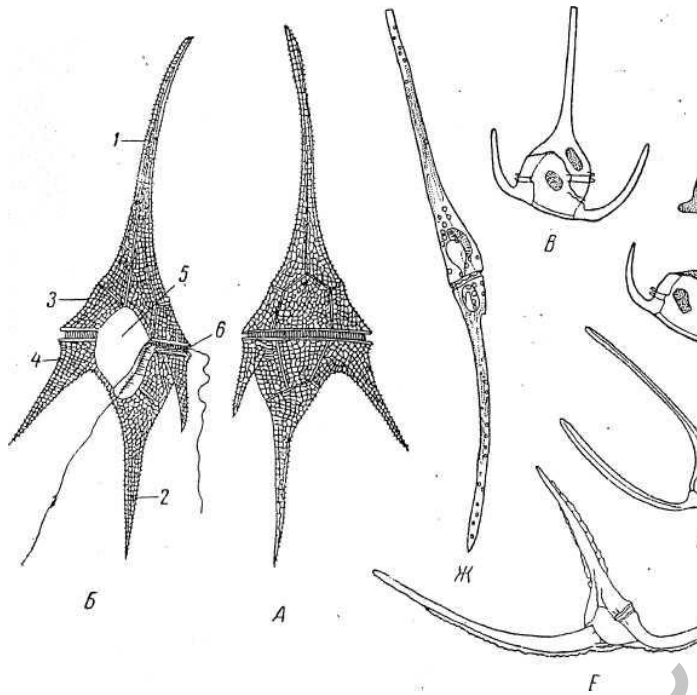
А—*Chaetoceros ailanticus*; Б—*Chaetoceros compressus*; В—*Chaetoceros concavicornis*; Г—*Chaetoceros convolutus*; Д—*Chaetoceros densus*; Е— *Chaetoceros b or calls*; Ж—*Chaetoceros declpiens*; З—*Chaetoceros mitr'a*; И— *Chaetoceros subsecundus*; К—*Chaetoceros soclalis*

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 triplos*, в начале деления (В) и после расхождения половин клетки (Г); Д—*Ceratiuni longipes*; Е—*Ceratiuni arcticuni*; 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.

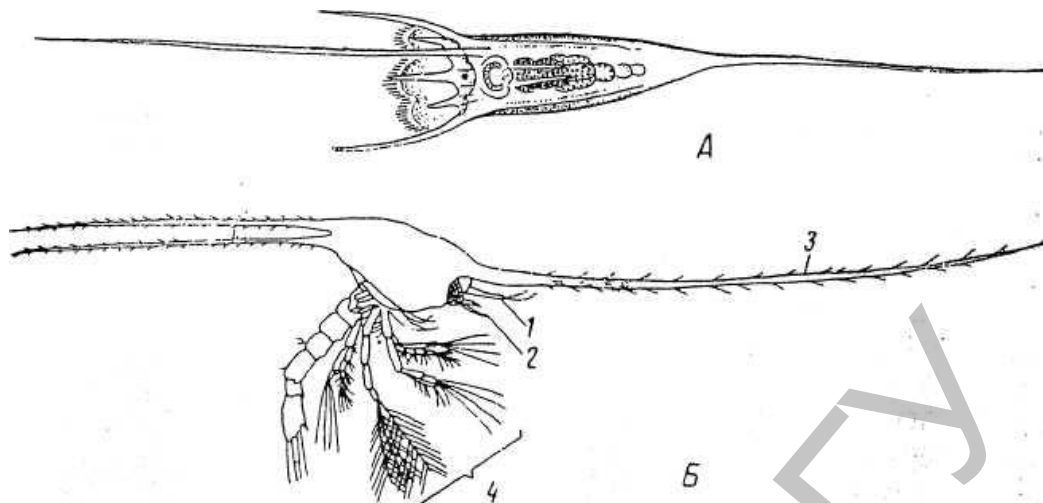


Рис. 12. Увеличение сопротивления формы.
А-Notholca longispina; *Б-личинка краба Porcellana*:
 1-антеннула, 2 - антенна, 3-роstrум, 4-максиллярные ноги

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 экзоподиту типичной ноги жаброногих раков; кроме того, имеется эиподит, являющийся жаберной пластинкой. Ноги второй пары характерного строения; на удлиннном протоподите расположены пять эндитов, из которых проксимальный (базальный) образует большой максилярный вырост; среди щетинок последнего выделяется по своей величине щетинка, снабженная по одной сторонке рядом крепких волосков; остальные четыре эндита слабо развиты, каждый из них несет одну или две длинные щетинки; нога оканчивается хорошо развитым экзоподитом с двумя длинными щетинками; по наружному краю ноги расположен эиподит. Ноги третьей пары по своему строению резко отличаются от предыдущих; самым характерным признаком является присутствие гребня щетинок, прикрепленных вдоль всего края большого первого эндита; в естественном положении этот гребень отогнут под острым углом к плоскости самой ноги; остальные эндиты, слабо

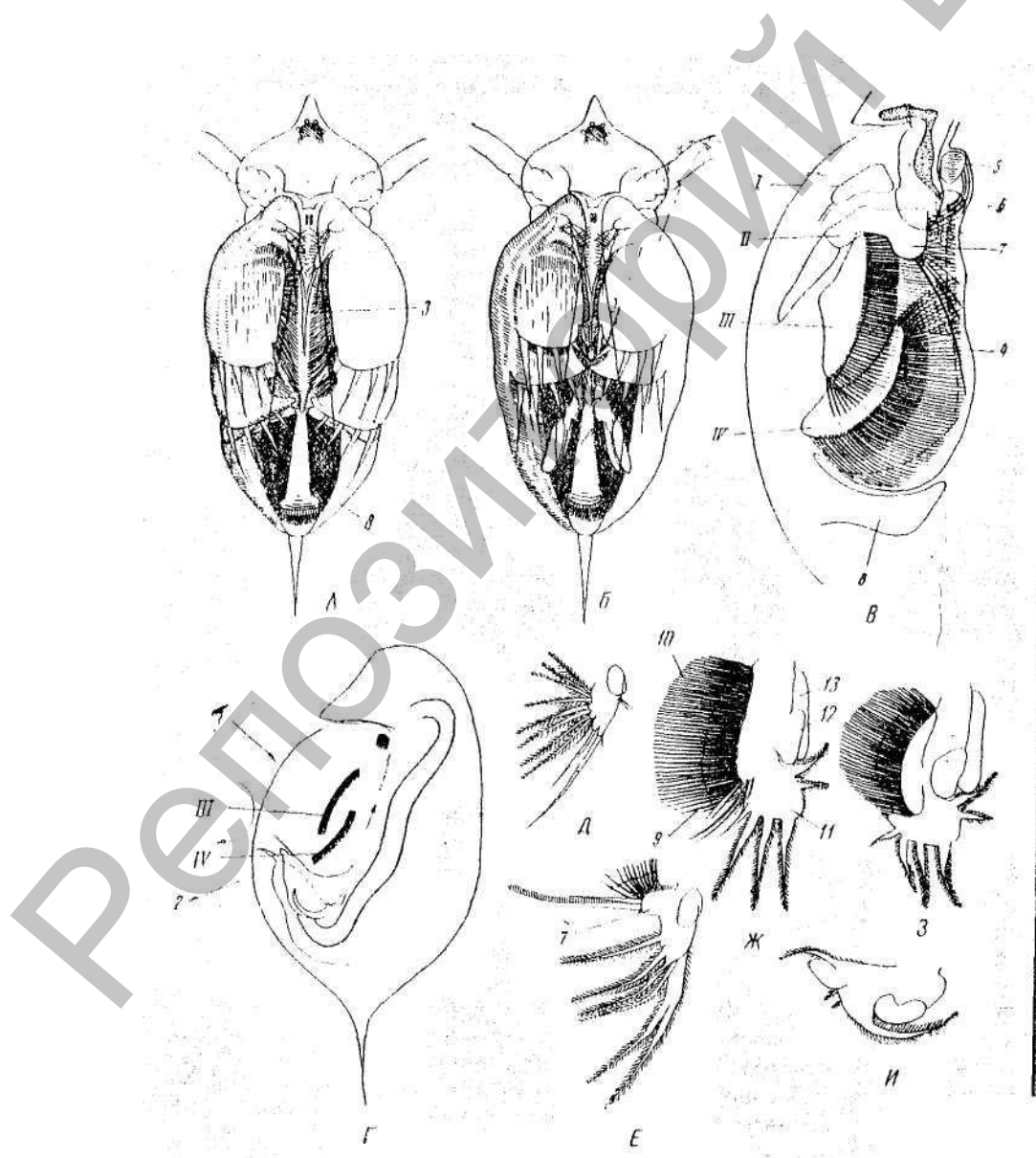


Рис. 1. Питание фильтратов.

