

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

З.Г. Гольд, В.М. Гольд

ОБЩАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие

**Красноярск
СФУ
2013**

УДК 577.6
ББК 28.082

Ф Г63
ГОЛЬД З.Г., ГОЛЬД В.М

Ф Г63 ОБЩАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ: учебно–методическое пособие / З.Г. Гольд, В.М. Гольд. – 2-е изд., перераб. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2013.

Пособие составлено в соответствии с учебными программами и материалами дисциплин «Общая гидробиология», «Санитарная гидробиология», «Водная токсикология», «Биотестирование вод», которые авторы настоящего пособия преподавали в Красноярском государственном и Сибирском федеральном университетах.

Учебно-методическое пособие условно делится на две части. В первую часть включены общетеоретические, классические аспекты гидробиологии – компоненты структуры, закономерности функционирования, сукцессии гидробиоценозов, эвтрофирование вод, оценка состояния водных экосистем и качества вод по химическим и биологическим показателям (биоиндикация, биотестирование). Во второй части представлены аспекты прикладной, практической гидроэкологии – методики гидробиологических исследований, экологический мониторинг, биоконверсия, нормативные критерии, документы (в т.ч. ГОСТЫ, нормативные акты, регламентирующие и ограничивающие антропогенные нагрузки на водные экосистемы). Детально приведено описание прибрежной водной растительности и перифитона, как наиболее востребованных в научно-практических исследованиях водных ресурсов.

В оценочных характеристиках и расчётах авторы использовали материалы 30-летнего экологического мониторинга, осуществлённого на водоёмах и водотоках Красноярского края. В настоящем (2-ом переработанном) варианте пособия сокращён объём презентационного раздела и расширен текстовый материал. Пособие составлено по словарному принципу, включает основные положения дисциплины и адресовано студентам, аспирантам и специалистам, обучающимся и работающим в области водных ресурсов.

УДК 577.6
ББК 28.082
© Авторы
© Сибирский
федеральный
университет, 2013

Учебно-методическое пособие
Зоя Георгиевна Гольд, Виктор Моисеевич Гольд

ОБЩАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ

Редактор О.Ф. Александрова

Подписано в свет 28 февраля 2013 г. Заказ 3755
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета

660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391) 244-82-31. E-mail rio@sfu-kras.ru <http://rio/sfu-kras.ru>

Содержание

1. Программные разделы и аспекты теоретической части дисциплины	5
Раздел 1.1. Гидробиология как самостоятельная эколого-биологическая дисциплина	5
Раздел 1.2. Водная среда как биотоп гидробионтов.....	8
Раздел 1.3. Важнейшие факторы водной среды и реакции на них организмов..	12
1.3.1. Температура.....	14
1.3.2. Свет.....	18
1.3.3. Соленость.....	20
1.3.4. Газовый режим	24
Раздел 1.4. Эколого-биологическая структура водных экосистем	27
1.4.1. Мировой океан	28
1.4.2. Озера	32
1.4.3. Водохранилища	38
1.4.4. Реки.....	44
Раздел 1.5. Жизненные формы гидробионтов.....	47
1.5.1. Планктон	49
1.5.2. Бентос	53
1.5.3. Нейстон. Плейстон.....	61
Раздел 1.6. Структурно-функциональные характеристики биотической компоненты водных экосистем	64
1.6.1. Популяция гидробионтов	65
1.6.2. Гидробиоценоз	77
1.6.3. Продукция и деструкция органического вещества	87
1.6.4. Первичная продукция	88
1.6.5. Вторичная продукция. Баланс органического вещества	91

Раздел 1.7. Проблемы прикладной гидробиологии	97
1.7.1. Эвтрофирование вод	98
1.7.2. Основные подходы к оценке качества воды. Химические дескрипторы.....	103
1.7.3. Биотестирование вод	108
1.7.4. Биологическая индикация.....	118
1.7.5. Стандартные методики оценки качества воды по биологическим показателям.....	122
2. Аспекты практической части дисциплины.....	127
Раздел 2.1. Научно-практические направления. Биоконверсия	127
Раздел 2.2. Эколого-биологическая характеристика биоты водных экосистем..	128
2.2.1. Фитопланктон. Прибрежные водные растения.....	128
2.2.2. Бактерио-, зоопланктон. Бентос. Перифитон.....	140
Раздел 2.3. Экологический мониторинг водных объектов	148
3. Литература.....	157
3.1. Литература к теоретической части.....	157
3.2. Литература к практической части	158

Цель дисциплины:

формирование у обучающихся биосферно-ноосферного мировоззрения на основе познания аспектов устойчивого развития водных экосистем в условиях антропогенного воздействия.

Основные задачи:

- уяснить особенности структуры и функционирования водных экосистем, обусловленные совокупностью организмов и неживых компонентов, связанных потоками вещества и энергии;
- уяснить основные принципы и механизмы развития прикладных аспектов гидробиологии;
- освоить методы и приёмы полевых и лабораторно-экспериментальных гидробиологических исследований.

1. Программные разделы и аспекты теоретической части дисциплины

Раздел 1.1. Гидробиология как самостоятельная эколого-биологическая дисциплина

Предмет, цели, задачи гидробиологии как науки о надорганизменном уровне водных экосистем. Место гидробиологии в системе биологических и экологических наук. Основные научные направления и этапы гидробиологии (описательный, количественный, системный). Научные школы, ведущие учёные в Российской гидробиологии: С.А. Зернов, В.И. Жадин, Л.А. Зенкевич, В.С. Ивлев, Г.Г. Винберг, А.Ф. Алимов и др. Задачи гидробиологии на современном этапе.

Гидросфера – водная оболочка Земли, включающая все воды, находящиеся в жидком, твёрдом и газообразном состояниях:

- *Мировой океан* = 1370 млн. км³ H₂O;
- *Континентальные воды* = 0,36 млн. км³ H₂O;
- *Подземные воды* = 60 млн. км³ H₂O;
- *Полярные ледники* = 24 млн. км³ H₂O;

Пресной воды, доступной для использования – 0,3% объёма воды на Земле.

Гидробиология (hydro – вода, bios – жизнь, logos – слово) – это наука о живом населении вод, включающая взаимоотношения между организмами и средой, определяющая биологическую продуктивность и роль организмов в трансформации энергии и вещества гидросферы.

Гидроэкология – наука, которая исследует водные системы и их население в пространстве и времени, в естественных и изменённых человеком условиях. Результаты таких исследований направлены на разработку способов рационального использования и оптимальной эксплуатации экосистем водоёмов и водотоков разного типа.

Предмет гидробиологии – *водная экосистема*.

В гидробиологии используют две *группы методов*:

1. *Полевые натурные исследования (in situ)*. Главный метод в этой группе – количественный. Основатель метода – Виктор Гензен (профессор физиологии Кильского университета);
2. *Экспериментальные методы*.

Гидробиология наиболее тесно связана с науками биологического цикла (ботаника, зоология, физиология и др.), *экологией* (общее – единство организмов и их среды обитания), *гидрологией* (наука о воде, занимается природными водами), *гидрохимией* (химический состав вод).

Как самостоятельная наука гидробиология сформировалась во второй половине XIX века (дата рождения – 1887г. – год изобретения В. Гензеном количественной планктонной сетки).

100-летний юбилей гидробиологии отмечали в 1987г. В России юбилейную школу проводили в Красноярском государственном университете по теме «Автоматизация расчётов структурно-функциональных показателей водных популяций».

К обособлению гидробиологии как самостоятельной науки привели *три причины*: кризис рыболовства; развитие морских и пресноводных биологических станций; загрязнение пресноводных и морских водных объектов.

В становлении и развитии гидробиологии выделяют *три этапа*:

I этап – в центре внимания *организм* в среде обитания – *аутэкологическое* направление, вводятся понятия планктон, нейстон, бентос, эврибионтные и стенобионтные организмы. Ихтиология обособляется в самостоятельную науку. Ведущие немецкие учёные – А. Тинеманн, И. Вольтерек, российские – Н.М. Книпович, С.А. Зернов, В.А. Жадин, В.Г. Богоров и др.

II этап – вводятся *количественные методы*, изучается сила воздействия отдельных факторов на количественное распределение популяций – исследования шли по пути *демэкологии*. Изучаются взаимоотношения организмов, популяций со средой и друг с другом, биоценозы – путь *синэкологии*. Обособляется ветвь *трофологии* (ведущие учёные данного направления – Н.С. Гаевская, И.К. Ивлева). Получили развитие *кинетические, продукционные* исследования, идея *баланса вещества и энергии* в биоценозе. Ведущие учёные этого этапа: А.Л. Бродский, В.С. Ивлев, Л.А. Зенкевич, Г.Г. Винберг, Д. Хатчинсон, С.Н. Строганов, Н.Н. Никольский и др.

III этап – системный подход к исследованию водных экосистем. Идея биотического баланса послужила платформой внедрения в гидробиологию системного подхода. *Системный анализ* – это комплексное, последовательное изучение организации и функциональных связей организменных и надорганизменных структур, их взаимодействие. Ихтиология возвращается в классическую гидробиологию. Имена ведущих специалистов (начало XXI в.) – А.С. Константинов, В.Д. Фёдоров, А.Ф. Алимов, Л.А. Сиренко, С.П. Китаев и др.

Преподавание гидробиологии в России началось в 1911-1912 уч.г. Н.В.Воронков начал читать курс Гидробиологии в МГУ. В 1914 г. была основана первая в России кафедра гидробиологии (зав. кафедрой С.А. Зернов) на рыбохозяйственном отделении Петровской (ныне Тимирязевской) с/х академии. В Красноярском госуниверситете подготовка гидробиологов и ихтиологов началась с 1968 г. на кафедре Общей биологии. Чтение лекций по гидробиологии до 2011 г. осуществляла проф. З.Г. Гольд; по ихтиологии до 1975г. – к.б.н. О.Л. Ольшанская (Красн. отд. Вост. Сиб. НИИ рыбного хоз-ва).

Важную роль в объединении гидробиологов всех стран сыграло Международное объединение лимнологов, основанное в 1922г. В СССР – Всесоюзное гидробиологическое общество АН СССР (с 1995 г. – *Российское гидробиологическое общество РАН*). В г. Красноярске с 1969 г. (председатель З.Г. Гольд) функционирует Красноярское отделение РГБО (с 1998г. председатель М.И. Гладышев). В 2010г. в г. Владивосток состоялся X съезд РГБО.

Главные отличия условий жизни в гидросфере и на суше состоят в следующем:

1. Тело аэробииотов окружено воздухом, имеющим малую плотность и большую подвижность. Тела гидробионтов окружены водой, имеющей большую плотность и малую подвижность. Удельный вес воды больше удельного веса воздуха в 775 раз, значит передвигаться в воде труднее, чем в воздушной среде. У аэробииотов органы равновесия играют крайне важную роль, у гидробионтов их роль незначительная.

2. Питательные вещества, т.е. соли N, P, Fe, K, Mg и др., в воде содержатся в растворённом виде и водные растения усваивают их всей поверхностью тела. Растения суши потребляют соли при помощи корней, погружённых в почву, водные растения корнями закрепляются в грунте.

3. В атмосфере жизнь сосредоточена преимущественно в тонком слое у поверхности Земли. В гидросфере гидробионты населяют всю толщу до дна.

4. В атмосфере кислорода относительно много и он находится в газообразном состоянии. В воде его относительно мало и он находится в растворенном состоянии, может создаваться дефицит кислорода. Аэробииотам дышать легче, гидробиотам – труднее.

5. В гидросфере большую значимость, чем в атмосфере, имеет динамическое (механическое) перераспределение веществ.

6. Различна эволюция водных и наземных сообществ за счет разумного существа (человека) и специализированных млекопитающих на суше.

Ведущие актуальные принципы исследований водных экосистем, в гидробиологии: структурно-функциональный; продукционно-трофический; энергетический (балансовый).

Самостоятельная подготовка

Основные государственные, частные, федеральные и муниципальные центры научных исследований и подготовки специалистов по водным экосистемам. Водные ресурсы Красноярского края.

1. Алимов А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Экология, 1982, №3;

2. Алимов А.Ф. Исследования биотических балансов экосистем пресноводных Водоёмов в СССР // Гидроб. журн., 1987, 23, № 6;

3. Биосфера (перевод с англ. под ред. М.С. Гилярова). – М.: Мир, 1972;

4. Богатов В.В., Алимов А.Ф., Телеш И.В. Актуальные проблемы гидробиологии // Вестник РАН, 2007, 77, № 6;

5. Богословский Б.Б., Самохин А.А. и др. Общая гидрология (гидрология суши): учебник.- Л.: Гидрометеиздат, 1984;

6. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее.- М.: Мысль, 1974.

Дополнительно см. литературу №№ 1, 2, 9 основного списка.

Раздел 1.2. Водная среда как биотоп гидробионтов

Строение, аномальные свойства воды (высокие величины диэлектрической проницаемости, теплоты парообразования, удельной теплоёмкости, поверхностного натяжения, низкая вязкость, температура кипения и замерзания, максимальная плотность воды +4⁰С и др.). Особенности химического состава воды. Органическое вещество в водных экосистемах: коллоидное, растворенное, взвешенное, автохтонное, аллохтонное. Сестон. Детрит.

Вода – это химическое соединение кислорода (88,8%) с водородом (11,2 %).

Наивность определения становится очевидной, если учесть наличие разновидностей по изотопному составу водорода: (H¹ – протий, H² (или D) – дейтерий, H³ (или T) – тритий) и семи изотопов кислорода.

По различным модификациям Н и О₂ возможно иметь 31 модификацию радиоактивных вод.

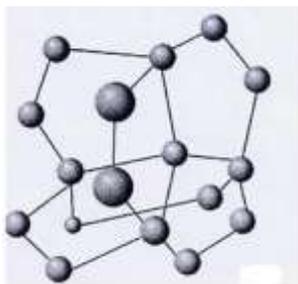
Обыкновенная вода – это смесь указанных изотопов с преобладанием лёгких форм: О¹⁶ - 26 тыс. атомов, О¹⁷ - 10 атомов, О¹⁸ - 55 атомов.

Тяжёлая вода Д₂О¹⁶ – это вода тяжёлая по дейтерию. В 1т водопроводной воды тяжёлой воды содержится 150г.

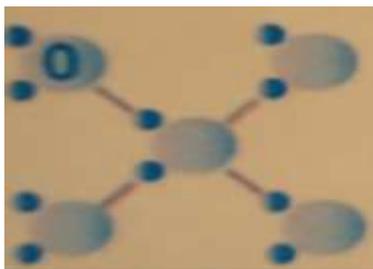
По внешнему виду и запаху различий в тяжёлой и обычной воде нет. Они различаются по массе и биологическому действию: тяжёлая вода токсична, замедляет физиолого-биохимические процессы.

Вода в природе встречается в 3-х агрегатных состояниях:

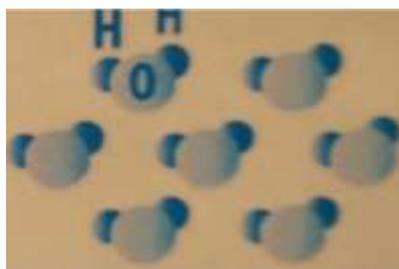
- твёрдом ($t < 0^{\circ}\text{C}$)



- жидком ($t > 0^{\circ}\text{C}$) (Марс)



- газообразном ($t = 100^{\circ}\text{C}$) (Венера)



Определение воды усложняется ещё тем, что все *физические константы* являются *аномалиями*.

Причина аномальных свойств – своеобразная структура молекулы (Рис. 1):

- мономер
- угол Н-О-Н = $104,5^{\circ}$

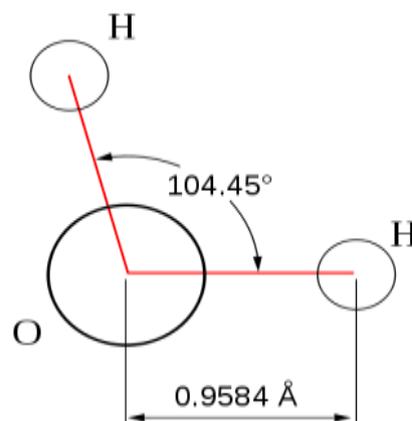


Рис. 1. Структура молекулы воды

Аномальные свойства воды:

1. По химическому составу, согласно его положению в табл. Минделеева, вода это гидрид кислорода, значит должна кипеть при -80°C , но кипит при 100°C .

2. При замерзании гидрид кислорода должен затвердевать при 100°C ниже нуля, но вода замерзает при 0°C .