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 – презеиподит, I-IV ноги первой – четвертой пар.

выраженные и снабженные небольшим количеством щетинок. Находятся у дистального (конечного) края первого эндита, между последним и хорошо развитым экзоподитом, несущим четыре конечные и две боковые большие щетинки; на наружной стороне ноги находятся эпиподит и хорошо развитый презеиподит. Ноги четвертой пары в общем сходны с ногами третьей пары, отличаясь, главным образом, полной редукцией дистальных эндитов и другой формой -экзоподитов. Ноги последней, пятой, пары имеют иное строение; в базальной части находятся эпиподит и презеиподит; 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 презеиподит 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 плоское 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 пар отделяются от ног пятой пары, вода выдавливается из всасывательных камер, чему способствует также движение, вызываемое ногами пятой пары, поднимающимися в это время в свое исходное положение.

Вдоль всей фильтрационной камеры проходит брюшной желобок, в котором отфильтрованные частицы сестона направляются, вперед вместе с током воды, вызываемым движениями проксимальных щетинок ног третьей и четвертой пар, а также длинных щетинок максиллярных выростов ног второй пары; остальные щетинки максиллярных выростов служат для сжимания скопившихся между ними пищевых частиц в комочки и для отправки их в ротовое отверстие.

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

Лабораторная работа № 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:

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

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_{jm}) и хищных (C_{jx}) 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 ²	Биомасса (B_i), мг/м ²	Коэффициент		K_2
				a	b	
<i>Sphaerium suecicum</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	Q_i , мгО ₂ /ч	R_i , кал/сут	R_j , кал/(м ² ·сут),	P_j , кал/(м ² ·сут),	C_j , кал/(м ² ·сут),	R_c , кал/(м ² ·сут), (Дж/м ² ·сут), (Д	P_c , кал/(м ² ·сут), (Дж/м ² ·сут))
---------	-----------------------	--------------------------------	--------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--	--

	(1)	по (2)	по ()	по ()	по ()	по ()	ж/м ² *су т)) по ()	по ()
Sphaerium suecicum	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 (Ni), экз./м ²	Биомасса (B i), мг/ м ²
<i>См. 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>См. 2, H = 18 м, t = 10 °C</i>		
<i>Uncinais 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>Tanypus punctipennis</i>	160	134,0
<i>См. 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

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

Примечание:

¹За исключением *Baetis rhodani*.

²*Baetis rhodani* (поценка) включается только для классификации.

³Понятие «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

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). Полученные и промежуточные результаты занести в таблицу 2. Сделать выводы.

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

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

Q (л/сек) - расход воды, C₀ - количество органического загрязнения в начале участка, C_t - то же в конце участка. Полученный результат перевести в граммы.

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

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

C₀ - количество органического загрязнения в начале участка, C_t - то же в конце участка, t (с) - время добегания воды на участке.

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

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

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

$$g' = g/(1-k), \text{ г/м}^2$$

Таблица 1 - Осредненные биомассы основных групп гидробионтов на исследованных участках

Группа гидробионтов	р. Рауна	р. Светупе
Биомасса гидробионтов в грунтах и фитофильных биоценозах, г/м ²		
Бактериопланктон		0,6
Простейшие	0,75	0,89
Коловратки и ракообразные	10,5	24,6

Макробентос	33	16,6
Всего		
Взвешенная биомасса, г/л		
Бактериопланктон	0,002	0,0006
Фитопланктон	0,001	0,002
Зоопланктон	0,001	0,016
Всего		

Таблица 1 - Количественные показатели процессов самоочищения в реках

Параметр	р.Рауна	р.Светуге	Обозначения в таблице
Q, л/с	90	120	Расход воды
v, м/с	0,3	0,1	Скорость течения
t, с	26666	80000	Время добегания воды на участке
P, м	6	10	Ширина русла
k	0,4	0,6	Коэффициент зарастаемости
$g/(1-k)$, г/м ²			Биомасса гидробионтов в грунтах и фитофильных биоценозах с учетом k
g", г/л			Взвешенная биомасса
C ₀ (ХПК воды + БПК _{5седим})	(61+332)=393	(35+438)=473	Кол-во органического загрязнения в начале участка
C _t (ХПК воды + БПК _{5седим})	(32+172)=204	(35+262)=295	
S _m , г/с			Величина самоочищения
S _r *10 ⁻³ , г/л*с			Скорость самоочищения
S _r *10 ⁻³ , гO ₂ /л*с			Интенсивность самоочищения

5. БЛОК КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ГИДРОЭКОЛОГИЯ»

5.1. Тесты по дисциплине «ГИДРОЭКОЛОГИЯ» для студентов ДО (3,5 курсов) и ЗО

1. Гомотермия водоема характерна для периода:

- а) весенней инверсии,
- б) летней стагнации,
- в) осенней инверсии,
- г) обратной стратификации.

2. Металимнион характеризуется:

- а) более или менее одинаковыми температурами, богат кислородом, фитопланктоном, хорошо освещен;
- б) областью высоких градиентов температур;
- в) низкими температурами, беден кислородом, слабым проникновением света;
- г) нет правильного ответа.

3. Пресные воды – это воды с соленостью до:

- а) до 0,5 ‰;
- б) до 1 ‰;
- в) от 30 до 40 ‰;
- г) более 4 ‰.

4. К пелагическим (океаническим) грунтам не относятся:

- а) глобигериновый ил;
- б) диатомовый ил;
- в) пелагические осадки, образованные главным образом из трупов обитателей пелагиали;
- г) грунты, образуемые за счет продуктов разрушения суши.

5. Для меромектических озер характерно:

- а) наличие слоя воды, не перемешивающегося с основной массой во время циркуляции;
- б) стратификация происходит редко и непродолжительна,
- в) отсутствие стратификации;
- г) нет правильного ответа.

6. В классификации вод по солености О.А.Алекина отсутствует следующий класс:

- а) гидрокарбонатные;
- б) сульфатные;
- в) хлоридные;
- г) фосфорсодержащие.

7. Какой тип происхождения у озер с данной характеристикой: мелководные озера, весьма разнообразные по форме с сильно расчлененными берегами и многочисленными островами:

- а) вулканические;
- б) термокарстовые;
- в) карстовые;
- г) моренные.

8. Инвазия это:

- а) поступление кислорода в водоем из атмосферы;
- б) продукция кислорода при фотосинтезе,
- в) поступление кислорода в водоем с атмосферными осадками;
- г) отсутствие кислорода в воде.

9. Эвтрофные озера это:

- а) заболоченные с торфянистыми отложениями на дне, сильно гумифицированные водоемы;
- б) глубокие, с узкой прибрежной зоной и слабым поступлением биогенов водоемы;
- в) мелководные с богатой органикой и черным илом, наблюдаются ежегодные зимние заморы рыб;

г) неглубокие равнинные озера с широкой прибрежной полосой, обильным поступлением биогенов, хорошо выраженным, богатым кислородом эпилимнионом.

10. *Лотические экосистемы это:*

- а) озера;
- б) болота;
- в) реки;
- г) лужи.

11. *Для зообентоса прибойной песчаной литорали характерно:*

- а) значительное обилие в видовом и количественном отношении;
- б) значительное количество, но небольшое видовое разнообразие;
- в) незначительное количество и качественное однообразие;
- г) отсутствие организмов.

12. *Стоячи, периодические колебания всей водной массы озера это:*

- а) волны;
- б) денивеляции;
- в) сейши;
- г) цунами.

13. *Зона пелагиали, расположенная над свалом и котлом это:*

- а) собственно пелагаль;
- б) профундаль;
- в) тальвег;
- г) бровка.

14. *Зона водоема, куда не проникает солнечный свет:*

- а) сумерочная зона;
- б) фотическая зона;
- в) эпилимнион;
- г) афотическая зона.