3. Лёд легче жидкой воды, плотность льда ниже плотности воды. Лёд предохраняет воду от переохлаждения, он плавает на поверхности.

4. Жидкая вода при охлаждении сжимается, при $t = 4^{\circ}\text{C}$ уменьшение объёма прекращается и вода начинает расширяться.

5. Максимальная плотность воды при $t = 4^{\circ}\text{C}$. Это обеспечивает замерзание воды верхних слоёв и возможность гидробионтам перезимовывать во всей толще воды.

6. Вода имеет большую плотность (1 г/см), по сравнению с воздухом ($0,0013\text{ г/см}$). Это позволяет гидробионтам удерживаться во взвешенном состоянии.

7. Вода обладает высокой удельной теплоёмкостью – 1 кал./г. град . Это означает, что при определённом притоке энергии данная масса воды будет нагреваться медленнее, чем равное количество любого другого вещества. И наоборот, отдавая энергию, вода остывает медленно. Это обеспечивает медленное нагревание и охлаждение воды, её годовые, суточные и часовые колебания.

8. Вода обладает высокой теплотой парообразования. Это определяет то, что вода служит главным носителем энергии в атмосфере.

9. Вода имеет очень большое поверхностное натяжение ($72,8\text{ дин}$), уступая только ртути (436 дин). С этим связаны все капиллярные явления, формирование поверхностной плёнки воды, существование нейстона и плейстона и др. (Опыт подтверждения: сухая игла может лежать на поверхности воды в тарелке).

10. Вода обладает малой вязкостью: для сравнения – при $t=10^{\circ}\text{C}$ у воды – $1,32\text{ спз}$ (сантипуаз – единица измерения вязкости), у глицерина – 3950 спз . Это свойство обеспечивает передвижение гидробионтов в воде. Вязкость определяется температурой и солёностью.

11. Вода обладает аномально высокой проницаемостью. Это обуславливает формирование гидрохимического режима. Вода в биосфере никогда не бывает химически чистой, это раствор.

Химический состав воды.

Вода – прекрасный растворитель, почти все химические элементы, даже редкие и радиоактивные, находятся в водах Океана – их более 70. В наибольшем количестве находятся – Cl, Na, Mg, S, Ca, K, Br, одного золота растворено в водах океана по 3 кг на душу населения.

Солёность морской воды в среднем = 35 г/л, пресной – 0,17 г/л.

Биогенные элементы (б.э.) – химические элементы постоянно входящие в состав организмов, необходимые для их жизнедеятельности. Выделяют группу универсальных б.э. – кислород, углерод, водород, фосфор, азот, кальций, калий, натрий, сера, медь.

Избыточное поступление биогенных элементов, в первую очередь фосфора, определяет развитие высокой продуктивности и последующего эвтрофирования вод.

Органическое вещество (ОВ).

По происхождению ОВ различают:

- *автохтонное* – образуется в водоеме живыми организмами;
- *аллохтонное* – привнесено с материка.

По форме существования ОВ выделяют:

- *взвеси (ВОВ, взвешенные ОВ)* – живые организмы и неживой детрит;
- *коллоидные (гидрофобные, ГОВ)* – размер частиц 0,001-0,1 мкм;
- *истинно растворенные ОВ (РОВ) = ХПК-БПК.*

Размер частиц меньше 0,001мкм. РОВ это частицы, которые проходят через мембранный фильтр с диаметром пор менее 0,45 мкм. РОВ по количеству преобладает над ВОВ и является господствующей формой существования ОВ в воде. В морской воде РОВ – 90-98%, ВОВ – 2-10%.

По химическому составу РОВ делится на 4 класса:

- углеводы – безазотистое ОВ;
- белки – азотосодержащее ОВ;
- липиды – эфиры жирных кислот;
- сложные гумусовые ОВ, лишенные азота (фульвовые вещества). В гумусовых водах мало развита органическая жизнь.

Детрит – сложный комплекс минеральных и органических частиц, заселенных бактериями и концентрирующий РОВ.

Сестон – (гр. Sestos – просеянный) это совокупность взвешенных в воде органоминеральных частиц (детрит) и планктонных организмов, то есть все, что улавливается мембранными фильтрами с диаметром пор не более 0,8 мкм.

Самостоятельная подготовка

Биогеохимические циклы, круговороты: воды, углерода, кислорода, фосфора, азота.

Хумитака Секи. Органические вещества в водных экосистемах. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.

Раздел 1.3. Важнейшие факторы водной среды и реакции на них организмов

Закон «Минимума» (Закон Либиха). Закон «Толерантности» (Закон Шелфорда). Закон «Совокупного действия факторов» (закон Митчерлиха).

1.3.1. *Температура.* Температурные области: тропическая, бореальная, нотальная, арктическая, антарктическая. Пространственно-временная (сезонная) динамика температуры вод Мирового океана и континентальных водоемов. Температурные стратификации. Стено-, эвритермные, тепловодные, холодноводные гидробионты. Температурные адаптации гидробионтов.

1.3.2. *Свет.* Световые зоны пелагиали. Прозрачность вод. Свет как фактор, регулирующий жизнь гидробионтов. Распределение водорослей по вертикали водной толщи. Фототаксис. Фотосинтез.

1.3.3. *Соленость.* Классификация вод по степени солености. Эври-, стеногалинные организмы. Параметры критической (барьерной) солености. Адаптации гидробионтов к изменениям солености воды. Водно-солевой обмен гидробионтов.

1.3.4. *Газовый режим.* Кислород, динамика его содержания в течение суток, по сезонам. Зимние и летние заморы. Сероводород. Метан. Углекислый газ. Адаптации гидробионтов к газовому режиму.

Среда обитания – все тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных взаимоотношениях.

Все элементы среды, непосредственно влияющие на жизнь гидробионтов, называются *факторами воздействия, факторами среды обитания.*

Различают факторы:

- *абиотические* (физико-химические воздействия неживой среды);
- *биотические* (воздействия между составляющими живого населения);
- *антропогенные* (влияние человека на живую природу).

Особи каждого вида могут существовать только в определённом пределе изменчивости отдельных элементов среды. Диапазон колебания фактора, который может выдержать вид, называется его *экологической валентностью*. Формы с широкой экологической валентностью – *эврибионтные* (eury - широкий), с узкой – *стенобионтные* (stenos - узкий). Экологическая валентность вида тем шире, чем изменчивее его среда.

Если вид нуждается в *высоких* значениях фактора, к русскому названию добавляется «*любивый*», к греческому - «*фильный*» (fileo - люблю). Если вид *избегает* высоких значений фактора, добавляется греческое - «*фобный*» (fobos - боязнь).

Дозировка фактора определяет *оптимальные* (optimus - наилучший) или *пессимальные* (pessimus - наихудший) условия жизни.

Факторы среды, исключаяющие или ограничивающие процветание вида, называются *лимитирующими*.

Относительное действие отдельного экологического фактора тем сильнее, чем в большей степени по сравнению с другими факторами ощущается его нехватка. Этот принцип в 1840г. Ю. Либих сформулировал как «закон минимума», *бочка Либиха* (Рис. 2). Согласно ему, величина урожая (продукции) зависит от количества питательных веществ, находящихся в минимуме. Имеются некоторые ограничения: дефицитное вещество может быть заменено другим (например, при построении раковин моллюсков, кальций заменяется стронцием); принцип не применим к системам с неустойчивым состоянием.

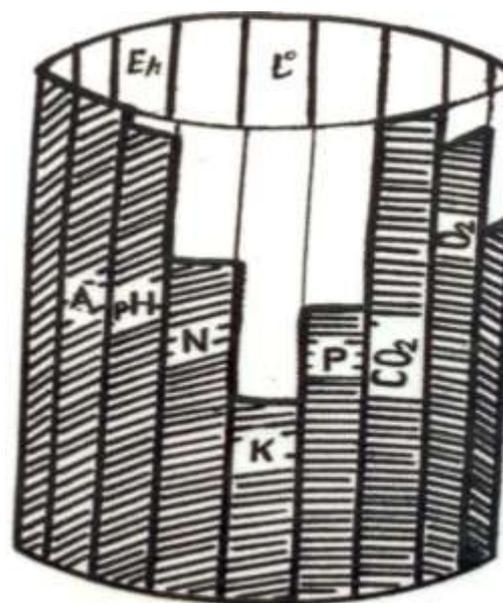


Рис. 2. Продуктивность системы определяется фактором, находящимся в минимуме (*Бочка Либиха*)

Эффект дефицита может сниматься благоприятной комбинацией других факторов: Е. Митчерлих сформулировал это явление как «закон совокупного действия факторов».

Лимитирующим фактором процветания вида (организма) может быть как минимум, так и максимум экологического фактора, диапазон между которыми определяет величину выносливости – толерантности организма к данному фактору. Это явление американский учёный В. Шелфорд в 1913 г. сформулировал как «закон толерантности».

Гидробиология учитывает, но специально *не изучает свойства абиотической компоненты* биоценозов.

Изучая биоценозы, гидробиология не исследует процессы эрозии ложа водоёмов, взаимодействия водных и воздушных масс, хотя и пользуется соответствующими сведениями.

В современных условиях важнейшими и основополагающими *принципами и подходами* исследования водных экосистем являются следующие: энергетический, балансовый, структурно-функциональный, трофодинамический, продукционно-кинетический.

Три ведущих фактора водных экосистем.

Жизнь в водных экосистемах по образному заключению Ю. Одума (1986г.) определяется действием 3-х факторов (зиждется на трёх китах): температура – свет – солёность.

1.3.1. Температура

Температура – это один из самых универсальных активных и *неустрашимых* факторов водной среды.

Температурный диапазон обитания гидробионтов достаточно широк: известны морские животные, живущие при $t = -3,3^{\circ}\text{C}$ (Вост. берег Север. Америки), синезелёные водоросли, живущие в горячих источниках при $t = +93^{\circ}\text{C}$.

По температурному режиму поверхностных слоёв воды в Мировом океане отмечают пять областей (Рис. 3):

- *тропическая* (в области экватора);
- *арктическая* (прилегает к полюсу на севере);
- *антарктическая* (прилегает к полюсу на юге);
- *бореальная* (распространяется между арктической и тропической);
- *нотальная* (распространяется между антарктической и тропической).

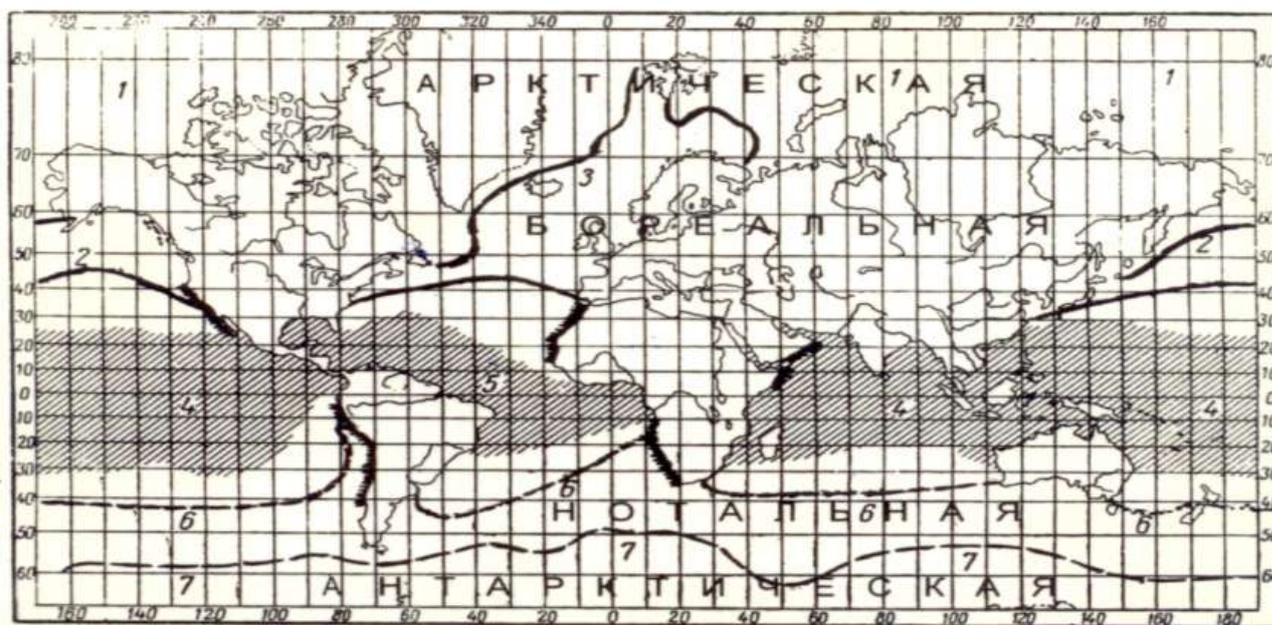


Рис. 3. Основные температурные области Мирового океана:

1 – арктическая; 2 и 3 – бореальная; 4 и 5 – тропическая; 6 – нотальная; 7 – антарктическая; косая штриховка – область распространения кораллов; густая штриховая у берегов – места нагона холодной воды с глубины.

Каждая из этих областей имеет в составе своего населения определённое количество видов. Соответственно по названиям областей они относятся к группам: арктические, бореальные, тропические, нотальные, антарктические.

Различают следующие группы организмов:

- *космополитов*, для которых температурные условия не играют большой роли;
- *биполярных организмов*, обитающих в умеренной области северного полушария (субарктическая, бореальная зоны) и южного полушария (субантарктическая и нотальная зоны), они совершенно отсутствуют в водах тропической области.

Примеры биполярных организмов:

- *Млекопитающие* – морской слон; сивуч; белуха.
- *Рыбы* – анчоус, хамса – р. *Engraulis*, шпроты, килька – р. *Sprotella*, акула гигантская – *Cetorhinus maxima*.
- *Ракообразные* – *Balanus porcatus*.
- *Моллюски* – *Mytilus edulis*.
- *Крылоногие* – *Clione limacina*.

Распределение температуры в толще воды. Большая удельная теплоёмкость обуславливает более устойчивую температуру водных экосистем по сравнению с воздухом.

Для водных объектов характерны две специфические характеристики:

- *стагнация* – отсутствие вертикальной циркуляции водных масс;
- *стратификация* – слоистое распределение температуры по вертикали.
 - *прямая стратификация* – тёплые воды располагаются над холодными (летние ситуации);
 - *обратная стратификация* – холодные воды располагаются над более тёплыми (зимняя ситуация). В морях обратная стратификация – редкое явление (пример, оз. Россольное в Зеландии (поверхность – 4⁰С, глубина 3 м – 4,7⁰С, 30 м – 19⁰С);
- *гомотермия* – равномерное распределение температуры по вертикали, характерно для проточных водных объектов, реже в морях, озёрах (пример, гомотермия в Белом море: 0 м – 8,0⁰С; 25 м – 8,1⁰С; 70 м – 8,0⁰С).

Сезонная динамика тепловой слоистости вод наглядно изображена на Рис. 4.:

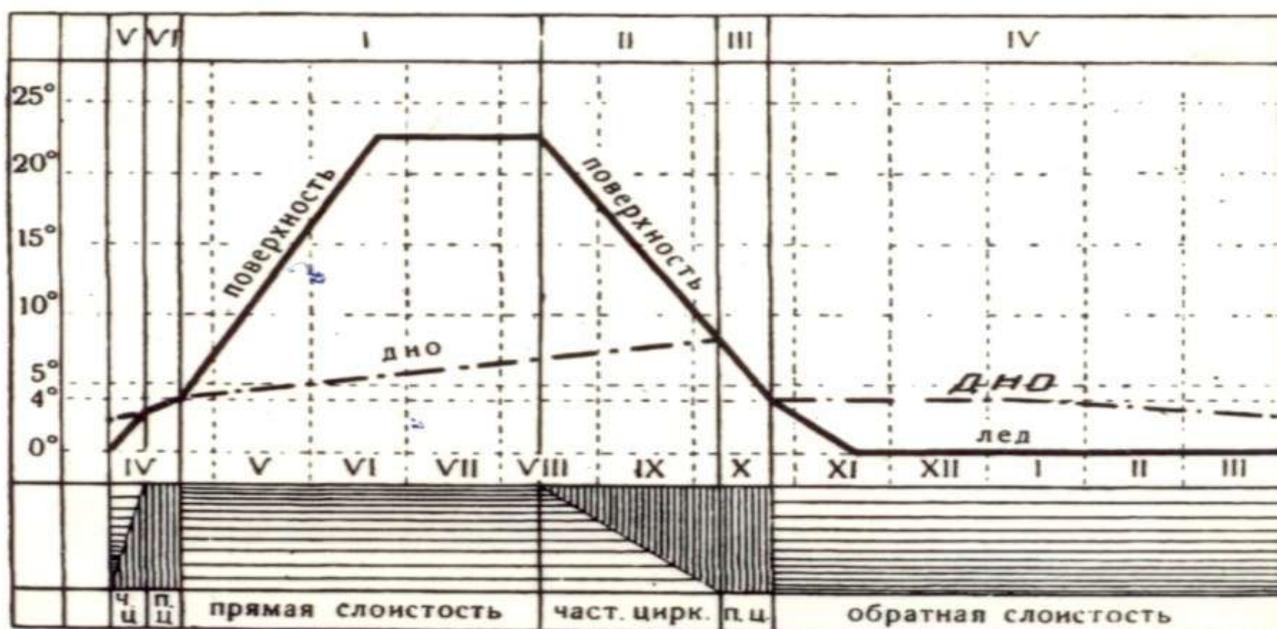


Рис. 4. Схема изменений температуры воды и тепловой слоистости в озере по сезонам.
Ч.Ц. – частичная циркуляция; П.Ц. – полная циркуляция.