15. *Часть дна долины, по которому вода течет в половодье:*

- а) речная система;
- б) медиаль;
- в) пойма;
- г) надпойменная терраса.

16. *Наибольшей плотностью вода обладает при:*

- а) +4°C;
- б) 0 °C;
- в) -1 °C;
- г) +1 °C

17. *Полезный объем воды водохранилища это:*

- а) объем воды в водохранилище, который может сбрасываться;
- б) приплотинный объем воды;
- в) объем, из которого выпуск воды не возможен;
- г) объем воды верхнего участка водохранилища.

18. *Консорциумы характерны для:*

- а) организмов планктона;
- б) организмов бентоса;
- в) организмов нектона;
- г) макрофитов.

19. *С помощью индекса Шеннона оценивают:*

- а) биомассу гидробионтов,
- б) численность гидробионтов,
- в) освещенность водоема;
- г) видовое разнообразие гидробиоценоза.

20. *Кумулятивный токсикоз это:*

- а) накопление токсикантов в организме гидробионтов с быстрым высвобождением накопленного яда и поступлением его в кровь и мозг при стрессовых ситуациях (дефицит кислорода в воде, период нереста);
- б) смешанное заболевание, при котором токсиканты и паразиты ослабляют хозяина и вызывают его гибель;
- в) передача токсиканта по трофической цепи;
- г) нет правильного ответа.

21. *Химические факторы самоочищения воды в водоеме:*

- а) сорбция и седиментация;
- б) фильтрационная деятельность дафний и моллюсков;
- в) метаболиты, выделяемые в воду гидробионтами;
- г) гидролиз и фотолиз.

22. *Планктон рек это:*

- а) криопланктон;
- б) реопланктон;
- в) лимнопланктон;
- г) гелеопланктон.

23. *Организмы нектона это:*

- а) рыбы;
- б) микроорганизмы;
- в) коловратки;
- г) простейшие.

24. *Поток воды в реке имеет:*

- а) ламинарный характер;
- б) турбулентный характер;
- в) температурную стратификацию;
- г) кислородную дихотомию.

25. *Голопланктон это:*

- а) организмы, обитающие в толще воды только на каком-то отрезке своего активного существования, а остальную часть жизни, ведущие иной образ жизни;
- б) организмы, которые всю активную жизнь проводят в воде и только покоящиеся стадии могут находиться на дне;
- в) оба ответа правильные;
- г) нет правильного ответа.

26. *Миграции, направленные из открытого моря к его берегам называются:*

- а) инвертированными;
- б) прямыми.
- в) катадромными;
- г) анадромными;

27. *Наибольшие показатели первичной продуктивности в Мировом океане характерны для:*

- а) открытых районов (океаническая зона);
- б) неретической зоны;
- в) зоны апвеллинга;
- г) придонных глубинных слоев воды.

28. *Выбрать лишнее высказывание: величина вторичной продукции в водной среде выражается:*

- а) в единицах сырой или сухой массы;
- б) в кДж;
- в) в количестве образующихся экскрементов;
- г) в количестве образующихся белков, жиров и углеводах.

29. *Заморы рыб у береговой зоны озера во время цветения воды возникают в результате:*

- а) засорения жаберного аппарата рыб;
- б) дефицита кислорода;
- в) отравления альготоксинами;

г) все ответы правильные.

30. Основные вещества, обуславливающие эвтрофикацию водоема:

- а) марганец и железо;
- б) ртуть;
- в) кремний;
- г) азот и фосфор.

31. Размеры макрозообентоса:

- а) менее 2 мм;
- б) более 2 мм;
- в) 2-4 мм;
- г) более 2 см.

32. Бенталь это:

- а) экологическая зона водоема - толща воды, не связанная с дном водоема;
- б) разновидность горизонтальных миграций гидробионтов;
- в) ближайшая к дну водоема экологическая зона;
- г) группировка макрофитов.

33. Ультраабиссаль это:

- а) океаническое ложе до глубины 5км;
- б) материковый склон;
- в) океаническое ложе глубже 6-7 км;
- г) часть берега, увлажняемая заплесками и брызгами воды.

34. Склепочный метод в гидроэкологии используется для определения:

- а) первичной продукции;
- б) вторичной продукции;
- в) солености воды;
- г) численности гидробионтов.

35. Постоянная стратификация, обусловленная различиями в химическом составе вод наблюдается:

- а) в димиктических озерах;
- б) в полимиктических озерах;
- в) в меромиктических озерах;
- г) в олигомектических озерах.

36. Выбрать температурную зону Мирового океана, соответствующую следующей характеристике: температурные колебания составляют 8-12 °С, северная граница 60°с.ш., южная - 40°ю.ш.:

- а) тропическая зона;
- б) нотальная зона;
- в) бореальная зона;
- г) арктическая зона.

37. К stenothermic организмам, не встречающимся при положительных температурах воды относят:

- а) криофильных гидробионтов;
- б) термофильных;
- в) стеногадных;
- г) эвригадных.

38. Аллотропия (циломорфоз) относится к:

- а) физиологическим адаптациям;
- б) морфологическим адаптациям;
- в) поведенческим адаптациям;
- г) не является адаптацией.

39. Адаптивная особенность веслоногих, позволяющая им конкурировать и занимать значительную долю в зоопланктоне озер:

- а) партеногенетическое размножение;
- б) наличие эфиппийных, «зимних» яиц;

- в) наличие выводковой камеры;
- г) «способность» самок сохранять сперму от одной копуляции, которой достаточно для оплодотворения многих кладок.
40. В приплотинном участке водохранилища по сравнению с верховьем наблюдается: а) увеличение биомассы бентоса;
- б) снижение биомассы бентоса;
- в) увеличение видового разнообразия бентоса;
- г) отсутствие бентоса.
41. Экологические зоны бентали озер:
- а) только литораль;
- б) сублитораль и прибрежная зона;
- в) прибрежная зона и собственно пелагиаль;
- г) литораль, сублитораль, профундаль.
42. Популяционная разнокачественность выражена сильнее у:
- а) морских гидробионтов;
- б) гидробионтов, обитающих в океанах;
- в) пресноводных организмов;
- г) все ответы правильные.
43. «Объемный метод» расчета биомассы планктона это:
- а) расчет биомассы в камере Нажжота;
- б) использование расчетных таблиц, в которой приведена «сухая» масса каждой стадии развития организмов;
- в) отождествление формы клеток водоросли с определенной геометрической фигурой с применением математических формул.
- г) вычисление индекса Жаккара.
44. Сравнение видового разнообразия двух гидробиоценозов производят используя:
- а) индекс доминирования Симпсона;
- б) индекс Шеннона;
- в) индекс Серенсена;
- г) визуальный метод.
45. Согласно теории речного континуума:
- а) от участков верхнего течения к устью закономерно изменяются только гидрологические показатели (скорость течения), ширина и глубина реки;
- б) от участков верхнего течения к устью закономерно изменяются скорость течения, ширина и глубина реки; нарастает количественно и изменяется качественно состав гидробионтов;
- в) от участков верхнего течения к устью закономерно изменяется только скорость течения;
- г) гидробиологические и гидрологические характеристики остаются неизменными.
46. Согласно термической классификации озер Ф.Фореля выделяют следующие группы:
- а) озера холодного типа, умеренного типа;
- б) холодные моноектические, теплые моноектические, димиктические;
- в) умеренного типа, бореального типа, тропического типа;
- г) полярного типа, тропического типа, умеренного типа.
47. До нижней границы распространения водной растительности простирается:
- а) сублитораль;
- б) литораль;
- в) собственно пелагиаль;
- г) бореаль.
48. В олигогалинных озерах содержание солей составляет:
- а) 0,5-1‰;
- б) до 16‰;
- в) 16-47‰;
- г) более 47‰.
49. Интенсивное развитие диатомовых водорослей в первую половину лета обусловлено:
- а) концентрацией марганца в толще воды;

- б) уменьшением железа в воде;
- в) увеличением железа в воде;
- г) увеличением концентрации солей марганца.

50. *Линия, соединяющая самые низкие точки долины реки это:*

- а) пойма;
- б) стрежень;
- в) тальвег;
- г) бровка.

51. *Расход воды в реке это:*

- а) количество воды, протекающее в единицу времени через поперечное сечение реки;
- б) весь объем воды в реке в половодье;
- в) весь объем воды в реке в период между половодьями;
- г) разница между количеством воды в реке в половодье и в межень.