- *весенний* период (апрель) частичная циркуляция сменяется полной (температура по всей толще - $+4^{\circ}\text{C}$);

- *весенне-летний* период (май, июнь, июль, частично август) – прямая слоистость, прямая стратификация, стагнация, температура на поверхности возрастает до 23°C , в придонной области температура возрастает до $+6^{\circ}\text{C}$ и сохраняется на одном уровне;

- *летнее-осенний* период (август, сентябрь) – частичная циркуляция вод, на поверхности температура воды постепенно снижается, в придонной области наоборот – повышается до 8°C . Затем полная циркуляция (октябрь) приводит к гомотермии – температура по всей толще устанавливается на уровне $+4^{\circ}\text{C}$;

- *зимний* период (ноябрь – март) – обратная слоистость: на поверхности – ледяное покрытие, в придонной области $2-4^{\circ}\text{C}$.

С сезонной динамикой температуры воды в крупных водных объектах связано формирование *термического бара* – это вертикальный слой воды повышенной плотности, он препятствует водообмену между районами водоёма (Рис. 5).

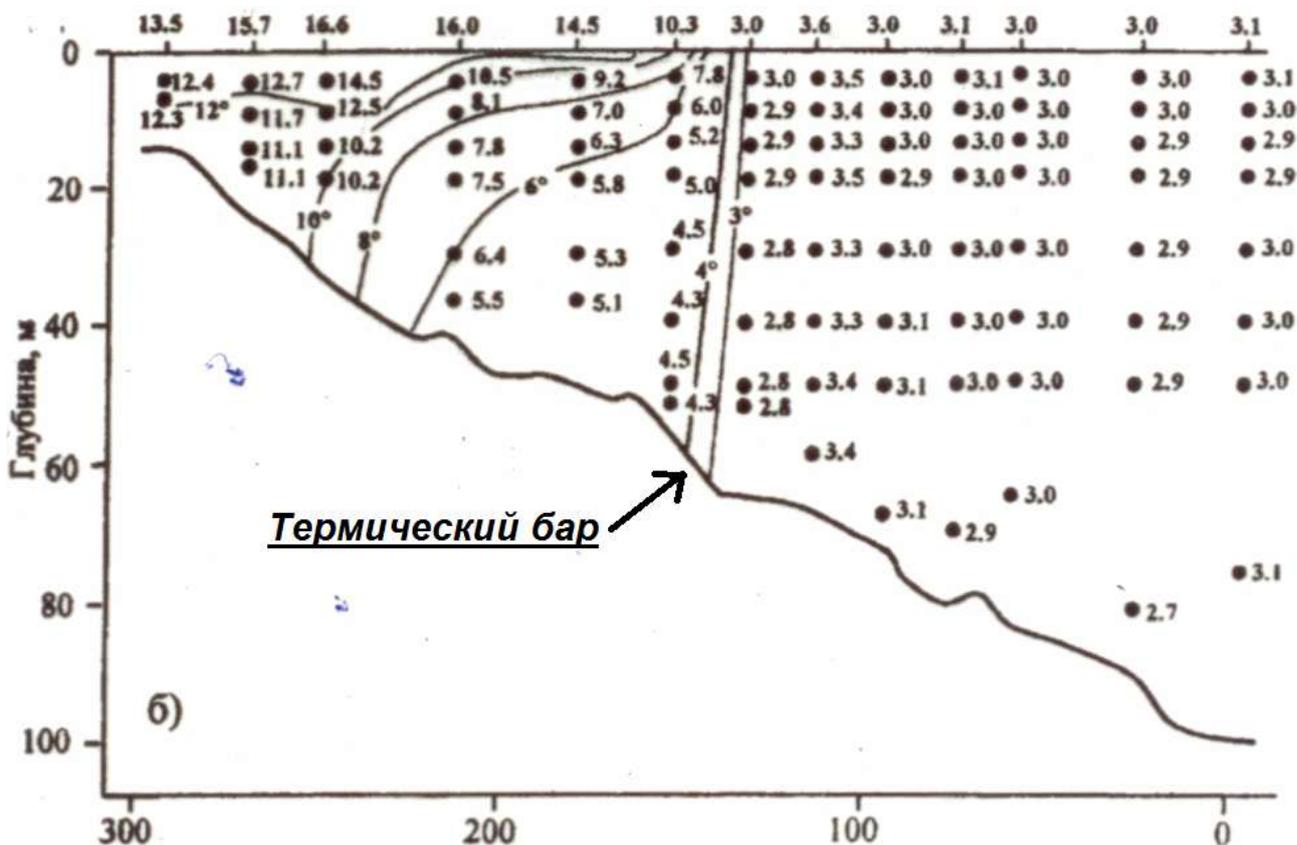


Рис. 5. Распределение температуры воды в Красноярском водохранилище 1-4 июня 1977г.

Экологические зоны по вертикали (по температурному фактору).

Мировой океан:

- Эпиталасс – температурное колебание;
- Метаталасс – температурный скачок (термоклин);
- Гипоталасс – температурная стабильность.

Континентальные водоемы:

- Эпилимнион - температурное колебание;
- Металимнион - температурный скачок (термоклин);
- Гиполимнион – слабые изменения температуры.

По температурному фактору выделяют две экологические группы гидробионтов:

Эвритермные:

Диатомея *Nitzschia putrida* – диапазон 41° С (-11° С до 30° С);
Моллюск *Bythinella dunkeri* – диапазон 37° С (-2° С до 35° С);
Треска *Gadus collarias* – диапазон 15° С (5° С до 20° С).

Стенотермные:

Теплолюбивые (термофильные, криофобные):

- рачок *Thermosbaena mirabilis* – 45°-48° С,
- рыбка Лукания живёт в горячих источниках при температуре 25° С.

Холодолюбивые (термофобные, криофильные):

- водоросль *Phaeocystis pouchetii* – min = 1° С, opt = 6°С, max 11,6° С.

Влияние температуры на:

- *Размеры тела.* Морские организмы, живущие в холодных морях и холодных глубинах, *превосходят размерами, живущих в тёплых водах.* Пример, гигантская медуза *Cyanea arctica* (диаметр тела 2 м, длина щупалец более 30 м; моллюск *Tridacna gigas* – длина 2 м, масса 200 кг).

Причины больших размеров северных форм: при низкой температуре размножение наступает позднее – организм имеет более долгий период своего роста, т.к. с наступлением размножения рост прекращается (замедляется); само потомство ограничено: организм получает дополнительные силы (материал) для роста. Пример экспериментов: у циклопов, воспитывающихся при t=11 °С, масса в 2 раза > чем при t= 27°С.

Гигантские формы в тропиках (скорее исключение из общего правила). Холодноводные млекопитающие имеют большие скопления жира и положительную плавучесть (например, ободранный от жира тюлень быстро тонет).

- *Количество позвонков у колючеперых.* Позвонков у северных рыб больше, чем у родственных видов. Пример, у колючепёрых: р. *Pterois* – 24 (Тропики); р. *Sebastes* – 27 (Япония); р. *Sebastes* – 37 (Антарктида).

- *Смена времён года.* Соответственное изменение температуры и пищевого режима «записывается» в виде годовых колец на чешуе, костях рыб и раковинах моллюсков.

- С динамикой температур связано чередование однополового и двуполового размножений, проявление партеногенеза, эффекта цикломорфоза у коловраток, дафний, водорослей.

- С ограничением партеногенеза в холодных областях и на глубинах возрастает доля живорождения и вынашивания потомства, у донных животных – прямое развитие без стадии пелагической личинки.

- Пути адаптаций, преодоления неблагоприятных температурных воздействий:

- инцистирование (корненожки, жгутиковые, ресничные инфузории);
- редукция, упрощение организма;
- образование специальных почек (статобласты), геммул, стойких яиц (большая величина, обилие желтка, толстые, крепкие оболочки).

1.3.2. Свет

Световой диапазон. Основное количество света водный объект получает:

- сверху от источников, которые находятся вне (солнце, луна);
- внутри водоёма, светящиеся растения и животные.

Чем ниже стоит солнце, тем большее количество лучей отражается от поверхности воды. При высоте стояния солнца 35° от гладкой поверхности отражается 5% света; при лёгком ветре – 17 %, при сильном – 30%.

Поглощение и рассеяние падающего света зависят от спектрального состава излучения солнца. Наиболее интенсивно поглощаются лучи невидимого спектра – инфракрасные и ультрафиолетовые, практически в верхнем метровом слое воды, поэтому световой поток кажется синим. С понижением прозрачности воды возрастает рассеивание длинноволновых лучей, цвет приобретает желтовато-коричневый оттенок.

Из видимой части спектра (от красных до фиолетовых лучей) наиболее интенсивно поглощаются лучи с наибольшей длиной волны: *на глубину 10 м проникает 2% красных лучей, 8% оранжевых, 32% жёлтых, 75% синих.*

На глубине > 500 м присутствуют только фиолетовые лучи.

В процессе фотосинтеза водоросли наиболее интенсивно поглощают лучи, являющиеся дополнительными к их окраске. Например, зелёные водоросли наиболее энергично используют красные, часть фиолетовых, почти бесследно пропускают зелёные.

Количественной характеристикой прозрачности служит глубина, на которой становится невидимым белый диск Секки (диаметр диска 30 см): на глубину прозрачности проникает 5% солнечной радиации падающей на поверхность; на глубину 2 – 4 величин прозрачности проникает 1%. Известна максимальная прозрачность - 75 м у берегов Антарктиды.

Прозрачность – это отношение потока излучения, прошедшего через слой толщиной Z (I_z) к вошедшему в него – I_0 :

$$S \cdot \bar{F} = \frac{I_z}{I_0}$$

По степени освещенности толща воды делится на 3 зоны:

Верхняя зона - эвфотическая, простирается в морских водах до глубины 200 м; в пресных - 2 – 4 величины прозрачности; охватывает 10% дна, где обитают 80% донных животных;

Вторая зона - дисфотическая (сумеречная), в морских водах простирается до глубины 1000 – 1500 м;

Третья зона – афотическая (темная).

Гелиотропизм (греч. gelios – солнце, tropos – направление, поворот) – это явление ориентировки животных и растений в направлении лучей солнечной радиации.

Фототропизм (греч. fotos – свет, tropos - направление, поворот) – явление принудительной ориентировки животных и растений в отношении направления световых лучей:

положительный фототропизм – ориентировка к свету;

отрицательный фототропизм – ориентировка от света.

Знак фототропизма меняется, имеет приспособительное значение:

- понижение температуры усиливает положительный фототропизм;

- повышение температуры усиливает отрицательный фототропизм;

- недостаток кислорода, действие ядов приводят к изменению отрицательного фототропизма на положительный фототропизм.

Пример: Молодь рачка *Calanus finmarchicus* обладает положительным фототропизмом, упитанные особи V копеподитной стадии - отрицательным фототропизмом.

По отношению к свету различают экологические группы гидробионтов: *эврифотные* – переносят широкий диапазон колебания света; *стенофотные* – переносят узкий световой диапазон (олигофотные, мезофотные, полифотные).

Водным животным свет необходим:

- для распознавания среды;

- определения выгодного положения в пространстве;

- сигнальное значение;

- регулирует размножение, половое соотношение.

Пример: У *Balanus balanoides* в условиях постоянного освещения тормозится развитие гонад. У рачков *Gammarus duebeni* при 16-часовом освещении > ♀♀, 8-часовом - ♂♂. У моллюсков прудовиков недостаток освещенности приводит к снижению плодовитости.

Биолюминесценция (Б/л) – это видимое свечение живых организмов, связанное с процессами их жизнедеятельности и обусловленное ферментативным окислением *люциферинов*.

В процессе Б/л люциферазы – ферменты класса оксиредуктаз – катализируют (изменяют) аэробное окисление люциферинов → испускание света. Пример: Свечение медузы *Aequorea* возникает при взаимодействии специфического белка экварина с ионами Ca^{2+} .

1.3.3. Соленость

Соленость - есть *суммарное* содержание в граммах всех твердых *минеральных* растворимых веществ, содержащихся в 1 кг морской воды при условии, что бром и йод замещены эквивалентным количеством хлора, все углекислые соли переведены в окислы, а все органические вещества сожжены при температуре 480°C.

Уравнение связи между хлорностью и соленостью (S): $S \text{ ‰} = 1.80655 \text{ Cl ‰}$
Единица измерения солености – *промилле ‰* = 1 г на 1 кг H_2O .

По степени солености ($S \text{ ‰}$) все природные воды, согласно Венецианской системе, принятой в 1958 г, подразделяются на:

- Пресные – до 0,5 ‰;
- Солончатые, миксогалинные – 0,5 – 30 ‰:
 - Олигогалинные – 0,5 – 4 ‰;
 - Мезогалинные – 5 – 18 ‰;
 - Полигалинные – 18 – 30 ‰.
- Морские, эугалинные – 30 – 40 ‰;
- Пересоленные, гипергалинные - > 40 ‰.

С повышением солёности возрастают плотность и вязкость; ухудшаются условия передвижения, плавучести гидробионтов.

Организмы, заселяющие галинные воды делятся на три экологические группы:

- Галоксены ($S = 0 - 25 \text{ ‰}$) – то есть гости в соленых водах, это пресноводные организмы, случайно попавшие в соленую воду и приспособившиеся к жизни в ней. Примеры – р.р. *Chydorus*, *Simoccephalus*, *Limnea ovata*.

- Галофилы ($S = 25 - 100 \text{ ‰}$) – то есть любящие соленую воду, выносят широкий диапазон солености (это эвригалинные). Видов в этой группе меньше, чем в первой группе, количественно превосходят. Примеры – *Cyclops bicuspidatus*, *Lumbriculus lineatus*, *Chironomus salinarius*, колюшка *G. aculeatus*.

Галобионты – специфические организмы солености. Они появляются при солености = 25 ‰ вместе с галофилами, в норме при солености > 100 ‰. В большом количестве и только эта группа выдерживает соленость до 280 ‰. Примеры: муха *Ephydra*, рачок *Artemia salina*, коловратка *Brachionus mulleri*. *Ephydra giraria* – индейцы Северной Америки употребляют их в пищу.

Химический состав пресной и морской воды, % (Табл. 1)

Показатель, %	Вода	
	Морская	Пресная
Хлориды	89,0	7,0
Сульфаты	10,0	13,0
Карбонаты	0,2	80,0

Соленость морской воды – 35 ‰, пресной – 0,17 ‰

Соленость Мёртвого моря – 275 ‰

Жёсткость воды – это свойство воды, обусловленное присутствием в ней ионов Са и Mg:

жёсткие воды > 7,5 мг/экв

мягкие < - 3,6 мг/экв

умеренные - 3,6 - 7.5 мг/экв

ПДК жёсткости - 7,0 мг/экв

По отношению к солёности вод различают две экологические группы гидробионтов:

- *Эвригалинные* (широкосолевые) (Рис. 6).

Пример: рачок *Artemia salina* – 16–270 ‰; жук *Berosus spinosus* – 0,6 – 105 ‰.

- *Стеногалинные* (узкосолевые).

1. *Олигостеногалинные*

2. *Полистеногалинные*. Пример: морская звезда (*Pentagonaster granularis*) (S = 34.5 – 35.3 ‰).

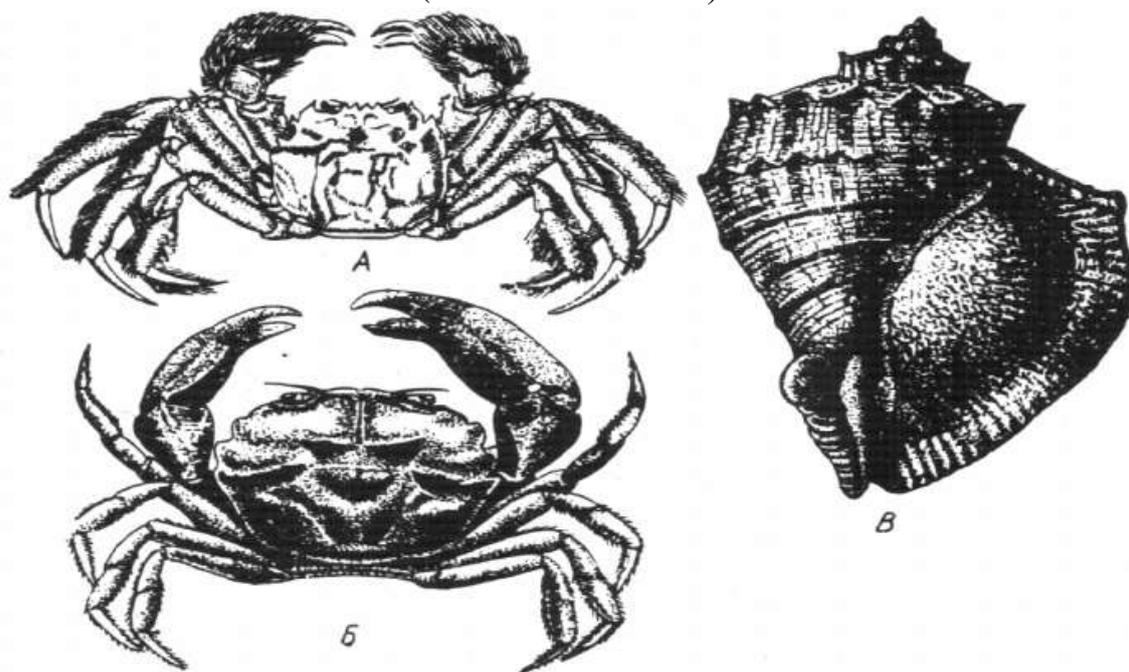


Рис. 6. Эвригалинные иммигранты.

A – *Eriocheir sinensis*; Б – *Rhithropanopeus harrisi tridentatus*; B – *Rapana thomasiana*

Определяющим условием успешного освоения различных водоемов со сходной соленостью является соотношение одно-двухвалентных ионов: если > 2 -х валентных, гидробионты изменение солености выдерживают хуже.

В осмотически благоприятной среде организмы погибают, если солевой состав не сбалансирован по соотношению 1-2-х валентных катионов – это эффект защитного действия ионов – антогонистов.

Раствор, в котором солевой состав сбалансирован по соотношению одно – двухвалентных катионов – это *эквilibрированный раствор*.

Насыщенный соляной раствор, солёность $> 100\text{‰}$. - *рассол (рапа)*.

Отношение суммы одновалентных катионов K^+ и Na^+ к сумме 2-х валентных Ca^{2+} и Mg^{2+} - *ионный коэффициент*. Соленость уменьшается – ионный коэффициент снижается (количество 2-х валентных ионов увеличивается).

Соленость определяет размеры гидробионтов (Рис. 7).

Морские адаптивные реликты в пресной воде уменьшаются в размерах.

Примеры:

Морская форма мизиды *Mysis oculata* в пресной воде приобретает форму → *Mysis relicta*;

Моллюск *Mytilus edulis* – из Северного моря (высокая соленость) в 5 раз крупнее особей у берегов Финляндии с более низкой соленостью – карликовые формы.

Гидроид *Cordylophora lacustris* в пресной воде уменьшается в размерах, количество яиц в гонофорах уменьшается в 2 раза.

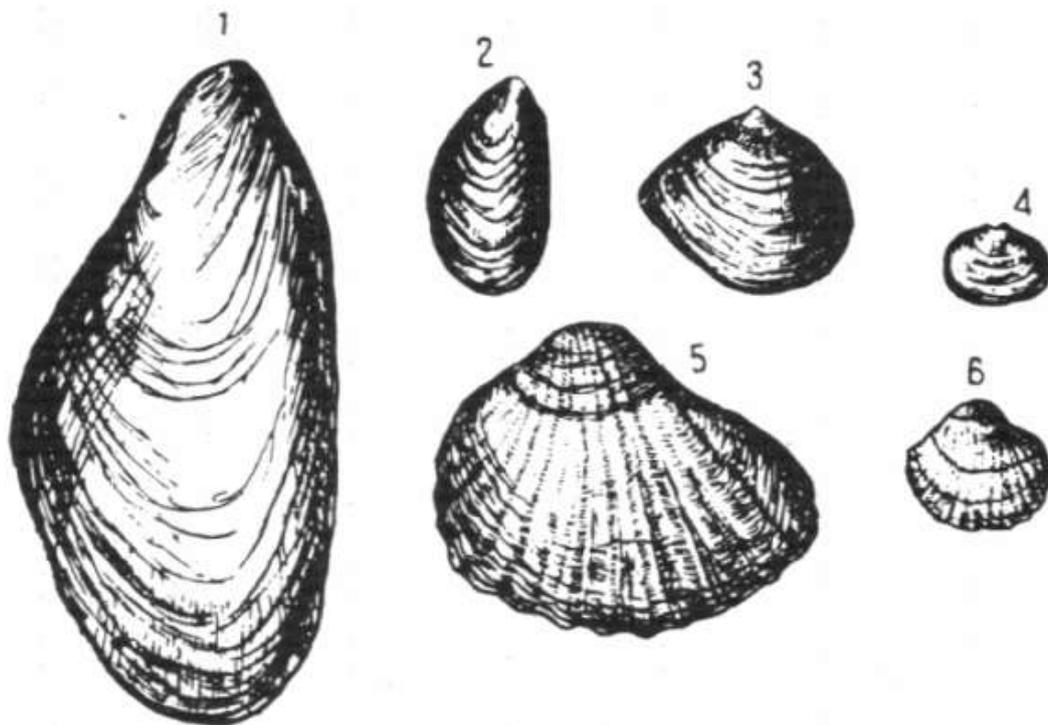


Рис. 7. Влияние солености на размеры моллюсков.

1 – *Mytilus edulis* из Северного моря; 2 – то же, карликовая форма у берегов Финляндии; 3 – *Tellina baltica* из Кильской бухты; 4 – то же, у берегов Восточной Пруссии; 5 – *Cardium edule* из Северного моря; 6 – то же, у берегов Финляндии.

Классические примеры влияния солености на морфологическое строение гидробионтов: рачок - *Artemia salina*, инфузория – *Cladotricha* (Рис. 8).

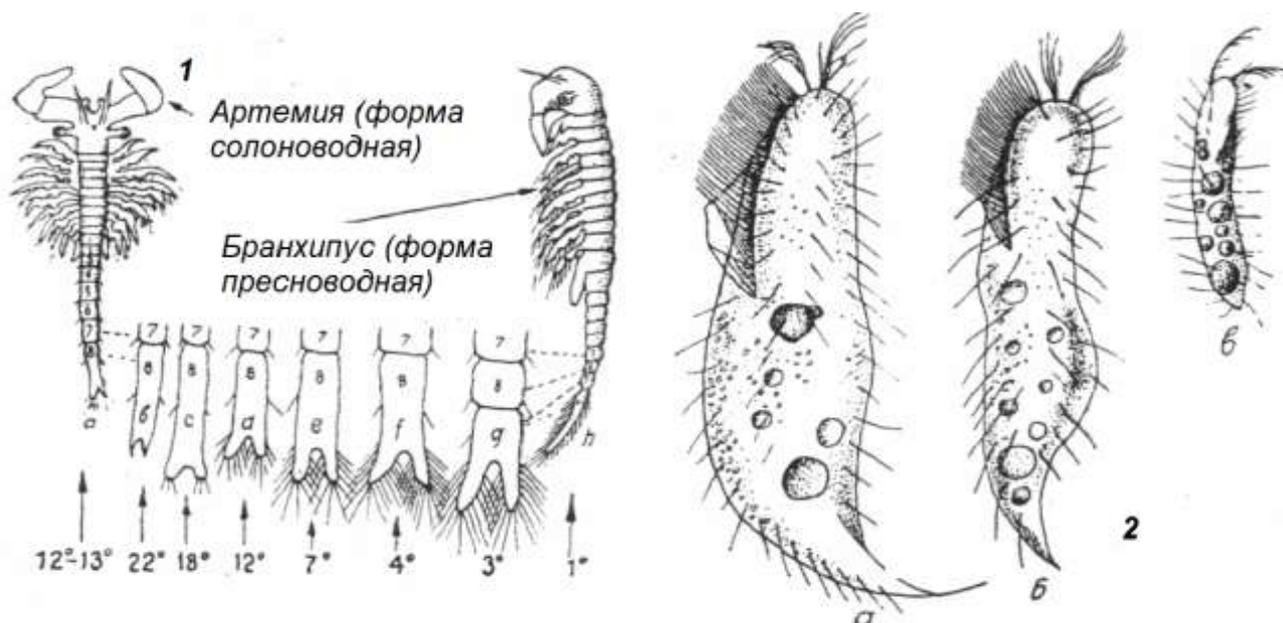


Рис. 8. Изменчивость организмов под влиянием солености.

1 – изменение кончика брюшка *Artemia salina* в рамках разной солености, начиная с насыщенных (b) и доводя постепенно (c, d, e, f) до почти пресной воды (g); под каждой формой указана (в градусах Боме) соленость раствора, в котором данная форма живет; 2 – *Cladotricha koltzowii*, три формы (при одинаковом увеличении), живущие в разных условиях солености (a – при S - 5‰, длина тела 94 м, ширина 24м; б – при S – 17‰, длина - 78 м, ширина 16м; при S – 23‰, длина - 35м, ширина 15м (все три с брюшной стороны).

Скорость роста в море выше, чем в пресной воде.

Пример, р. *Salmo* – лососи из сем. *Salmonida* - лососевые (Рис. 9).

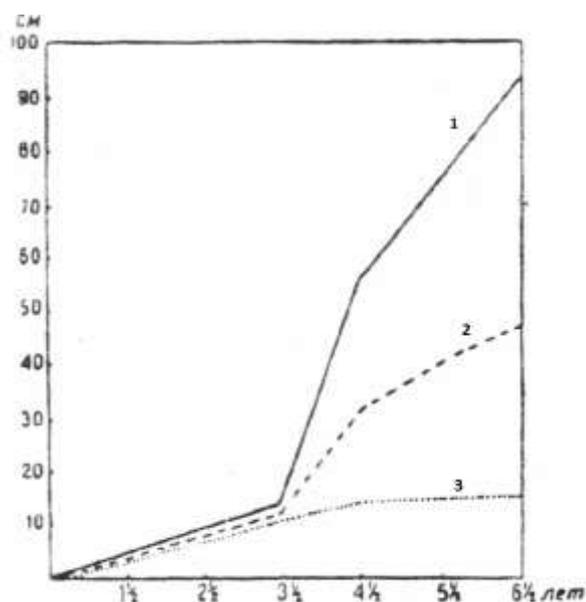


Рис. 9. Кривые роста.

1. *Salmo salar* – лосось; 2. *S. trutta* – таймень, заходит в губы; 3. *S. fario* – форель, не покидает пресной воды.

Большинство морских животных – осмоконформаторы, тоничность внутренней среды ниже, чем в окружающей воде, для них характерна гипоосмотическая осморегуляция.

Все пресноводные организмы – осморегуляторы, тоничность внутренней среды выше, чем в окружающей воде, они осуществляют гипертоническую регуляцию, выделяют большое количество гипотоничной мочи.

1.3.4. Газовый режим

Растворенные в воде газы. В литре воды содержится не > 20-25 см³ воздуха. Газами, растворенными в воде, являются:

Кислород – O ₂ ;	Сероводород – H ₂ S;
Азот – N ₂ ;	Метан – CH ₄ .
Углекислота – CO ₂ ;	

Кислород, O₂

Вода обогащается кислородом 3 главными путями:

1. За счёт работы *фотосинтезирующих* растений;
2. За счёт вторжения (*инвазии*) из атмосферы;
3. За счёт поступления вод с *высокой концентрацией O₂*.

Убыль кислорода из водных объектов происходит через:

1. Потребление O₂ на окислительные процессы, *дыхание*;
2. Выход в атмосферу (*эвазия*);
3. Приток воды с низкой концентрацией O₂.

O₂ выражается:

- В абсолютных показателях (объемных, весовых).

O₂ 1 мл весит 1,43 мг;

- В процентах от нормального содержания, %.

Нормальное содержание O₂:

в пресной воде – 10,29 мл O₂/л (14,7 мг O₂/л);

в морской воде – 6,0 мл O₂/л (8,58 мг O₂/л), при t=20° C.

По отношению к O₂ гидробионтов делят на две группы:

1. Эвриоксибионты = эвриоксигенные
Пример: Рачок *Cyclops strenuus*; моллюск *Viviparus viviparus*;
олигохета *Tubifex tubifex*.
2. Стенооксибионты = стенооксигенные:
 - 2.1. Полистенооксибионты (пример: ресничный червь *Planaria alpina*;
мизида *Mysis relicta*).
 - 2.2. Олигостенооксигенные (пример: инфузории).

Кислород для водного населения – решающий фактор среды. Для O₂ любого водного объекта характерно явление «*кислородной дихотомии, стратификации*», развивающееся в период стагнации (застоя) вод, при отсутствии циркуляции водных масс (аналогичная ситуация имеет место с температурным фактором).

Различаются:

- *прямая стратификация* – O₂ в поверхностных слоях *больше*, чем в нижерасположенных;

- *обратная стратификация* – O_2 в поверхностных слоях *меньше*, чем в нижерасположенных;
- *гомооксигения* – *равномерное* распределение по всей толще воды, характерна для водотоков.

Кислород растворяется в воде лучше, чем азот:

- в воздухе соотношение O_2 : N = 21 : 79 (1: 4),
- в воде соотношение O_2 : N = 34 : 66 (1: 2).

Кислорода в воде больше, чем в атмосфере.

ПДК_{кислород} рыбохоз. = 6,0 мг/дм³

При снижении концентрации O_2 ниже норматива, в воде создаётся его дефицит, развивается *замор – массовая гибель* гидробионтов от недостатка O_2 в воде.

Летние заморы в период «цветения вод», интенсивного развития водорослей развиваются ночью «молниеносно».

Зимние заморы обычны в лимнических системах из-за развивающегося дефицита O_2 , интенсивно расходуемого на окисление разлагаемой (отмершей) летней биоты.

В водотоках заморы – редкое явление.

Классическим примером являются *зимние заморы на р.Оби*:

Схема развития замора, последовательность подхода к прорубям гидробионтов: Водяные клопы р. Corixa → водяные скорпионы р. Nera → гладыши р. Notonecta → рыбы → жуки плавунцы р. Dytiscus → жуки водолюбы р. Hydrophilus;

Скорость движения замора – 30 – 40 км/сутки. Дефицит O_2 доходит до 97,9%;

Основная причина замора – окисление гуминовых веществ за счет кислорода:

- Рыбы погибают от асфиксии (удушения);
- В присутствии окисных закисных соединений железа окисление гуминовых веществ протекает особенно энергично;
- Питание р. Оби идет из заболоченных мест, богатых закисными соединениями железа. Притоки р. Оби (Кеть, Тым, Васюган) несут огромное количество гуминового органического вещества (ОВ).

При эколого-санитарном контроле воды, оценке уровня органического загрязнения используют следующие основные *кислородные показатели*:

- *Биохимическое потребление кислорода (БПК)* – количество растворенного кислорода, потребляемого за установленное время и в определенных условиях (в аэробных условиях) при биохимическом окислении содержащихся в воде органических веществ. Классификацию качества вод по БПК см. 1.7.2. (Табл. 20).

Норма = 3 мг O_2 /л

- **Химическое потребление кислорода (ХПК)** – количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием различных окислителей. Классификацию качества воды по ХПК см. 1.7.2. (Табл. 19).

Норма – не более 15 мг O_2 /л

Сероводород, H_2S

Сероводород образуется в водоёмах при гниении белков на больших глубинах при слабом проветривании или при восстановлении *сульфатов сульфатредуцирующими бактериями р. Microspira*. Сульфаты переводятся в карбонаты.