52. *Рипаль это:*

- а) срединная часть реки;
- б) прибрежная часть реки;
- в) линия сопряжения склона долины с прилегающей местностью;
- г) нет правильного ответа.

53. *Скорость течения воды в реке:*

- а) прямо пропорциональна площади сечения потока;
- б) обратно пропорциональна площади сечения потока;
- в) не зависит от уклона ложа;
- г) слабее в толще воды и на поверхности.

54. *Аргиллореофильные биоценозы это биоценозы:*

- а) зарослей макрофитов;
- б) глинистых участков реки;
- в) заиленного побережья;
- г) мангровых зарослей.

55. *Из отдельных экологических группировок в реках незначительно обильны или практически отсутствуют представители:*

- а) перифитона;
- б) nekтона;
- в) бентоса;
- г) плейстона.

56. *Характерные черты реопланктона:*

- а) преобладает зоопланктон над фитопланктоном;
- б) в зоопланктоне преобладают коловратки над ракообразными;
- в) в фитопланктоне преобладают зеленые водоросли;
- г) преобладают веслоногие над ветвистоусыми.

57. *Планктон в реках:*

- а) располагается достаточно равномерно в горизонтальном направлении;
- б) располагается достаточно равномерно по вертикале;
- в) характерна вертикальная стратификация;
- г) отсутствует.

58. *Максимум бактерий в реопланктоне наблюдается:*

- а) в паводок;
- б) половодье;
- в) стрежень;
- в) межень.

59. *Обособившиеся участки речного русла, утратившие связь с рекой это:*

- а) меандры;
- б) перекаты;
- в) старицы;
- г) плесы.

60. Миграции, при которых животные сосредотачиваются у поверхности днем и держатся на глубине ночью, называются:

- а) сумеречными;
- б) прямыми;
- в) инвертированными;
- г) смешанными.

61. Скорость круговорота вещества:

- а) значительно выше в водных, чем наземных экосистемах;
- б) значительно выше в наземных, чем водных экосистемах;
- в) одинакова в наземных и водных экосистемах;
- г) нет правильного ответа.

62. Транзитный круговорот веществ:

- а) не характерен для экосистем;
- б) характерен для лентических экосистем;
- в) характерен для лотических экосистем;
- г) характерен для лотических и лентических экосистем.

63. Стагнофильные сообщества это:

- а) сообщества, приспособленные к условиям замедленного течения;
- б) сообщества, приспособленные к условиям проточности;
- в) сообщества льдов;
- г) сообщества талых вод.

64. Организмы, обитающие на поверхности грунта озера это:

- а) эндобентос;
- б) макробентос;
- в) микробентос;
- г) эпибентос.

65. К гипонейстону относятся:

- а) организмы, населяющие верхний слой воды толщиной 5 см;
- б) организмы, обитающие в толще грунта;
- в) обитатели пелагиали;
- г) обитатели верхней стороны пленки натяжения.

66. Бентосные организмы рек, обитатели камней и других твердых субстратов это:

- а) псаммореофильное сообщество;
- б) фитофильное сообщество;
- в) пелореофильное сообщество;
- г) литореофильное сообщество.

67. В каких биоценозах наблюдается высокое количественное и видовое разнообразие:

- а) аргилореофильных;
- б) псаммореофильных;
- в) пелореофильных;
- г) фитореофильных.

68. К аргилореофильным относятся:

- а) глинистые биоценозы;
- б) каменистые биоценозы;
- в) биоценозы макрофитов;
- г) биоценозы песков.

69. Биоценозы илов это:

- а) аргилореофильные;
- б) пелореофильные;
- в) литореофильные;
- г) псаммореофильные.

70. Пятна в малых реках, в которых, как правило, редкие и «полезные» виды переживают неблагоприятные условия, способны возобновлять свою численность это:

- а) гипореус;

- б) дрейф;
- в) рефугиумы;
- г) реопланктон.

71. К зоогенным факторам, влияющим на видовой состав и трофическую структуру гидробионтов относятся:

- а) морфометрия русла;
- б) гидрологический режим реки;
- в) загрязнение вод стоками;
- г) поселения и жизнедеятельность бобров.

72. Типы водохранилищ:

- а) речные, озерные и наливные;
- б) нерестовые, нагульные, маточные;
- в) карстовые, моренные, вулканические;
- г) пещерные, фреатические, интерстициальные.

73. Положительный реотаксис это:

- а) передвижение гидробионтов в сторону освещенной зоны водоема;
- б) врожденная поведенческая реакция гидробионтов, направленная на ориентацию против течения;
- в) врожденное поведение, обуславливающее прикрепление к субстрату;
- г) нет правильного ответа.

74. К поведенческим адаптациям гидробионтов, обитающих в водах, с быстрым течением относятся:

- а) обтекаемое тело;
- б) биолюминесценция;
- в) положительный тигмотаксис;
- г) отсутствие двигательных способностей.

75. Мезопланктон это организмы размером:

- а) менее 0,05 мм;
- б) от 1 до 10 мм;
- в) более 1 м;
- г) от 0,05 до 1 мм.

76. Гидатофиты это:

- а) погруженные в воду макрофиты;
- б) воздушно-водные макрофиты;
- в) организмы бентоса;
- г) организмы фитобентоса.

77. Онфауна это организмы:

- а) бентоса, живущие на поверхности грунта;
- б) перифитона;
- в) бентоса, обитающие на поверхности твердых субстратов (камни);
- г) организмы плейстона.

78. Качественный и количественный состав бентоса беднее:

- а) в пресных водоемах;
- б) морских водоемах;
- в) все ответы правильные;
- г) нет правильных ответов.

79. Планктон озер:

- а) криопланктон;
- б) лимнопланктон;
- в) потамопланктон;
- г) реопланктон.

80. Явление «хоминга» это:

- а) способность к горизонтальным и вертикальным миграциям;
- б) приспособленность к обитанию на поверхностной пленке натяжения воды;

- в) возвращение в место постоянного обитания;
- г) отсутствие конечностей.

81. *Пережат это:*

- а) мелководный участок реки с достаточно быстрым течением;
- б) самая глубокая часть реки, характеризующаяся замедленной проточностью;
- в) самый высокий уровень воды в реке;
- г) тонкий иловый нанос.

82. *Экологические зоны Мирового океана:*

- а) меандра и старица;
- б) пережат и плес;
- в) бенталь и пелагиаль;
- Г) рипаль и медиаль.

83. *Масса токсиканта, приходящаяся на единицу массы животного или растительного организма это:*

- а) концентрация токсиканта;
- б) уровень токсиканта;
- в) показатель токсиканта;
- г) доза токсиканта.

84. *Устойчивость к разрушению в течение многих лет, быстрое накопление и медленное выведение из организма характерно для:*

- а) нефти;
- б) тяжелых металлов;
- в) пестицидов;
- г) антисептиков.

85. *Выберите неправильный тезис:*

- а) процесс биофильтрации в водоеме дублируется несколькими группами организмов;
- б) в процессе самоочищения вод значимость биоты непрерывно и постоянно сохраняется на высоком уровне;
- в) химические процессы самоочищения вод обусловлены гидролизом и фотоллизом;
- г) процесс самоочищения вод обусловлен только физическими и химическими факторами.

86. *В морях массовое цветение воды обусловлено:*

- а) цианобактериями;
- б) зелеными водорослями;
- в) динофитовыми водорослями;
- г) развитием зоопланктона.

87. *Наиболее эффективный метод биологической борьбы при эвтрофикации водоема:*

- а) зарыбление водоема;
- б) изъятие вод гипolimниона;
- в) альголизация водоема представителями зеленых водорослей, с последующим зарыблением хищными рыбами;
- г) альголизация водоема представителями зеленых водорослей, с последующим зарыблением растительноядными рыбами.

88. *Выберите неверный тезис:*

- а) концентрация токсиканта и время его влияния связаны между собой зависимостью, отраженной уравнением Хабера;
- б) чем дольше гидробионты испытывают действие яда, тем ниже его концентрация, вызывающая отравление;
- в) низкие концентрации токсиканта за продолжительное время, влияют на водный организм также, как и высокие за короткое время;
- г) концентрация токсиканта и время его влияния не связаны между собой;

89. *Камера Богорова используется для подсчета:*

- а) форменных элементов;
- б) численности фитопланктона;
- в) численности зоопланктона;

г) численности бентоса.

90. Сбор бентоса производят с помощью:

- а) планктонной сети;
- б) батометра;
- в) дночерпателя;
- г) без использования каких либо приспособлений.

91. Компенсационный слой водоема это:

- а) верхний слой воды, где света достаточно для процессов фотосинтеза;
- б) нижний слой эвфотической зоны, где интенсивность фотосинтеза уравнивает дыхание;
- в) слой, куда не проникает свет;
- г) слой воды, где интенсивность фотосинтеза превышает интенсивность дыхания.

92. Прозрачность воды в водоеме определяют:

- а) визуально;
- б) батометром;
- в) гигрометром;
- г) диском Секки.

93. «Солевая граница», выше которой обитают типичные морские организмы, а ниже пресноводные является соленость воды:

- а) 25-30 ‰;
- б) 10-15 ‰;
- в) 5-8 ‰;
- г) 1-2 ‰.

94. Соленость воды водоема выражается:

- а) в промилле;
- б) в градусах;
- в) в процентах насыщения;
- г) в граммах.

95. Солоноватые воды подразделяются на:

- а) ультрагалинные и сверхгалинные;
- б) мезогалинные и полигалинные;
- в) гипогалинные и олигогалинные;
- г) полимектические и меромектические.

96. Гидробионты, способные к активной регуляции осмотического давления жидкости тела, поддерживающие относительное постоянство этого показателя внутренней среды, независимо от окружающей среды это:

- а) пойкилоосмотические организмы;
- б) гомойосмотические организмы;
- в) осмоконформеры;
- г) все морские гидробионты.

97. Эфиippium имеется у:

- а) веслоногих ракообразных;
- б) коловраток;
- в) ветвистоусых ракообразных;
- г) мшанок и губок.

98. Реки большей части Европейского континента относятся к:

- а) гидрокарбонатному классу;
- б) сульфатному классу;
- в) хлоридному классу;
- г) смешанному классу.

99. Артемия относится к:

- а) к пресноводным организмам;
- б) ультрагалинным организмам;
- в) моногалинным организмам;

г) организмам наземных экосистем.

100. Растения II пояса (концентрической зоны) литорали озер:

а) перистолистник и водяной лютик;

б) кувшинки, кубышки, рдесты;

в) водяной мох фонтиналис;

г) тростник, камыш, стрелолист.

5.2. Экзаменационные материалы для проверки практических навыков для студентов ДО и ЗО

Перечень практических навыков и умений по дисциплине «Гидроэкология» для студентов 3, 5 курсов. Специальность «Биоэкология»

1. Определить класс чистоты воды водотока по индексу (методу) Вудивисса.
2. Определить видовое разнообразие структуры пелофильного донного сообщества.
3. Рассчитать продуктивность популяции донного сообщества.

Определение класса чистоты воды водотока по индексу (методу) Вудивисса

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

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

Биотический индекс Вудивисса используется для определения качества воды в водотоках по структурным характеристикам зообентоса (донных организмов). Индекс учитывает общее разнообразие населяющих водоем донных беспозвоночных и наличие в нем организмов, принадлежащих к индикаторным группам. Оценка состояния рек проводится по 15-балльной шкале.

Алгоритм определения класса чистоты воды по методу Вудивисса:

1. Разбор проб. Проба, состоящая из растительных остатков, организмов зообентоса и некоторого количества грунта, разбирают в живом виде в эмалированных белых ванночках при обязательном дополнительном освещении настольной лампой. Разборка проб без подсветки допускается при ярком солнечном освещении. Маленькими порциями пробу помещают в белую эмалированную ванночку и разбавляют водой. Организмы зообентоса с помощью глазного пинцета переносят в склянки, для дальнейшего видового определения. Для обнаружения мелких организмов пробы разбирают под бинокуляром в чашке Петри, при восьмикратном увеличении. Помимо самих организмов, извлекают различные фрагменты организмов, которые могут пригодиться при определении вида (домики ручейников, жаберные пластинки

стрекоз и другие). Более тяжёлые организмы (пиявки, олигохеты, моллюски) чаще обнаруживаются в нижних слоях пробы, поэтому просматривают всю проба до конца. В качественных пробах зообентоса из крупных двустворчатых моллюсков извлекают организмы путём подрезания мышц, которые держат створки.

Склянки с животными снабжаются этикетками. Надпись на этикетке делалась разборчиво шариковой ручкой. Этикетка надёжно крепилась к склянке. В этикетке к пробе указывали водоём, пункт, створ, дату, вид пробы (качественная или количественная), количество склянок в пробах.

2. Видовой анализ организмов бентоса производят по определителю: Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны. –Лн.:УПИ -1951. - 160с. В каждой таксономической группе подсчитывают количество организмов. Выясняют, какие индикаторные (показательные) группы имеются в исследуемом водоеме (предложенной гидробиологической пробе). Для этого разобранный пробу сортируют по систематическим группам до семейств. Поиск начинают с наиболее чувствительных к загрязнению групп организмов - веснянок, затем поденок, ручейников, т.е. в том порядке, в котором эти группы расположены в таблице. Если в исследуемом водоеме имеются личинки веснянок (Plecoptera), то дальнейшую работу надо вести по первой или второй строчке таблицы. Если найдено несколько видов веснянок, то наша строка в таблице - первая, если найден только один вид - наша строка вторая. Если личинок веснянок в наших пробах нет, в них ищут личинок поденок (Ephemeroptera). Если они найдены, то, в зависимости от количества найденных видов, мы будем работать с третьей или четвертой строкой. При отсутствии личинок поденок надо обратить внимание на наличие личинок ручейников (Trichoptera) и т.д.

3. Оценка общего разнообразия бентосных организмов. Надо определить количество "групп" бентосных организмов в пробе. При использовании метода Вудивисса за "группу" принимается любой вид плоских червей, моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей, веснянок, сетчатокрылых, жуков, любой вид личинок других насекомых. А также:

- семейство комаров-звонцов (личинки), кроме вида *Chironomus* sp.;
- отдельно *Chironomus* sp.;
- класс малощитинковые черви;
- любое семейство ручейников;
- любой род поденок, кроме *Baetis rhodani*;
- личинки мошки (семейство Simuliidae).

4. Определение индекса Вудивисса. Определив количество групп в нашей пробе, находим соответствующий столбец в таблице 1. На пересечении найденных нами строки и столбца в таблице находим индекс Вудивисса. Его значение изменяется от 0 до 15 и измеряется в баллах.

5. Оценка качества воды. Состояние исследуемого водоема по этому индексу определяется следующим образом:

0-2 балла - очень сильное загрязнение (5-7 класс качества), водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии.

3-5 баллов - значительное загрязнение (4-5 класс качества).

6-7 баллов - незначительное загрязнение водоема (3 класс качества).

8-10 баллов и выше - чистые реки (1-2 класс качества).

Таблица 1. Биотический индекс р.Трент(метод Вудивисса)

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

Примечание:

¹За исключением *Baetis rhodani*.

²*Baetis rhodani* (поценка) включается только для классификации.

³Понятие «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 вислоккрылок (*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*).

Определение видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества

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

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

Видовое (таксономическое) разнообразие того или иного сообщества является показателем его экологического состояния. Известно, что в благоприятных условиях формируются богатые по числу видов (таксонов) биоценозы, которые отличаются полидоминантностью, то есть высокими показателями численности и биомассы могут характеризоваться сразу 5–6 и более видов. В сообществах, обитающих в экстремальных условиях, как правило, снижается видовое (таксономическое) разнообразие, и они становятся монодоминантными, то есть высокую численность и биомассу имеет 1, в крайнем случае, 2 вида. В таких условиях происходит изменение структуры донных сообществ, которое может быть выражено индексами видового разнообразия. Приведём примеры расчёта двух из них.

I. Определение видового разнообразия структуры пелофильного донного сообщества с использованием индекса Шеннона.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. На основе данных таблицы 1 рассчитать индекс Шеннона по биомассе донного сообщества:

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

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

6. Полученные данные по пунктам 4 и 5 внести в таблицу 2.