В глубинных слоях нормальных озёр количество H_2S доходит до 0,5 $см^3$ /л. В Чёрном море на глубинах 300 – 500 м $H_2S = 4 см^3$ /л, в придонных слоях - 6,5 $см^3$ /л.

O_2 на этих глубинах отсутствует, при этом никакая жизнь, кроме бактериальной, невозможна. Растительное и животное население в Чёрном море не опускаются ниже глубин 100 - 200м.

Верхняя граница H_2S определяется пределами распространения животной и растительной жизни. В Чёрном море имеется два круговых течения (восточное, западное). В центре H_2S поднимается выше, к краям опускается – формируются купола, очерчивающие нижние границы распространения биоты.

Многие гидробионты (например, *Daphnia longispina*, *Nereis zonata*) не переносят даже следов присутствия H_2S .

Углекислота, CO_2

Чистая вода поглощает CO_2 из воздуха в количестве 0,3-0,5 $см^3$ /л.

В воздухе и чистой воде $CO_2=0,3см^3$ /л., коэффициент абсорбции углекислоты водой при средних температурах равен 1,075.

Фактически вода поглощает CO_2 во много раз больше, так как CO_2 связывается в нейтральные и кислые карбонаты, $CaCO_3$ и $Ca(HCO_3)_2$.

Для животных CO_2 является ядом. Для растений CO_2 – необходимое условие существования (фотосинтез).

Метан, CH_4

Метан, или болотный, бесцветный газ, простейший насыщенный ациклический углеводород, образуется летом на глубине за счёт разложения клетчатки, его количество может достигать 40 $см^3$ /л.

Повышение количества CH_4 приводит к снижению O_2 . Это сырьё для получения продуктов химической промышленности – формальдегида, ацетилена, хлороформа и др.

Для животных метан ядовит.

Метаноокисляющие бактерии используют метан как источник энергии и углерода, окисляют метан до двуокиси углерода $\rightarrow \text{CO}_2$.

Применяется как топливо. Горит бесцветным пламенем.

Низкие температуры не лимитируют деятельность метаноокисляющих бактерий.

Известно, особенно нефтяникам, что под океанским дном имеются гигантские количества древнего метана, который время от времени вырывается на поверхность. Поднимаясь кверху, метан насыщает воду, и она становится легче воздуха.

Алан Джадд, морской геолог (Британия) указывает, что на такой «лёгкой воде» не сможет удержаться ни одно судно – под ним разверзается, и оно камнем летит на дно. Выпрыгнувшие за борт тонут, никакие жилеты не помогают.

Метановая версия объясняет авиакатастрофы этих районов: самолёты влетали в метановые пузыри, поднявшиеся над океаном, доступ O_2 к двигателям был уже прекращён – самолёт падал в воду (См. газета Наш Край, 18.01.2001г.).

Самостоятельная подготовка

Газовый режим. Активная реакция среды. Понятие об окислительно-восстановительном потенциале, его влияние на процессы, связанные с жизнью и активностью гидробионтов.

Биолюминесценция см. Чумакова Р.И., Гительзон И.И. Светящиеся бактерии. – М.: Наука, 1975;

Круговорот CO_2 в природе см. Зернов С.А. Общая гидробиология. - М.: Биомедгиз, 1934.

Раздел 1.4. Эколого-биологическая структура водных экосистем

1.4.1. Мировой океан. Гидрологические характеристики. Экологические зоны. *Бенталь*, материковая отмель, материковый склон, океаническое ложе, супралитораль, литораль, сублитораль, псевдоабиссаль, батиталь, абиссаль, ультраабиссаль. *Пелагиаль*: неритическая, океаническая, эпипелагиаль, батипелагиаль, абиссопелагиаль, ультраабиссопелагиаль. Экологические зоны пелагиали по температурному режиму, освещённости. Биологические ресурсы. Доминирующие грунты.

1.4.2. Озёра. Определения по В.А. Жадину, по Ф. Форелю. Запасы воды в крупных озёрах. Классификации озёр по: способу происхождения (тектонические, карстовые, ледниковые, реликтовые, эоловые); степени

минерализации (пресные, солоноватые, солёные, пересолённые); циркуляции и температуре (по Форелю, Йошимуру, Лёфлеру, Хатчинсону). *Экологические зоны*: подводная терраса, свал, котёл, прибрежная, литораль, сублитораль, собственно пелагиаль, эпилимнион, металимнион, гиполимнион, эвфотическая, дисфотическая, афотическая. *Донные грунты (отложения)*: аллохтонные, автохтонные, сапропели, торфянистые, минеральные, пелоиды, терригенные, хемогенные, биогенные. Эколого-трофические типы озёр: олиготрофные, эвтрофные, мезотрофные, дистрофные. Биологические ресурсы.

1.4.3. Водохранилища. Определение. Водохранилища России объёмом более 10 км³. *Типизация* водохранилищ по: географическому положению, высоте положения, термическому режиму, конфигурации, форме, гидрохимическому режиму, трофности. *Классификация* водохранилищ по: глубине, работе уровня воды, водообмену. Морфометрические характеристики, уровни (нормальный подпорный, естественный, форсированный подпорный, мёртвого объёма, полезный, сливная линза). Балтийская система уровней. *Экологические зоны*: бенталь (прибрежная, осушная, литораль, профундаль), пелагиаль (эпилимнион, металимнион, термоклин, гиполимнион). Биологические ресурсы. Отличие водохранилищ от других водных объектов. Положительные и отрицательные воздействия водохранилищ на окружающую среду.

1.4.4. Реки. Определение. Водность рек. Морфологические характеристики: долина, пойма, исток, устье, уклон, плёсы, перекаты. Экологические зоны рек (рипаль, медиаль, стрежень, эпипелагиаль, метапелагиаль, гипопелагиаль, эвфотическая, дисфотическая). Специфические состояния: гомотермия, гомооксигения, реотропизм, реофилия. Адаптации. Классификация биоты по грунтам. Биологические ресурсы.

1.4.1. Мировой океан

Гидрологические характеристики океанов (по Львович М.И., 1986) (Табл. 2).

Океан	Площадь, млн. км²	Средняя глубина, км	Максимальная глубина желобов, км
<i>Тихий</i>	180	4,0	11, Марианский
<i>Атлантический</i>	93	3,9	9,2, Пуэрто-Рико
<i>Индийский</i>	75	4,0	7,5, Яванский
<i>Южный</i>	20	-	7,2
<i>Ледовитый</i>	13	2,3	5,5

- 1 морская миля = 1,74 версты
- 1 верста = 500 сажень
- 1 верста = 11483,15 м = 11 км 483 м
- 1 морская миля = 19980,68 м = 19 км 981 м

Экологические зоны мирового океана.

Биотоп – относительно однообразный по абиотическим условиям объем водной массы, заселенный биотическим сообществом (биоценозом), с которым он составляет диалектическое единство (*местообитание*).

В Мировом океане различают 2 биотопа (Рис. 10):

- Пелагиаль – pelages – открытое море, - толща воды;
- Бенталь – benthos – глубина, - дно водоема.

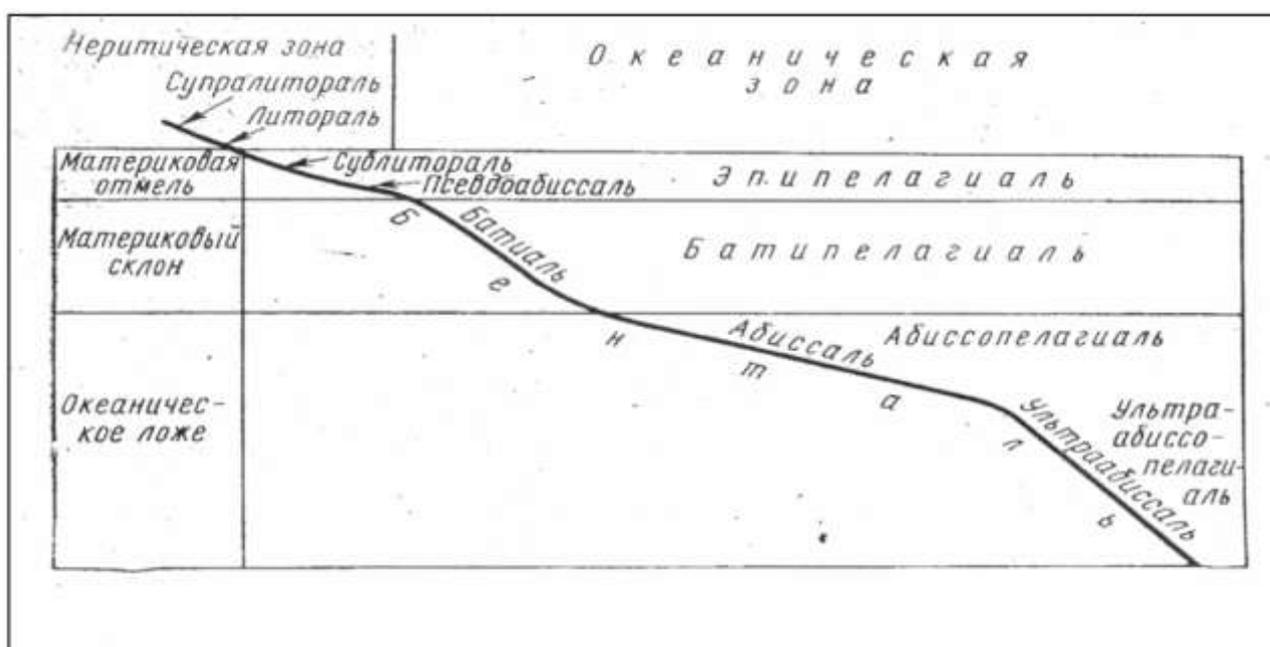


Рис. 10. Экологические зоны бентали и пелагиали Мирового океана.

В бентали Мирового океана различают области и зоны:

I. Материковое плато, отмель, континентальный шельф – уклон $0^{\circ}17' S = 7,6\%$ от всей поверхности, то есть плавное понижение суши до глубины 200 – 500 м (генетически обусловленная граница отмели).

1.1. *Супролитораль* (supra – выше, litus - берег) – зона выше уровня приливов, часть берега увлажняемая заплесками и брызгами.

1.2. *Литораль* – побережье, периодически заливаемое водой во время приливов и отливов.

1.3. *Сублитораль* – постоянное покрытие водой и простирающееся до нижней границы распространения растений, ≈ 200 м.

1.4. *Псевдоабиссаль* – выделяется, если плато распространяется на глубину >500 м и простирается до континентального гребня.

II. Материковый, континентальный склон – отделяется от материкового плато континентальным гребнем. Уклон 4 – 40°, то есть резкое, крутое опускание вниз.

Простирается до глубины 4000 м, среднее 2450 м.

2.1. *Батиаль*.

III. Океаническое ложе – простирается в среднем до глубины 3795 м.

3.1. *Абиссаль* (abyssos - бездна) – уклон 0°20' – 0°40' до глубины = 6 – 7 тыс. м.

3.2. *Ультраабиссаль* = гадаль – до максимальных глубин, крутой склон 40 – 60°.

В пелагиали по совокупности абиотических и биотических характеристик экологические зоны выделяются в двух направлениях - вертикальном и горизонтальном.

По горизонтали выделяют:

- *Неритическая зона* (nerites – побережье) – лежит под областью материкового плато, столб воды ограниченный границей распространения растений.
- *Океаническая зона* – простирается над зонами батиали, абиссали и гадали.

По вертикали выделяют зоны с учётом различных факторов:

1) по температурному фактору:

- *Эпиталасс* – верхний слой воды с резко выраженными сезонными колебаниями температуры;
- *Метаталасс* (термоклин) – слой резкого перепада температуры; температурный скачок, расположенный на глубине 15 – 100 м;
- *Гипоталасс* – глубинный слой, где температура в течение года практически не изменяется.

2) по топическому критерию:

- *Эпипелагиаль* – верхний слой воды до нижней границы сублиторали, где грубо проходит граница между освещенной и неосвещенной областями, то есть неритическая + часть океанической.
- *Батипелагиаль* – столб от эпипелагиали до нижней границы батиали.
- *Абиссопелагиаль* – до глубины 6 – 7 тыс. м.
- *Ультраабиссопелагиаль*.

3) по фактору освещенности зоны:

- *Эвфотическая,*
- *Дисфотическая,*
- *Афотическая.*

Биотические ресурсы моря.

Жизнь возникла в море, и доказательство тому – различия в разнообразии населения суши и воды.

Население суши и вод Мирового океана (Табл. 3).

Всего	Мировой океан	Суша
Животные (63 класса)	52, только море 31	11
Растения (33 класса)	10, только море 5	23

В воде растения успешно развиваются во взвешенном и прикрепленном состоянии.

В море развиваются преимущественно водоросли, цветковых растений \approx 30 видов.

Грунты Мирового океана делятся по признаку происхождения на 2 группы:

Группа 1. Пелагические грунты (из трупов гидробионтов пелагиали, из планктона):

1.1. *Красная, или коричневая глина*, на глубине > 5000 м, она образовалась из скелетов организмов, растворенных морской водой, то есть занимает океанические глубины, богатые кислородом и углекислотой, максимальное скопление в Тихом океане, много кремнезема, известь CaCO_3 не растворяется.

1.2. *Радиоляриевый ил* – близок к красной глине, отличается примесью раковин радиолярий (Рис. 11).

1.3. *Диатомовый ил* – из панцирей диатомовых водорослей, желто-серого цвета. Максимальное скопление в зоне таяния льдов (Рис. 12).

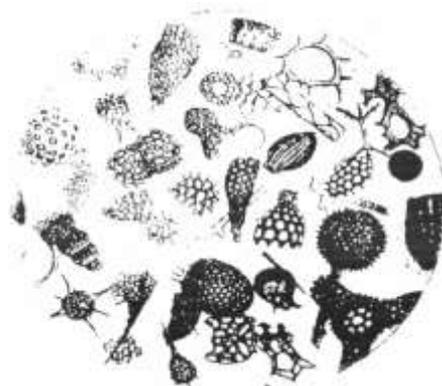


Рис. 11. Радиоляриевый ил из Индийского океана.



Рис. 12. Диатомовый ил вблизи края антарктического льда.

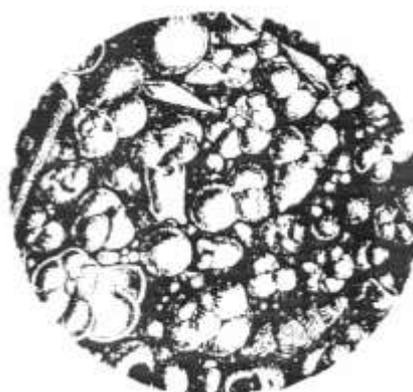


Рис. 13. Глобигериновый ил из Индийского океана.

1.4. Глобигериновый ил – из раковин корненожек Globigerina, с примесью диатомового ила. Светло-серого, светло-розового цвета. Распространяется на глубинах 3000 – 4000 м. Углекислота кальция в этих грунтах до 80 % (Рис. 13).

1.6. Птероподовый ил – содержит до 30% раковин моллюсков Pteropoda.

1.7. Коралловый ил (песок) – только в теплых районах вблизи коралловых островов.

Группа 2. Терригенные грунты (из продуктов разрушения суши).

2.1. Красный ил;

2.2. Зеленый ил (с примесью минерального глаукопита).

Лимнология – раздел гидрологии, изучающий водоёмы суши с замедленным водообменом: лентическая среда (лат. Lenis – спокойный). Это озера, пруды, болота, водохранилища. Наука довольно молодая, возникшая в последние 80 лет.

1.4.2. Озера.

Озерами (по В.А. Жадину) называются водоемы, заполняющие котловины различной величины и формы, в пределах которых сток воды замедлен или отсутствует вовсе (бессточные озера).

Озеро (по Ф. Форелю, Швейцария) – это масса воды, находящаяся в котловине, замкнутая со всех сторон и не имеющая прямого соединения с морем.

Общий объем вод озера земного шара достигает 176 тыс. км³, из которых 52 % - пресные воды, 48 % - минерализованные. Объем озера почти в 90 раз превышает суммарный объем воды в руслах рек, и в 5 раз превышает средний годовой сток всех рек Мира.