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

Таблица 1 - Абсолютные и относительные средние величины численности (N) и биомассы (B) донных животных глубоководной части пруда

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

Таблица 2 - Расчет индекса Шеннона для пелофильного сообщества глубоководной зоны пруда

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

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

1. Индекс выравненности Бергера-Паркера (d) более прост для вычисления:

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

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

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

1. Занести исходные данные (Таблица 3) по численности (N) и биомассе (B) видов донного сообщества в таблицу 4 за данные периоды наблюдений.

2. Рассчитать общую численность и биомассу организмов донного сообщества, полученные данные занести в таблицу 4 (Всего).

3. Рассчитать индекс Бергера–Паркера за каждую дату наблюдений, данные занести в таблицу 4.

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

Задание 2. Проследить за изменением структуры пелофильного донного сообщества глубоководной зоны пруда в июле 2005 г. Для этого рассчитать индекс Бергера–Паркера за каждую дату. Численность донных животных привести по таблице 3. Результаты занести в таблицу 4. Сделать выводы.

Таблица 3 - Видовой состав, численность (N, экз./м²), биомасса (B, г/м²) донных животных в пробах из глубоководной части пруда (биоценоз профундали)

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

Таблица 4 - Численность донных животных (экз./м²) и расчет индекса Бергера - Паркера для пелофильного донного сообщества в июле

Вид	02.07.	08.07	17.07.	25.07	31.07
<i>Tubifex tubifex</i>					
<i>Stylaria lacustris</i>					
<i>Pisidium amnicum</i>					
<i>Procladius</i>					

<i>choreus</i>					
<i>Chironomus plumosus</i>					
Всего					
<i>d</i>					

Расчет продуктивности популяции донного сообщества

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

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

Отработка практического навыка: Рассчитать продуктивность популяции донного сообщества. Исходные данные табл.1.

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

Вид (i)	Способ питания	Численность (N_i), экз./м ²	Биомасса (B_i), мг/м ²	Коэффициент		K_2
				a	b	
<i>Sphaerium suecicum</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</i>	Мирный	80	12,0	0,105	0,75	0,30

<i>lacustris</i>						
<i>Berosus luriduse</i>	Облигатно- хищный	40	120,0	0,159	0,75	0,30

Алгоритм расчетов

Пример расчета по *Sphaerium suesicum* (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:

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

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):

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

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

Вид (j)	W_j , г/особь по (1)	Q_j , мгО ₂ /ч по (2)	R_j , кал/сут по ()	R_j , кал/(м ² · сут), по ()	P_j , кал/(м ² · сут), по ()	C_j , кал/(м ² · сут), по ()	R_c , кал/(м ² · сут), (Дж/ м ² ·сут)) по ()	P_c , кал/(м ² · сут), (Дж/м ² · сут)) по ()
<i>Sphaerium vesicatum</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).

Таблица 3. Варианты примеров для индивидуальной работы

Вид (i)	Численность (Ni), экз./м ²	Биомасса (B i), мг/ м ²
<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>Tanypus 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

5.3. Вопросы к экзамену для студентов ДО (3 курс)

1. Гидроэкология как наука, ее предмет, задачи и место в системе научных дисциплин.
2. История развития гидроэкологических исследований.

3. Вертикальное распределение температуры в озерах умеренной зоны. Прямая и обратная температурная стратификация, понятие термоклина.
4. Температурные зоны Мирового океана.
5. Термические классификации озер Ф.Фореля, Д.Хатчинсона.
6. Температурные адаптации пойкилотермных и гомойотермных гидробионтов.
7. Кислород как экологический фактор водной среды.
8. Устойчивость и адаптация водных организмов к дефициту кислорода.
9. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Световые зоны водоема.
10. Классификация природных вод по солевому составу (Венецианская система).
11. Солевой состав континентальных вод (классификация О.А. Алекина).
12. Классификация озер: по происхождению; по характеру водного питания; биолимнологическая; ихтиологическая.
13. Вертикальное расчленение озера. Экологические зоны бентали и пелагиали.
14. Основные факторы среды озер: движение водных масс; температурный и световой режимы; характер грунтов.
15. Население озер: экология фито- и зоопланктона.
16. Население озер: экология nekтона, бентоса и макрофитов.
17. Морфология реки и речной долины.
18. Гидрологический и гидрохимический режимы рек.
19. Население рек: отличительные характеристики реопланктона.
20. Теория речного континуума. Перекаты и плесы.
21. Экология малых рек. Концепция динамики пятен и рефугиумов при антропогенных и зоогенных воздействиях.
22. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры.
23. Экологические особенности болот: общая характеристика, гидробионты болотных экосистем.
24. Экология и население пещерных вод.
25. Поверхностные и глубинные интерстициальные воды. Псаммон как экологическая система.
26. Экологическая зональность Мирового океана и морей.
27. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: характер грунтов.
28. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: водные массы.
29. Планктон и nekтон. Вертикальные и горизонтальные миграции гидробионтов.
30. Бентос и пелагобентос.
31. Перифитон и макрофиты.
32. Нейстон и плейстон.
33. Первичная продукция в различных водоемах. Методы ее определения.
34. Вторичная продукция водоемов. Методы ее определения.
35. Освоение и воспроизводство биологических ресурсов гидросферы. Аквакультура.
36. Эвтрофикация водоемов: химические и физические факторы эвтрофирования.
37. Эвтрофикация как гидробиологический процесс. «Пятна цветения» и их характеристика.
38. Негативные последствия эвтрофикации и меры по предотвращению цветения водоема.
39. Химическое загрязнение водоемов: реакции гидробионтов на токсическое воздействие.
40. Основные загрязняющие вещества и их влияние на гидробионтов.
41. Радионуклидное загрязнение водных экосистем и его влияние на гидробионтов.
42. Самоочищение водных экосистем: физические и химические процессы, ведущие к очищению воды.
43. Основные функциональные блоки биологического самоочищения водоемов.
44. Общие принципы функционирования биоты, как фактора самоочищения воды.

Вопросы к экзамену для студентов ДО (5 курс)

1. Гидроэкология как наука, ее предмет, задачи и место в системе научных дисциплин.
2. История развития гидроэкологических исследований.
3. Основные направления развития и методы гидроэкологии.
4. Водные массы как компонент гидрологической структуры водоемов. Гидрологические показатели водных объектов.
5. Вертикальное распределение температуры в озерах умеренной зоны. Прямая и обратная температурная стратификация, понятие термоклина.
6. Температурные зоны Мирового океана.
7. Термические классификации озер Ф.Форея, Д.Хатчинсона.
8. Влияние температуры на биологические явления.
9. Температурные адаптации пойкилотермных и гомойотермных гидробионтов.
10. Кислород как экологический фактор водной среды.
11. Устойчивость и адаптация водных организмов к дефициту кислорода.
12. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Световые зоны водоема.
13. Классификация природных вод по солевому составу (Венецианская система).
14. Солевой состав континентальных вод (классификация О.А. Алекина).
15. Осмотические факторы среды и осморегуляция у гидробионтов.
16. Классификация озер: по происхождению; по характеру водного питания; биолимнологическая; ихтиологическая.
17. Типы озер в зависимости от характера и степени развития водной растительности.
18. Вертикальное расчленение озера. Экологические зоны бентали и пелагиали.
19. Основные факторы среды озер: движение водных масс; температурный и световой режимы; характер грунтов.
20. Население озер: экология фито- и зоопланктона.
21. Население озер: экология нектона, бентоса и макрофитов.
22. Сравнительная характеристика лотических и лентических местообитаний.
23. Морфология реки и речной долины.
24. Гидрологический и гидрохимический режимы рек.
25. Население рек: отличительные характеристики реопланктона.
26. Особенности населения бентоса в зависимости от биотопа.
27. Теория речного континуума. Перекаты и плесы.
28. Экология малых рек. Концепция динамики пятен и рефугиумов при антропогенных и зоогенных воздействиях.
29. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры.
30. Экологические особенности болот: общая характеристика, гидробионты болотных экосистем.
31. Экология и население пещерных вод.
32. Поверхностные и глубинные интерстициальные воды. Псаммон как экологическая система.
33. Экологическая зональность Мирового океана и морей.
34. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: характер грунтов.
35. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: водные массы.
36. Общая характеристика населения Мирового океана.
37. Классификации планктона.
38. Приспособления планктона и нектона к пелагическому образу жизни.
39. Вертикальные и горизонтальные миграции гидробионтов.
40. Бентос и пелагобентос.
41. Перифитон и макрофиты.
42. Нейстон и плейстон.
43. Структура и функциональные особенности популяций гидробионтов.
44. Первичная продукция в различных водоемах. Методы ее определения.
45. Вторичная продукция водоемов. Методы ее определения.
46. Освоение и воспроизводство биологических ресурсов гидросферы.