Запасы воды в крупных озерах (площадь более 1000 км²) (Табл. 4)

Название озера	Площадь зеркала, км ²	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м	Объем воды, км ³	Примечание
Каспийское море*	424 300	180	980	77 000	Соленое
Аральское море*	63 400	16	68	1 023	Соленое
Байкал	31 500	730	1 741	23 000	
Балхаш**	18 300	6,1	26	112	
Ладожское	17 700	51	230	908	
Онежское	9 720	29	127	285	Соленое
Иссык-Куль	6 280	279	702	1 730	
Зайсан	5 510	9,6	-	53	
Таймыр	4 560	2,8	26	13	

Название озера	Площадь зеркала, км ²	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м	Объем воды, км ³	Примечание
Ханка	4 150	4	10,6	16,5	Соленое
Чудско-Псковское	3 550	7,1	15	25,2	Соленое
Алаколь	2 650	22,1	54	58,6	Соленое
Чаны	1 990	2,2	9	4,3	
Тенгиз	1590	7	9	11	
Севан*	1 360	43,2	86	50,5	
Белое	1 290	4,5	20	5,2	
Выгозеро	1 140	6,2	18	7,2	
Топозеро	1 049	14,8	56	15,7	
Всего (округлено)	-	-	-	104 400	
В т.ч. в пресных озерах (округлено)	-	-	-	24 500	

* При средней отметке до снижения уровня

** Оз. Балхаш имеет двойственную природу: западная его часть пресная, восточная – солоноватая

Классификация озер по происхождению:

1) *Тектонические* образуются в результате тектонических процессов, связанных с образованием трещин или участков опускания земной коры. Типичными примерами таких озер являются: Байкал, Телецкое, Ладожское, Онежское, Севан, Иссык-Куль.

2) *Карстовые* или провальные, образуются в том случае, когда текущая подземная вода встречает на своем пути легко растворимые породы и, как говорят, выщелачивает их, т. е. растворяет и уносит их. В таких местах образуются пустоты – пещеры, которые с течением времени достигают такой величины, что прикрывающий их слой не выдерживает и проваливается. Такие озера многочисленны на Урале, в Харьковской области.

3) *Ледниковые* или моренные, происходят в результате деятельности ледников. Ледник при своем движении прокладывает себе углубленное ложе или русло. Ледник захватывает на своем пути камни (валуны) и, перекачивая их по дну русла, располагает их в виде широкой гряды, которая носит название – *донной морены*. Гряды камней по боковым краям ледника образуют *боковые морены*. Толкая встречающиеся камни вперед, он их накапливает и располагает в виде поперечной гряды – *конечная морена*. Когда ледник начинает отступать, т. е. его передний конец таит, то образующаяся вода заполняет ложе, образуя замкнутый водоем – озеро. Озера этого типа широко распространены на Камчатке, Курилах, Карелии.

4) *Реликтовые* или остаточные озера. Представляют собой остатки моря. Образование их может быть двоякое:

1. Путем простого отделения части моря, например, залива;

2. Путем сохранения остатков моря, отступившего из данной местности (Каспийское, Азовское, Черное). Если со временем через такое озеро устанавливается проток пресной воды, то оно постепенно превращается в пресноводное озеро. В противном случае, вода остается солоноватой (оз. Балхаш, Чудское, Аральское, Каспийское).

5) *Эоловые*, которые образуются в результате деятельности ветров (в средней Азии).

Классификация озер по степени минерализации:

- Пресные $S = < 1 ‰$
- Солоноватые $S = 1 - 24,7 ‰$
- Соленые (минеральные) $S = 24,8 - 47 ‰$
- Пересоленные $S = > 47 ‰$

Классификации озер по циркуляциям, температуре, кислородному режиму:

1) *Классификация Фореля (1892г.)*

- *Умеренные* (полная циркуляция весной и осенью, летом $> 4^\circ$, зимой $< 4^\circ\text{C}$);
- *Тропические* (циркуляция зимой, у поверхности $t > 4^\circ\text{C}$ всегда);
- *Полярные* (циркуляция летом, $t < 4^\circ\text{C}$).

Не очень удачна, так как в Шотландии имеются чисто тропические озера, а в тропических странах озера различной циркуляции.

2) *Классификация Йошимура (1936г.)*

- *Тропические* ($t_{\text{пов}} - 20-30^\circ\text{C}$, термокл. слабо, нерегуляр. циркул. зимой);
- *Субтропические* ($t_{\text{пов}} > 4^\circ\text{C}$, термокл. отчетл., циркул. зимой);
- *Умеренные* ($t_{\text{пов}} > 4^\circ\text{C}$ – летом, $< 4^\circ\text{C}$ – зимой, годовая амплитуда велика, термокл. отчетл., циркул. весной и осенью);
- *Субполярные* ($t_{\text{пов}} > 4^\circ\text{C}$ только в середине лета, термокл. слабо у поверхности, циркул. в начале лета и ранней осенью);
- *Полярные* ($t_{\text{пов}} < 4^\circ\text{C}$, безледный период краток, циркул. летом).

3) *Классификация по Лёфлеру (1956г.), Хатчинсону (1969г.)*

- *Димиктические* – циркуляция 2 раза в год осенью, весной. Устойчивая стратификация летом и зимой (оз. Белое, Большое, Шира);
- *Теплые мономиктические* (тропические по Форелю) – циркуляция 1 раз в год – зимой при $t_{\text{пов}} > 4^\circ\text{C}$;
- *Холодные мономиктические* – циркуляция один раз в год летом при $t_{\text{пов}} < 4^\circ\text{C}$ (полярные);
- *Олигомикстные* – с редкими полными циркуляциями, не закономерно следующими друг за другом через разные промежутки времени (часть тропических);
- *Теплые полимикстные* – частые полные циркуляции (часть тропических);
- *Холодные полимикстные* – с почти постоянной полной циркуляцией (тропические высокогорные).

Экологические зоны озёр.

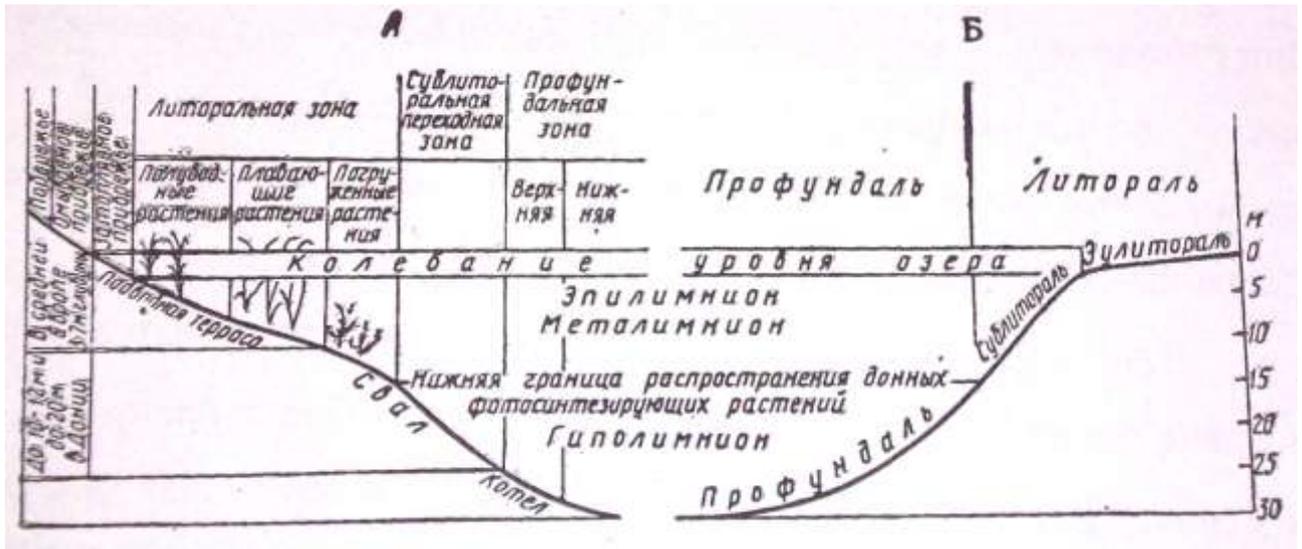


Рис. 14. Экологические зоны бентали и пелагиали озера. А – по Зернову (1949); Б – по Ruthner (1962).

- *Подводная терраса* (до 7 м) – постепенное слабое понижение суши, где выделяют *литоральную зону*, включающую побережье, омываемое и затопляемое прибрежье и зону распространения полуводных и плавающих растений, а в некоторых озерах литоральная зона захватывает и следующие области.

- *Свал* – имеет более крутой угол понижения. Эта область кроме *литоральной зоны*, с погруженными растениями включает и *сублитораль* – до нижней границы распределения водной растительности.

- *Котёл* – занимает большую часть озерного дна и соответствующей зоны – *профундали*, но имеется она только в глубоких озерах.

Пелагиаль рассматривается:

по горизонтали:

- *Прибрежная* – лежит под подводной террасой;
- *Собственно пелагиаль* – расположена над свалом и котлом.

по вертикали:

- *Эпилимнион* – сезонные и суточные колебания t ;
- *Металимнион* или *термоклин* – t скачок;
- *Гиполимнион* – глубинный над котлом.

по освещенности:

- *Эвфотическая*;
- *Дисфотическая*;
- *Афотическая*.

Эколого-трофические типы озера

1) *Олиготрофный тип* (гр. oligos – немногочисленный, малый, trofe – пища) – малокормные водоемы с большими прозрачностью и глубиной,

слаборазвитой литоралью, низкой температурой, низкой минерализованностью (мало биогенов – азота, фосфора); низкая первичная продукция органического вещества ($A < 0,03$ гС/м² сут.), мало бактерио-, фито-, зоопланктона, качественно разнообразен зообентос, ихтиофауна.

Олиготрофные озера по возрасту самые молодые. Они характеризуются следующими абиотическими показателями:

- цвет воды – голубой;
- прозрачность по диску Секки – от 4 м и более;
- содержание кислорода, как правило, высокое по всей толще воды;
- взвеси в воде нет;
- донные органические илы отсутствуют.

Олиготрофные озера малонаселенны. Они характеризуются следующими биологическими показателями:

- видовое разнообразие – низкое;
- биомасса фитопланктона – 0,5 – 1,0 г/м³;
- биомасса зоопланктона – менее 1 г/м³;
- биомасса зообентоса – менее 3 г/м²;
- общая биологическая продуктивность – низкая.

2) *Эвтрофный тип* (гр. eu – хорошо, trofe – пища) класс кормности – высокий ($A = 0,31$ – 3,00 гС/м² сут.) – неглубокие водоемы с широкой литоралью, много биогенов, в глубинном илу – сильные процессы гниения, много детрита. Планктон количественно богат. Синезеленые водоросли господствуют над зелеными. «Цветение» вод на IV – V стадиях. Донная фауна качественно бедна, количественно богата.

Эвтрофные озера – стареющие по возрасту. Они характеризуются следующими абиотическими показателями:

- цвет воды – зеленый;
- прозрачность по диску Секки – от 1 м и ниже;
- содержание кислорода – в гипolimнионе, как правило, низкое;
- взвеси в воде много;
- донные органические илы значительны.

Эвтрофные озера перенаселены организмами. Они характеризуются следующими биологическими показателями:

- видовое разнообразие – наивысшее;
- биомасса фитопланктона – свыше 2,0 г/м³;
- биомасса зоопланктона – от 2 г/м³ и выше;
- биомасса зообентоса – от 5 г/м² и выше;
- общая биологическая продуктивность – наивысшая.

3) *Мезотрофный тип* (гр. meso – средний, trofe – пища) – водоемы оптимального развития планктона, бентоса, ихтиофауны. «Цветение» вод на уровне III – IV стадии, первичная продукция – 0,03 – 0,30 гС/м² сут. Класс кормности – умеренно-средний.

Мезотрофные озера – средние по возрасту. Они характеризуются следующими абиотическими показателями:

- цвет воды – зеленовато-голубой;
- прозрачность по диску Секки – от 1 до 4 м;
- содержание кислорода – в гипolimнионе, как правило, низкое;
- взвесь в воде имеется;
- донные органические илы присутствуют.

Мезотрофные озера более населены, чем олиготрофные. Они характеризуются следующими биологическими показателями:

- видовое разнообразие – среднее;
- биомасса фитопланктона – 1,0 – 2,0 г/м³;
- биомасса зоопланктона – от 1 до 2 г/м³;
- биомасса зообентоса – от 3 до 5 г/м²;
- общая биологическая продуктивность – средняя.

4) *Дистрофный тип* (гр. dys – не, trofe – пища) «некормные» - неглубокие водоемы с сильно гумифицированной, слабо минерализованной водой, часто заболоченные с торфяными отложениями. Автохтонной органики мало, много аллохтонной (преимущественно гумусные вещества). Фитопланктон, бентос – бедны, часто безрыбные.

Дистрофные – это старые, умирающие озера. Они характеризуются следующими абиотическими показателями:

- цвет воды – бурый;
- прозрачность по диску Секки – крайне низкая;
- содержание кислорода – во всей пелагиали низкое;
- взвесь в воде избыточна;
- донные органические илы образуют многометровый придонный слой.

Дистрофные озера малонаселены (в основном организмами, способными переносить высокую кислотность и низкое содержание кислорода). Они характеризуются крайне низкими показателями численности, биомассы и продуктивности.

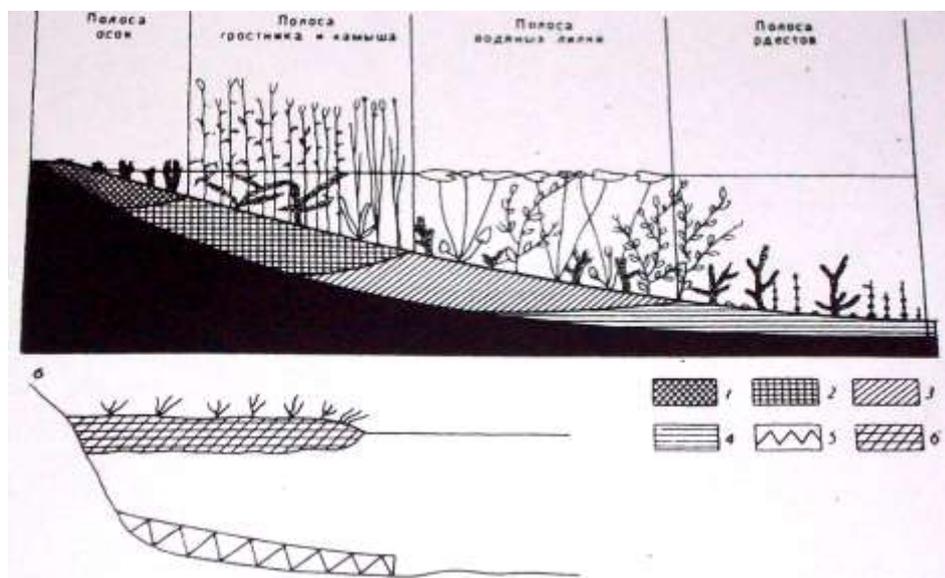


Рис. 15. Зарастание озера (а) и нарастание сплавин (б) по В.Н. Сукачеву.

1 - осоковый торф; 2 - тростниковый и камышовый торф; 3 - сфагнумовый торф; 4 - сфагнумовый торф; 5 - моховой торф; 6 - моховая сплавина.

1.4.3. Водохранилища

Водохранилище – это искусственный водоём с замедленным водообменом, объём более 1 млн. м³, уровненный режим которых не постоянен и регулируется.

Водохранилища объемом 10 км³ и более (Табл. 5).

№	Водохранилище	Год заполнения	Полный объём, км ³
1.	Братское	1961	169,3
2.	<i>Красноярское</i>	<i>1967</i>	<i>73,3</i>
3.	Зейское	1974	68,4
4.	Богучанское	Строится	58,2
5.	Куйбышевское	1955	56,0
6.	Бухтарминское	1960	49,6
7.	Волгоградское	1958	31,4
8.	Капчагайское	1970	28,1
9.	Рыбинское	1940	25,4
10.	Цимлянское	1952	23,9
11.	<i>Саянское</i>	<i>1990</i>	<i>31,3</i>

Типизация водохранилищ *по географическому положению, по высоте положения:*

- 1) *Равнинные:* → большая площадь зеркала;
→ большая площадь затопленных земель на единицу объёма;
→ средняя глубина 15 – 25 м;
→ сработка 2 – 7 м;
→ большая переработка берегов.
- 2) *Предгорные:* → глубина 70 – 100 м, в среднем 35 м;
→ сработка 10 – 20 м;
→ малая переработка берегов
Пример, Красноярское водохранилище.
- 3) *Горные:* → небольшая площадь затопленных земель;
→ глубина > 100 м;
→ сработка > 20 м до 100 м.
Пример, Саянское водохранилище.
- 4) *Высокогорные* → средние показатели.