47. Аквакультура.
48. Эвтрофикация водоемов: химические и физические факторы эвтрофирования.
49. Эвтрофикация как гидробиологический процесс. «Пятна цветения» и их характеристика.
50. Негативные последствия эвтрофикации и меры по предотвращению цветения водоема.
51. Химическое загрязнение водоемов: реакции гидробионтов на токсическое воздействие.
52. Основные загрязняющие вещества и их влияние на гидробионтов.
53. Радионуклидное загрязнение водных экосистем и его влияние на гидробионтов.
54. Самоочищение водных экосистем: физические и химические процессы, ведущие к очищению воды.
55. Основные функциональные блоки биологического самоочищения водоемов.
56. Общие принципы функционирования биоты, как фактора самоочищения воды.

Вопросы к экзамену для студентов ЗО

57. 1. Гидроэкология как наука, ее предмет, задачи и место в системе научных дисциплин.
58. История развития гидроэкологических исследований.
59. Вертикальное распределение температуры в озерах умеренной зоны. Прямая и обратная температурная стратификация, понятие термоклина.
60. Температурные зоны Мирового океана.
61. Термические классификации озер Ф.Фореля, Д.Хатчинсона.
62. Температурные адаптации пойкилотермных и гомойотермных гидробионтов.
63. Кислород как экологический фактор водной среды.
64. Устойчивость и адаптация водных организмов к дефициту кислорода.
65. Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Световые зоны водоема.
66. Классификация природных вод по солевого составу (Венецианская система).
67. Солевой состав континентальных вод (классификация О.А. Алекина).
68. Классификация озер: по происхождению; по характеру водного питания; биолимнологическая; ихтиологическая.
69. Вертикальное расчленение озера. Экологические зоны бентали и пелагиали.
70. Основные факторы среды озер: движение водных масс; температурный и световой режимы; характер грунтов.
71. Население озер: экология фито- и зоопланктона.
72. Население озер: экология нектона, бентоса и макрофитов.
73. Морфология реки и речной долины.
74. Гидрологический и гидрохимический режимы рек.
75. Население рек: отличительные характеристики реопланктона.
76. Теория речного континуума. Перекаты и плесы.
77. Экология малых рек. Концепция динамики пятен и рефугиумов при антропогенных и зоогенных воздействиях.
78. Типы водохранилищ, особенности формирования фауны и флоры.
79. Экологические особенности болот: общая характеристика, гидробионты болотных экосистем.
80. Экология и население пещерных вод.
81. Поверхностные и глубинные интерстициальные воды. Псаммон как экологическая система.
82. Экологическая зональность Мирового океана и морей.
83. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: характер грунтов.
84. Основные факторы абиотической среды в Мировом океане: водные массы.
85. Планктон и нектон. Вертикальные и горизонтальные миграции гидробионтов.
86. Бентос и пелагобентос.
87. Перифитон и макрофиты.
88. Нейстон и плейстон.
89. Первичная продукция в различных водоемах. Методы ее определения.
90. Вторичная продукция водоемов. Методы ее определения.

91. Освоение и воспроизводство биологических ресурсов гидросферы. Аквакультура.
92. Эвтрофикация водоемов: химические и физические факторы эвтрофирования.
93. Эвтрофикация как гидробиологический процесс. «Пятна цветения» и их характеристика.
94. Негативные последствия эвтрофикации и меры по предотвращению цветения водоема.
95. Химическое загрязнение водоемов: реакции гидробионтов на токсическое воздействие.
96. Основные загрязняющие вещества и их влияние на гидробионтов.
97. Радионуклидное загрязнение водных экосистем и его влияние на гидробионтов.
98. Самоочищение водных экосистем: физические и химические процессы, ведущие к очищению воды.
99. Основные функциональные блоки биологического самоочищения водоемов.
100. Общие принципы функционирования биоты, как фактора самоочищения воды.

5.4. Темы контрольных работ

Требования к выполнению контрольной работы

Контрольная работа выполняется письменно в тетради, и сдается не позднее, чем за 2 недели до начала сессии. Номер контрольной работы выбирается согласно фамилии студента (список и номера контрольных смотреть в 419 ауд.).

Тематика контрольных работ по курсу «Гидроэкология» для студентов IV курса спец. «Биоэкология» заочной формы обучения

№ 1

1. **Гидроэкология как наука:** предмет и задачи, место в системе естественных дисциплин. Основные направления гидроэкологии.
2. Что такое гомотермия в водоеме, для каких сезонов года она характерна?

№ 2

1. **Методы гидроэкологических исследований.** Системный подход в экологии. Методы комплексного исследования водоема. Учет и измерение абиотических факторов водоема (температура, содержание кислорода, прозрачность, соленость воды и др.). Методы учета численности и биомассы популяций гидробионтов.
2. Что такое маталимнион (термоклин), для каких водоемов и в какой период он характерен?

№ 3

1. **Температура, как абиотический фактор среды водоемов.** Основные термодинамические свойства воды. Температурная стратификация в водоемах. Термическая классификация озер Ф.Форея, Хатчинсона.
2. Каковы причины гибели рыб при эвтрофикации водоемов?

№ 4

1. **Влияние температуры на биологические явления.** Стенотермные (криофильные и термофильные) и эвритермные организмы. Цикломорфоз. Прямое и косвенное влияние температуры на биологические явления.
2. Влияние нефтяного загрязнения на гидробионтов.

№ 5

1. **Кислород как важнейший экологический фактор гидросферы.** Источники поступления и выхода кислорода из водоема. Суточные и сезонные колебания кислорода в водоемах разного типа. Биохимическое потребление кислорода.
2. Что такое биолюминесценция, каковы ее основные причины среди гидробионтов?

№ 6

1. **Устойчивость водных организмов к дефициту кислорода.** Адаптации гидробионтов к снижению содержания кислорода в воде: поведенческие, физиологические, морфологические. Летние и зимние заморы и их причины.
2. Что такое кумулятивный токсикоз и когда он наблюдается у гидробионтов?

№7

1. **Свет.** Свет и его роль в функционировании водных экосистем. Основные закономерности проникновения света в воду. Световые зоны водоемов. Распределение гидробионтов в связи с условиями освещения.
2. Каковы основные причины заморов рыб?

№ 8

1. **Соленость, как экологический фактор водоема.** Солевой состав океанических и морских вод. Солевой состав континентальных вод.
2. Влияние тяжелых металлов на гидробионтов при загрязнении водоемов.

№9

1. **Адаптация гидробионтов к водно-солевым условиям среды.** Эвригалинные и стеногалинные гидробионты. Осмотические факторы среды и осморегуляция у гидробионтов. Адаптация гидробионтов к водно-солевым условиям среды.
2. Влияние пестицидов на гидробионтов при загрязнении водоемов.

№ 10

1. **Вязкость, плотность и поверхностное натяжение** как факторы, обеспечивающие плавучесть, опорность; влияние гидростатического давления на водное население.
2. Дать определение голопланктона, привести примеры типичных представителей.

№11

1. **Динамика водных масс** и ее влияние на формирование водных экосистем. Гидрологические показатели водных объектов: уровень воды, водный баланс, водообмен.
2. Перечислите адаптивные особенности пойкилоосмотических гидробионтов.

№ 12

1. **Течения и их классификация.** Значение движения воды для гидробионтов.
2. Перечислите адаптивные особенности гомойосмотических гидробионтов.

№ 13

1. **Экология озер.** Классификация озер по происхождению, характеру водного питания; биолимнологическая и ихтиологическая классификация озер.
2. Влияние внутриводоемных процессов на качество воды.

№ 14

1. **Экологические зоны бентали и пелагиали озер.** Морфометрические характеристики озер.
2. Для каких районов Мирового океана и почему характерны наибольшие показатели первичной продукции?

№ 15

1. **Основные факторы абиотической среды в озерах и их характеристика:** движение воды, температура, свет, растворенные в воде вещества и характер грунтов.
2. Что такое аллотропия (цикломорфоз), каковы ее причины и для каких представителей гидробионтов она характерна?