Типизация водохранилищ *по термическому режиму, по числу полных циркуляций* (по Хатчинсону, 1969г.)

- 1) *Голомиктические* – время от времени водная толща полностью перемешивается.
- 2) *Меромиктические* – циркуляционные процессы в пределах всей толщи от поверхности до дна отсутствуют ввиду повышенного содержания в придонной части минеральных веществ.
- 3) *Амиктические* – постоянно покрытые льдом.

Классификацию водохранилищ по гидрологическим показателям см. Табл. 5, 6, 7, 8.

Типизация водохранилищ *по конфигурации, форме* (Рис. 16-20):

А) по В.А. Жадину (1961г.) водохранилища делятся на:

- *Русловые* (лощинные) – остаются в пределах рек (Волгоградское, Красноярское, Саяно-Шушенское).



Рис. 16. Схема Красноярского водохранилища

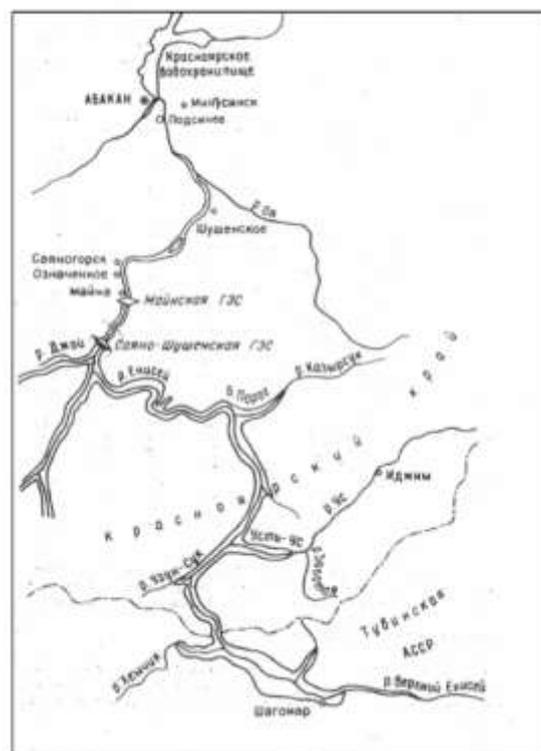


Рис. 17. Схема Саяно-Шушенского водохранилища

- *Лопастные* (озеровидные) – хорошо развитая береговая линия (Рыбинское, Кременчугское).

- *Водоохранилища сложной конфигурации* – подковообразные, вилообразные (Братское, Вилюйское).

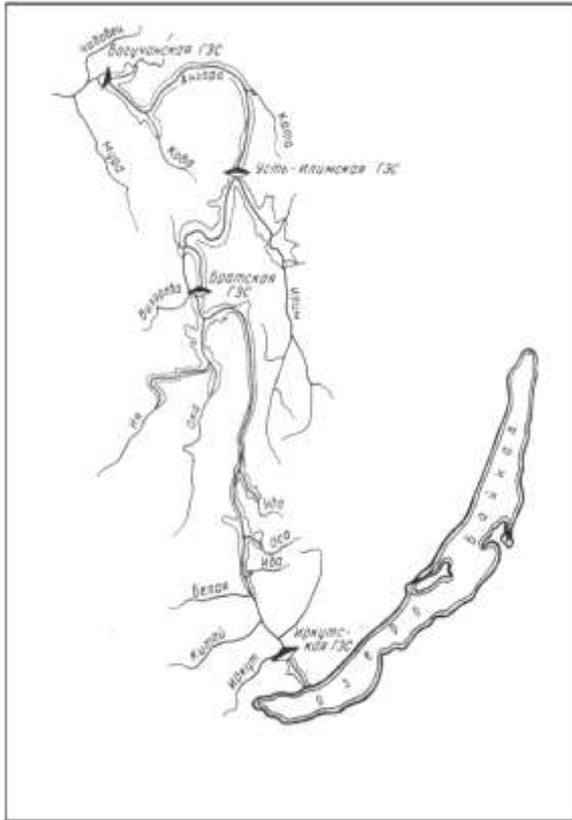


Рис. 18. Схема Братского водохранилища

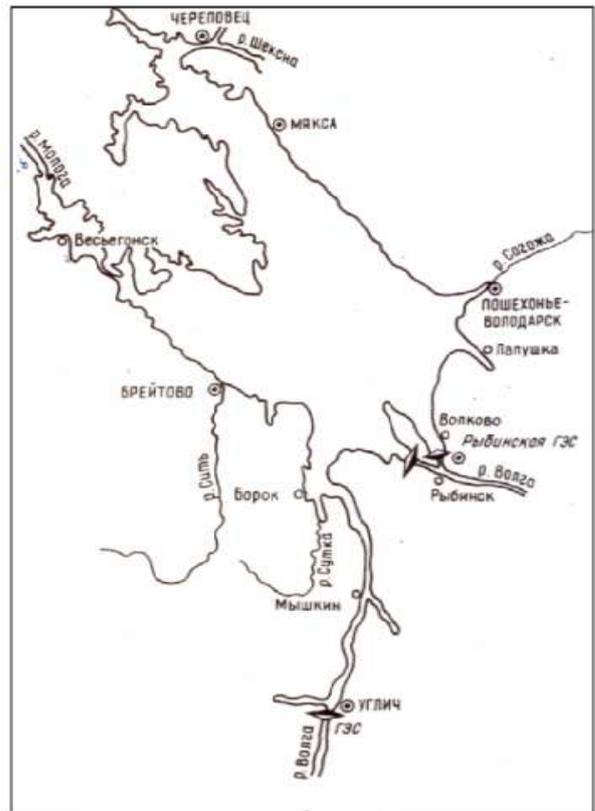


Рис. 19. Схема Рыбинского водохранилища

Б) по Фортунатову (1970г.) водохранилища делятся на:

- *Пойменные* – сходны с рекой в период половодья;
- *Долинные* – удлиненной конфигурации с плесами (Красноярское водохранилище);
- *Озоровидные* – продолговатые, широкие, лопастные, – извилистая береговая линия, много островов и заливов, длина илового плеса равна ширине или превышает не более чем в 2 – 2,5 раза. Это преимущественно Волжские водохранилища, зарегулированные ледниковые озера Карелии, Мурманской области, Канады.

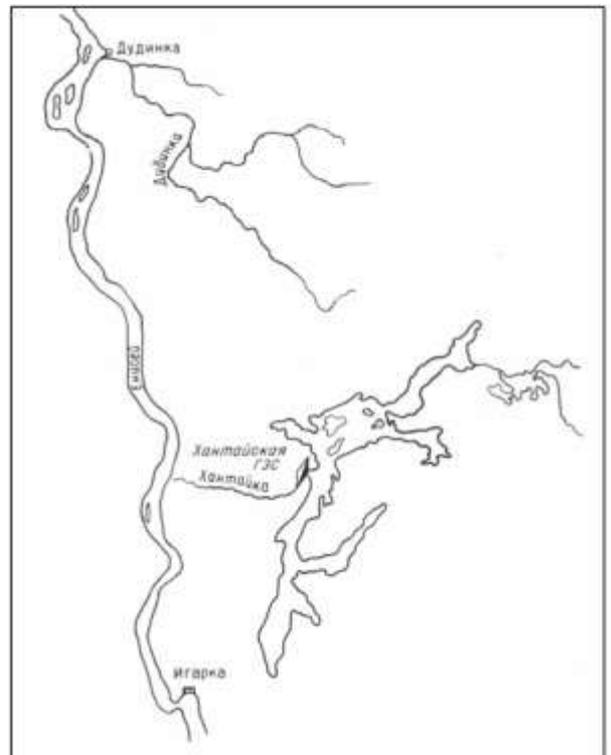


Рис. 20. Схема Усть-Хантайского водохранилища

Классификация водохранилищ по гидрохимическому режиму, по преобладанию анионов (по Алёкину, 1952г.):

- Гидрокарбонатные – $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ (лесная зона, лесостепи);
- Сульфатные – SO_4^{2-} (южная часть лесостепи и степная зона);
- Хлоридные – Cl (полупустыни).

Классификация водохранилищ по трофности (описание см. 1.4.2.):

- Олиготрофные
- Мезотрофные
- Евтрофные
- Полиевтрофные
- Гиперевтрофные

Классификация водохранилищ по глубине, м (Табл. 6):

Группа	Максимальная глубина	Средняя глубина
Исключительно глубоководные	>200	>60
Очень глубокие	100 – 200	30 – 60
Глубокие	50 – 99	15 – 29
Средней глубины	20 – 49	7 – 14
Незначительной глубины	10 – 19	3 – 6
Мелкие	<10	<3

Классификация водохранилищ по работе уровня воды (Табл. 7):

Степень колебания уровня	Амплитуда, м	Водохранилище
Малая	<1	Саратовское
Небольшая	1 – 3	Волгоградское, Усть-Илимское
Средняя	4 – 10	Рыбинское, Братское
Большая	11 – 30	Хантайское, Красноярское
Очень большая	31 – 100	Нурекское, Саяно-Шушенское
Исключительно большая	>100	Джаварское

Характерным показателем гидрологического режима водохранилищ служит коэффициент водообмена (K_B) – отношение годового стока из водохранилища к объему воды в водохранилище.

$$K_B = V_{ст} / V_B, \text{ где } V_{ст} - \text{объем стока; } V_B - \text{объем воды.}$$

K_B показывает, сколько раз в течение года или другого периода сменится объем водоема, полный или полезный объем водохранилища.

Классификация водохранилищ по водообмену (Табл. 8).

Степень водообмена	Водообмен в год	Водохранилище
Исключительно большая	<0,10	Саратовское, Киевское
Очень большая	0,10 – 0,24	Куйбышевское, Новосибирское
Большая	0,25 – 0,49	Кременчугское, Каховское
Средняя	0,50 – 0,99	Рыбинское, Красноярское, Саяно-Шушенское
Небольшая	10,0 – 19,0	Цимлянское, Братское
Малая	>2,0	Бухтарминское, Пролетарское

Экологические зоны водохранилища:

Бенталь

- Прибрежная осушенная зона, сублитораль в ней отсутствует (т.е. постоянного покрытия водой нет);
- Литораль (периодически заливаемая зона);
- Профундаль.

Пелагиаль

- Эпилимнион;
- Гиполимнион.
- Металимнион (термоклин);

В водохранилище очень важной морфометрической характеристикой является **уровень**. Различают следующие уровни (Рис. 21)

- *Естественный уровень воды* (ЕУ);
- *Нормальный подпорный уровень* (НПУ);
- *Уровень мертвого объема* (УМО);
- *Форсированный подпорный уровень* (ФПУ) – допустимый на краткое время при пропуске очень высоких паводков.



Рис. 21. Уровни и водные объемы водохранилища: ФПУ – форсированный подпорный уровень, УМО – уровень мертвого объема; НПУ – нормальный подпорный уровень (по Авакяну и Шарапову, 1977)

В результате весь объем водных масс подразделяется на:

- *Полезный* (НПУ-УМО)– он может срабатываться;
- *Мертвый* – из него попуски невозможны;
- *Сливная линза* (НПУ-ФПУ).

Пример по Красноярскому водохранилищу:

Высота плотины– 118 м, Нормальный подпорный уровень по *Балтийской системе* - НПУ – 243 м Б.С. УМО – 225 м. Балтийская система – это система абсолютных высот, счет которых ведется от нуля *футштока* в Кронштадте. *Футшток* – это рейка с делениями, установленная на водомерном посту для наблюдения за уровнем H₂O. В России – от нуля Кронштадтского футштока.

Отличие водохранилищ естественных водоемов:

- Водоохранилища возникают *мгновенно*;
- Режим их уровней и расходов воды в нижнем бьефе *планируются* заранее;
- Комплекс *внутриводоемных* процессов (гидродинамических, гидрохимических, гидробиологических и др.) приобретают новую направленность и интенсивность;
- В процессе эксплуатации проектный *режим* водохранилища может многократно *меняться*;
- Нарушается сложившееся относительное равновесие в *природе*, образуется зона влияния водохранилища, изменяется хозяйство и условие жизни в этой зоне людей.

Негативное влияние водохранилищ на окружающую среду (на природу прилегающих территорий; на внутриводоёмные процессы).

- Возрастает сейсмичность;
- Усиливаются абразия берегов, подпор подземных вод; заболачивание территорий;
- Изменяются климатические условия: континентальность уменьшается, сглаживается суточный ход t^0 C, весной t^0 C воды меньше t^0 C суши, осенью t^0 C водной поверхности больше t^0 C суши, уменьшается число штилевых дней, скорость ветрового потока возрастает;
- В нижнем бьефе – увеличивается влажность, туманность;
- Изменяется растительность: выпадают мезофильные злаки, бобовые; поселяются гигрофиты (осоки, камыши и др.), гигромезофилы, отмирает корневая система растений; наиболее чувствительные к затоплению – ель, пихта, сосна;
- Развивается «цветение» вод;
- Изменяется животный мир: погибают в процессе гидротехнических работ, преграждаются миграционные пути, позднее весенне-летнее наполнение, гибель птенцов, яиц.
- Ухудшается качественный состав ихтиофауны, исчезают ценные промысловые рыбы, ухудшаются условия рыболовства.

1.4.4. Реки

Потамология (гр. *potamos* - река) это раздел гидрологии, изучающий водотоки, проточные водные объекты: лотическая среда (лат.—*lotus* – омывающий).

Родники, ручьи, реки

Реки – это водные объекты, водная масса которых перемещается от истока к устью вследствие разницы их положения над уровнем моря, т. е. под влиянием силы тяжести. Это водный поток, протекающий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока речного бассейна.

Реки собирают воды с поверхности земли – *поверхностные воды*, у верхних слоев земли – *подземные воды*.

Водоносность рек. Самая многоводная река мира – *Амазонка*. Среднегодовой расход воды достигает 175 000 м³/с. (Табл. 9).

В России – *Енисей* (среднегодовой расход воды равен 19 800 м³/с).

Водоносность больших рек мира (Табл. 9).

Река	Пункт	Длина реки, км	Площадь бассейна, тыс. км ²	Расход воды, м ³ /с
Амазонка	Устье	6280	7050	175000
Конго	Киншаса	4370	2620	39160
Ганг	Устье	2700	1060	38000
Янцзы	Устье Вади-Хальфа	5520	1800	3100
Нил		6670	2870	22750
Енисей		4092	2580	19800
Миссисипи		6215	3248	18400
Лена		4400	2490	16100
Обь		5410	2975	12700
Амур		4416	1855	10900
Маккензи		4240	1760	10800
Св. Лаврентия	Корнуолл	3060	1026/1378	9860
Волга	Устье	3530	1360	7710
Нигер	Онитша	4160	1100/2092	7000
Инд	Суккур	3190	900/960	4780
Дунай	Устье	2850	817	6430
Юкон	Калтог	3180	767/900	6210

В реках различают:

Исток (Н) – место на земной поверхности, где русло реки приобретает отчетливо выраженные очертания и где наблюдается течение. При образовании реки из слияния двух рек, истоком является место слияния.

Устье (h) – место, где река впадает в другую реку, озеро или море.

Долина – узкие вытянутые формы рельефа, где протекает река.

Пойма – часть дна долины, заливаемая высокими речными водами.

Уклон (I) – отношение разницы (H-h) в высоте над уровнем моря: между истоком (H) и устьем (h), длиной (l) реки:

$$I = \frac{H - h}{l} = \frac{\Delta H}{l}$$

Реки выносят свои воды в океаны, моря и озера.

Река, впадающая в один из таких водоемов, называется *главной рекой*, а реки, впадающие в нее – ее *притоками*. Реки, впадающие в главную реку – притоками I порядка и т. д.

В формировании речного русла принимают участие два процесса:

- эрозия (*размыв*);
- накопление *речных наносов*.

В итоге формируются *плесы* и *перекаты*.

Плесы – это участки дна с довольно значительной глубиной и значительные по площади в ширину, длину.

Перекаты – мелководные и короткие участки.

Реки являются как бы посредниками в процессах водообмена между сушей и Мировым океаном. Через реки возвращается в океан испаряющаяся из него вода и выпадающая на сушу в виде осадков – это *жидкий сток*.

Параллельно поступает *твердый сток* – это вынос твердых компонентов с суши.

Экологические зоны рек.



Рис. 22. Экологические зоны рек.

По освещенности выделяются зоны: *эвфотическая* – над рипалью и медиалью;
дисфотическая – над стреженью.

По температурному и кислородному режимам в водотоках различают *гомотермию* и *гомооксигению*. Это равномерное распределение по глубине величин температуры и содержания кислорода.