№ 16

1. **Население озер:** экология фито- и зоопланктона.
2. Дайте характеристику речных аргиллореофильных сообществ.

№ 17

1. **Население озер:** экология нектона, бентоса и макрофитов.
2. Дайте характеристику речных псаммореофильных сообществ.

№18

1. **Морфология реки и речной долины.** Экологические зоны речной системы. Теория речного континуума. Перекаты и плесы.
2. Дайте характеристику речных фитореофильных сообществ.

№ 19

1. **Гидрологический и гидрохимический режимы рек.**
2. Для каких водных экосистем характерен транзитный круговорот веществ, объясните почему?

№ 20

1. **Население рек:** отличительные характеристики реопланктона. Особенности населения бентоса в зависимости от биотопа.
2. Охарактеризуйте стагнофильные сообщества гидробионтов, приведите примеры типичных представителей.

№21

1. **Экология малых рек.** Концепция динамики пятен и рефугиумов при антропогенных и зоогенных воздействиях.
2. Каковы экология обитания и типичные представители гипонейстона?

№ 22

1. **Типы водохранилищ,** особенности формирования фауны и флоры.
2. Каковы экологические особенности и типичные представители гидатофитов?

№ 23

1. **Экологические особенности болот:** общая характеристика, гидробионты болотных экосистем.
2. Влияние промышленных предприятий и городов на экологию рек.

№ 24

1. **Экология и население пещерных вод.**
2. Влияние сельского хозяйства на экологию водоемов.

№ 25

1. **Поверхностные и глубинные интерстициальные воды.** Псаммон как экологическая система.
2. Процессы седиментации и осадкообразования и участие в них гидробионтов.

№ 26

1. **Экологическая зональность Мирового океана и морей.**
2. Дайте характеристику автотрофной сукцессии в водоеме.

№ 27

1. **Классификации планктона.** Приспособления планктона и нектона к пелагическому образу жизни.

2. Дайте характеристику гетеротрофной сукцессии в водоеме.

№ 28

1. **Вертикальные и горизонтальные миграции гидробионтов:** их экологическое значение.
2. Процессы фильтрации в водных экосистемах и участие в них гидробионтов.

№ 29

1. **Бентос и пелагобентос:** классификация, типичные представители и их адаптации.
2. Каковы экологические особенности населения эстуариев?

№ 30

1. **Перифитон и макрофиты.** Особенности экологии и адаптивные приспособления. Типичные представители.
2. Каковы формы воздействия бобров на экосистему малой реки?

№ 31

1. **Нейстон и плейстон.** Особенности экологии и адаптивные приспособления. Типичные представители.
2. Каковы экологические последствия осушения болот?

№ 32

1. **Структура и функциональные особенности популяций гидробионтов.**
2. Азотфиксация в водных экосистемах.

№ 33

1. **Первичная продукция в различных водоемах.** Методы ее определения.
2. Гидробиоценозы переходных экологических зон (экотонов).

№ 34

1. **Вторичная продукция водоемов.** Методы ее определения.
2. Экологические особенности малых рек.

№ 35

1. **Освоение и воспроизводство биологических ресурсов гидросферы.** Аквакультура.
2. Биологические факторы, обеспечивающие процессы самоочищения вод в водоемах.

№ 36

1. **Эвтрофикация водоемов:** химические и физические факторы эвтрофирования. Эвтрофикация как гидробиологический процесс. «Пятна цветения» и их характеристика.
2. Прудовое хозяйство.

№ 37

1. **Закономерности зарастания водотоков и водоемов.** Флуктуации в водных экосистемах.
2. Что такое эпилимнион, для каких водоемов и в какой период он характерен?

№ 38

1. **Негативные последствия эвтрофикации** и меры по предотвращению цветения водоема.
2. Что такое гипolimнион, для каких водоемов и в какой период он характерен?

№ 39

1. **Химическое загрязнение водоемов:** реакции гидробионтов на токсическое воздействие.
2. В какие сезоны года наблюдаются кислородная дихотомия, гомоосигения. Для каких типов водоемов характерна кислородная дихотомия?

№ 40

1. **Основные загрязняющие вещества** и их влияние на гидробионтов.
2. К организмам нектона относятся (выбрать правильные ответы): а) рыбы; б) микроорганизмы; в) коловратки; в) простейшие; г) щука; д); дельфины; е) медузы ж) моллюски.

№ 41

1. **Радионуклидное загрязнение** водных экосистем и его влияние на гидробионтов. Распределение и миграция радионуклидов в водных экосистемах. Накопление радионуклидов в организме гидробионтов.
2. Какой тип происхождения у озер с данной характеристикой: мелководные озера, весьма разнообразные по форме с сильно расчлененными берегами и многочисленными островами: а) вулканически; б) термокарстовые; в) карстовые; г) моренные; д) сатичные; е) тектонические.

№ 42

1. **Самоочищение водных экосистем:** физические и химические процессы, ведущие к очищению воды.
2. Перечислите основные адаптивные особенности гидробионтов обитателей в условиях быстрого течения воды.

№ 43

1. **Самоочищение водоемов.** Основные функциональные блоки биологического самоочищения водоемов. Общие принципы функционирования биоты, как фактора самоочищения воды.
2. Охарактеризуйте реофильные сообщества гидробионтов, приведите примеры типичных представителей.

№ 44

1. **Экологические особенности озер** на территории Республики Беларусь.
2. Что такое катадромные и анадромные миграции, для каких групп гидробионтов они характерны?

№ 45

1. **Экологические особенности рек** на территории Республики Беларусь.
2. Каковы адаптации гидробионтов к температурным условиям водоемов?

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения данной дисциплины необходимы:
Фиксированный биоматериал гидробионтов.
Бинокляр.
Микроскопы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛИТЕРАТУРА

О с н о в н а я:

- 1) *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
- 2) *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования экосистем / А.Ф. Алимов. СПб.: ЗИН РАН, 2000. 147 с.
- 3) *Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР / Л.А. Зенкевич. М., 1963.
- 4) *Константинов А.С.* Общая гидробиология / А.С. Константинов. М.: Высшая школа, 1986. 466 с.
- 5) *Литвенкова И.А.* Гидроэкология: методические указания по проведению лабораторных занятий по гидроэкологии. - Витебск: изд-во УО «ВГУ им. Машерова». -2007. -58с.
- 6) *Романенко В.Д.* Основы гидроэкологии / В.Д. Романенко. К.: Генеза, 2004. 664 с.

Д о п о л н и т е л ь н а я:

- 1) *Бульон В.В.* Первичная продукция планктона внутренних водоёмов / В.В. Бульон. Л.: Наука, 1983. 150 с.
- 2) *Бреховских В.Ф.* Биота в процессах массопереноса в водных объектах / В.Ф. Бреховских, В.Д. Казмирук, Г.Н. Вишневская. М.: Наука, 2008. 315 с.
- 3) *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. Мн.: Издательство АН БССР, 1960. 329 с.
- 4) *Жадин В.И.* Методы гидробиологических исследований. – М.: Высш. шк. -1960. -451с.
- 5) *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии / Г.А. Заварзин. М.: Наука, 2004. 348 с.
- 6) *Израэль Ю.А.* Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 528 с.
- 7) *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. В 2-х томах. /И.А. Киселев. Л.: Наука. Т.1. 1969. – 658 с. Т.2. 1980. 439 с.
- 8) *Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
- 9) *Крючкова Н.М.* Трофические взаимоотношения зоо– и фитопланктона / Н.М. Крючкова. М.: Наука, 1989. 124 с.
- 10) *Океанология (Биология океана). Т. 1. Биологическая структура океана.* М.: Наука, 1977. 398 с.
- 11) *Океанология (Биология океана). Т.2. Биологическая продуктивность океана.* М.: Наука, 1977. 399 с.
- 12) *Протасов А.А.* Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. Киев: Наукова думка, 1994. 307 с.
- 13) *Сущенко Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных / Л.М. Сущенко. Минск: Наука и техника, 1975. 208 с.
- 14) *Федоров В.В.* О методах изучения фитопланктона и его активности / В.В. Федоров. М.: Наука, 1979. 168 с.
- 15) *Хатчинсон Д.* Лимнология / Д. Хатчинсон. М.: Мир, 1969. 403 с.
- 16) *Шитиков В.К.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.