Для гидробионтов водотоков характерны явления - *реотропизм*, *реофилия*.

Реотропизм – это принудительная ориентировка организмов в отношении текущей воды:

- *положительный* реотропизм – продольная ось тела и голова направлены против течения (личинки ручейников, рыбы на нерест);
- *отрицательный* реотропизм – продольная ось тела и голова направлены по течению (личинки мухи *Simulium*).

Реофилия – это приспособленность водных организмов к жизни в текущей воде. Адаптации проходили по двум путям:

Первый путь – сопротивление движущим силам воды: обтекаемость тела; уплощение тела (поденка однодневка *Prosoptista*); мелкие размеры (водяные клещи в реках $l = 0,3-1$ мм, в озере $l = 2 - 8$ мм); прикрепление к субстратам, грунту (присоски, коготки, домики); медленное передвижение.

Второй путь – крепкое тело, мощное прикрепление – отдают свое тело на волю волн и течений (Пример: сидячие, прикрепленные бактерии р. *Sphaerotilus*, водоросли, р. *Microcystis*, мушка р. *Simulium*) (Рис. 23).

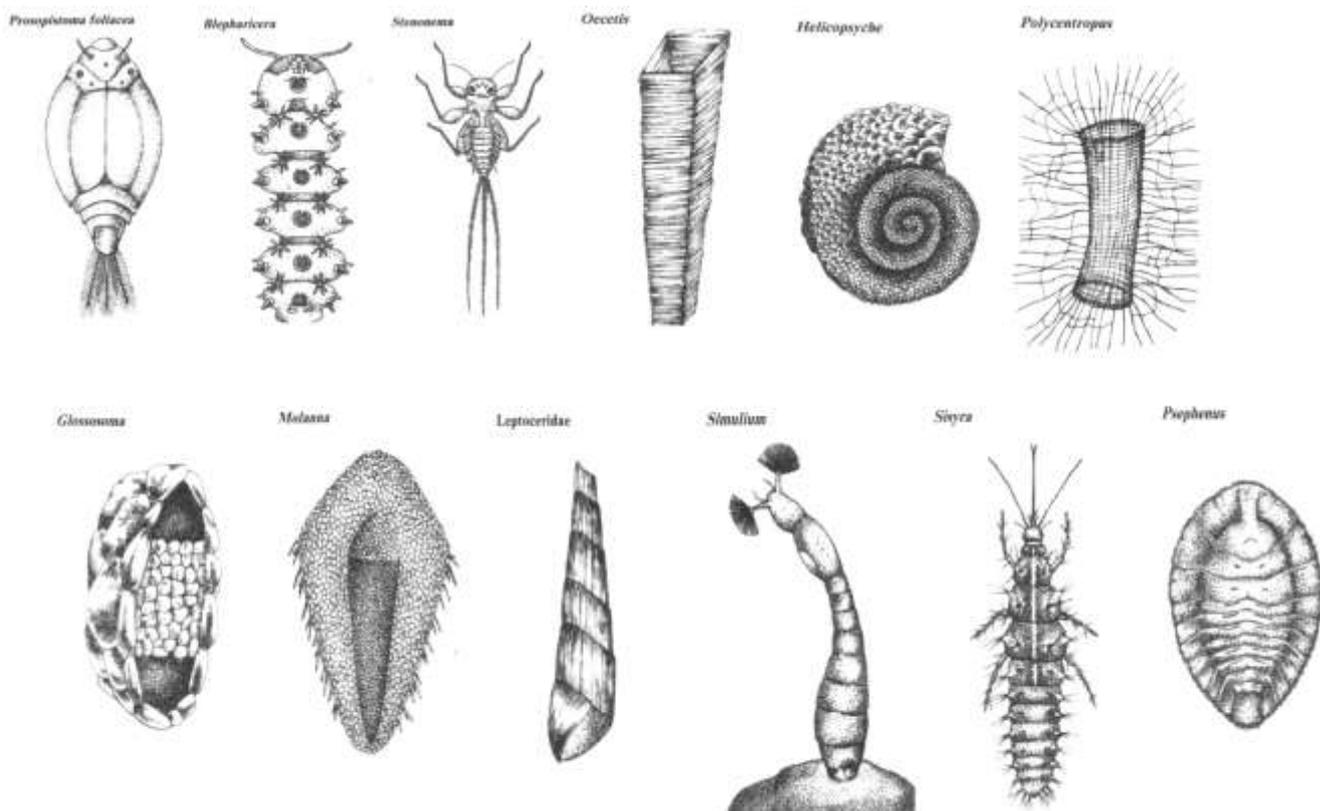


Рис. 23. Примеры гидробионтов – реофилов.

В фитопланктоне водотоков доминируют диатомовые *водоросли*.

В зоопланктоне по численности преобладают *колорадки*.

В донных грунтах присутствуют бентонты 5 комплексов:

- *псаммореофильный (песок)*;
- *литореофильный (камни)*;
- *аргиллореофильный (глина)*;
- *пелореофильный (ил)*;
- *фитореофильный (растения)*.

Самостоятельная подготовка

Эколого-биологические характеристики *болот, прудов, ручьев* и конкретных водных объектов России (по заданию преподавателя).

Течение. Приспособления водных организмов к обитанию в водотоках, зонах прибоя, отливов и приливов.

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища.- М.: Мысль, 1987;

2. Амос У.Х. Живой мир рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.

3. Исаев А.И., Карпова Е.И. Рыбное хозяйство водохранилищ: справочник. - М.:Мысль,1987;

4. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод/ ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой; отв. за вып. З.Г. Гольд. - Красноярск: СФУ, 2008;

5. Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж., Турекиан К. Океан сам по себе и для нас. - М.: Прогресс, 1982.

Раздел 1.5. Жизненные формы гидробионтов

Принципы выделения жизненных форм. Определения. Первичноводные и вторичноводные организмы.

1.5.1. Планктон. Классификации планктона по особенностям жизни гидробионтов, условий их существования: фито-, бактерио-, зоопланктон, мегало-, макро-, мезо-, микро-, нано-, пикопланктон, голо-, меро-, крио-, тихопланктон. Плавучесть, движение, миграции планктеров. Парадокс планктона.

1.5.2. Бентос. Классификации бентоса по типу водного объекта, по принадлежности к царству протистов, растений, животных, по размерам организмов, по обитанию на грунте, в грунте, типу грунта, по образу жизни. Приспособления к обитанию в бентали (защита от засыпания взвесью, удержание на субстрате, движение, миграции, ложная адаптация, айсберговая

адаптация). Количественная и качественная неоднородность пространственного распределения бентоса. Пелагобентос.

1.5.3. *Нейстон. Плейстон.* Морфо-экологические приспособления к жизни на границах раздела «вода-воздух».

Жизненная форма гидробионтов – это конвергентно возникшие совокупности организмов разного систематического положения, обладающие принципиально сходными приспособлениями для нахождения и удержания себя в определенном биотопе (Табл. 10).

Биотоп	Жизненная форма
Пелагиаль	Планктон, Нектон
Бенталь	Бентос, Перифитон
Контактные зоны: вода - воздух	Нейстон, Плейстон

Первичноводные организмы – организмы, эволюция которых на протяжении всех геологических периодов происходила в водной среде. К этой группе относятся:

1. Тип Protozoa - простейшие.
2. Тип Spongia - губки.
3. Тип Coelenterata - кишечнополостные.
4. Все типы Vermes - черви.
5. Тип Mollusca - все, кроме легочных (отр. Pulmonata).
6. Тип Echinodermata - иглокожие.
7. Тип Chordata - хордовые:
 - п/тип Tunicata - оболочники;
 - п/тип Hemichordata - кишечнодышащие.
8. Класс Crustacea - ракообразные.
9. Все классы Pisces - рыбы.
10. Класс Amphibia - земноводные.
11. Водоросли Algae.

Для *первичноводных (гомотопных) организмов* характерно водное дыхание, т. е. способность использовать для дыхания кислород, растворенный в воде.

Вторичноводные организмы - это организмы, предки которых были обитателями суши, затем перешли в водную среду и приспособились к ней. Их эволюционное развитие шло по линии: *водные организмы - воздушные - снова водные (гетеротопные)*.

К ним относятся:

1. Подкласс Pulmonata - легочные моллюски.
2. Класс Insecta - водные насекомые (тип Arthropoda, членистоногие).
3. Класс Arachniodea - паукообразные (тип Arthropoda, членистоногие).
4. Класс Mammalia - водные млекопитающие (киты, дельфины).

1.5.1. Планктон.

Планктон (planktos - парящий, nekτος - плавающий) - это организмы либо не способные к активным движениям, либо обладающие ими, но не могущие противостоять токам воды, которыми они переносятся с места на место. Понятие ввел Гензен в 1887 году.

Способность противостоять течению через гидродинамические показатели оценивается через **число Рейнольдса** (Re), которое учитывает силы инерции и трения.

$Re = v * (l : \lambda)$, где v - скорость движения жидкости; l - длина тела;
 λ - кинематическая вязкость.

Планктон плавает в режиме $Re > 2 \cdot 10^7 >$ нектон. При $Re < 2 \cdot 10^7$ - расчлененность контура, обилие выступающих деталей, плохая обтекаемость.

Элементарные условия парения и плавания, т. е. скорость погружения (формула плавучести) могут быть описаны **формулой В. Оствальда**. Плавучесть (V) увеличивается путем повышения трения о воду и уменьшения остаточного веса:

$$V = \frac{b}{S \times W \times C}$$

где b – остаточный вес – масса животного, из которого вычтен по закону Архимеда вес вытесненной им воды; S – относительная поверхность – отношение абсолютной поверхности к его объему; W – вертикальная проекция – положение плоскости относительно направления; C – внутреннее трение (определяется внешней средой: плотностью, вязкостью, температурой, удельным весом). $C = \text{температура} / \text{соленость}$.

Для планктических организмов характерно формирование **конвергентных обликов** - это приобретение в ходе эволюции сходного строения и функций неродственными организмами вследствие приспособления к одинаковым условиям существования (шары, барабаны, диски, палки, ежевидные, кустовидные и др.) (Рис. 24).

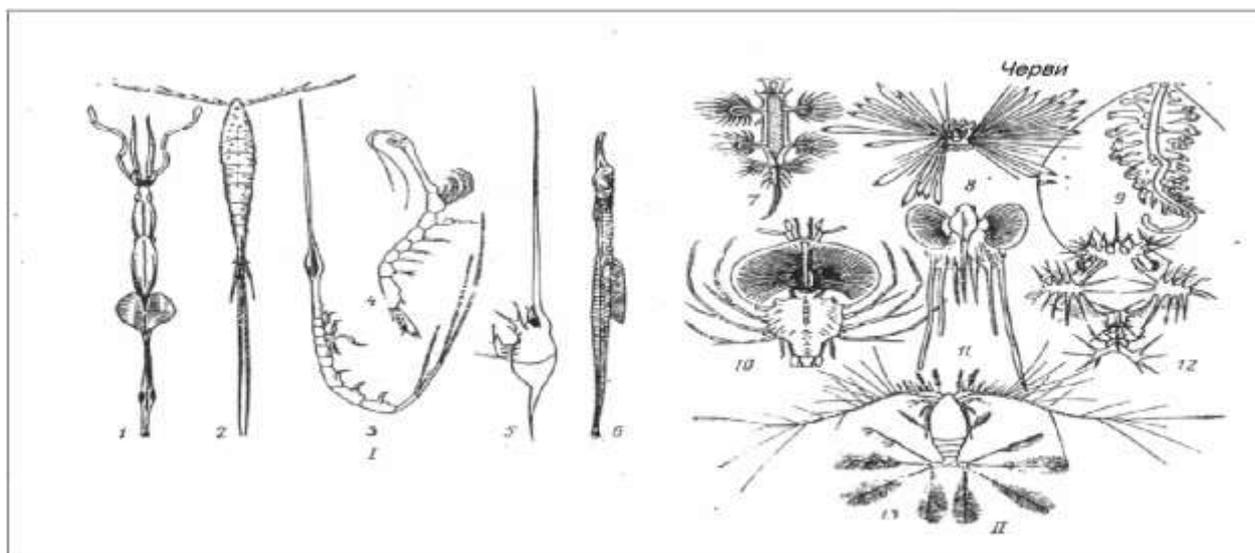


Рис. 24 Конвергентные облики. Увеличение удельной поверхности гидробионтов (по Зернову, 1949).
I – за счет удлинения тела; II – за счет его расчленения.

Способы удержания планктонных организмов в толще воды:

- Уменьшение остаточного веса (*b*):

- редуция кальциевых, кремниевых скелетных образований;
- пропитка тканей водой;

- увеличение жировых студенистых включений;
- увеличение газовых включений.

- Увеличение сопротивления формы:

- удлинение одной оси;
- удлинение двух осей;
- образование выростов;

- увеличение шаровидных форм;
- уплощение, расчленение тела;
- уменьшение размеров тела.

Классификации планктона (Табл. 11).

По размеру организмов		<5 мкм	Ультрапланктон (пико)
		От 5 мкм до 50 мкм	Наннопланктон
		От 50 мкм до 1 мм	Микропланктон
		От 1 мм до 10 мм	Мезопланктон
		От 10 мм до 500 мм	Макропланктон
		>1 м	Мегалопланктон
По распределению	Горизонтальному	Над континентальным склоном	Неритический планктон
		Ниже уровня континентального склона	Океанический планктон
	Вертикальному	Эвфотическая зона	Эпипланктон
			Мезопланктон
		Дисфотическая зона	Инфрапланктон
			Батипланктон
По продолжительности жизни в пелагиали	Живет всю жизнь	Голопланктон	
	Проводит часть жизни (личиночные стадии)	Меропланктон	
По качественному составу (по принадлежности к одному из царств)	Царство растений	Фитопланктон	
	Царство животных	Зоопланктон	
	Царство протистов	Бактериапланктон	
По типу водоёма	Река	Речной, реофильный	
	Озеро, водохранилище	Лимнофильный	
	Море	Морской	

Характерным признаком поведения планктонных организмов являются миграции.

Миграции - это массовые перемещения организмов, которые повторяются регулярно во времени и пространстве. *Миграция* – звено жизненного цикла, связанное с предыдущими и последующими звеньями.

Различают следующие типы миграций:

Периодические миграции – совершаются закономерно через определенные промежутки времени.

Непериодические миграции (нерегулярные) – они хаотичны, часто заканчиваются массовой гибелью животных.

Онтогенетические миграции – вызываются изменениями требований животного к условиям существования на разных стадиях. Эти миграции обеспечивают расселение вида, происходят на стадии личинки, во время размножения, полового созревания.

Генеративные миграции (лат. genero – рождаю, провожу) регулируют функцию полового размножения.

Причины миграций – максимальное удовлетворение потребностей организмов, обеспечение благоприятных условий – это наличие пищи, врагов-хищников и другие факторы.

Миграции могут быть: горизонтальными; вертикальными.



Рис. 25. Суточные миграции самки рачка *Calanus finmarchicus* (цит. по Константинову, 1986 г.)

Миграции зависят от вида, от возраста, пола, сезона (примеры):

Calanus finmarchicus, *C. cristatus* мигрируют в течение суток с V копепоидитной стадией;

Daphnia longispina - самки ♀♀ днем перемещаются преимущественно в эпилимнионе; ♂♂ - в гиполимнионе днем, а ночью рассеиваются равномерно.

Байкальские эндемики р. *Epischura*, р. *Macrohectopus* зимой держатся на глубине 200 - 300 м, весной у поверхности.

Биологические выгоды от вертикальных миграций:

1. Защита от «зрительных» планктофагов;

2. Уход от коротковолновых (УФ) лучей;
3. Избегание неблагоприятных условий в поверхностных слоях;
4. Удовлетворение трофических потребностей;
5. Обмен энергетическим материалом при перемешивании различных частей популяции;
6. Вертикальные миграции дают энергетическую выгоду, которую доказал в 1963 г. Маклорен;
7. Вертикальные миграции у некоторых организмов связаны с потребностями размножения (медузы, сальпы, кольчатые черви).

Цикломорфоз (сезонная изменчивость, сезонный полиморфизм и др.) – это явление сезонных вариаций, регулярных изменений формы тела, может изменяться величина всего тела без изменения отдельных его частей, либо тело изменяет свою форму путем образования или редукции выростов. Изменение формы тела происходит не у одного и того же индивидуума, а в течение их цикла развития в ряде следующих друг за другом генераций (поколений, пометов, линек) одной и той же прародительской формы (родоначальницы, матери) (Рис. 26).

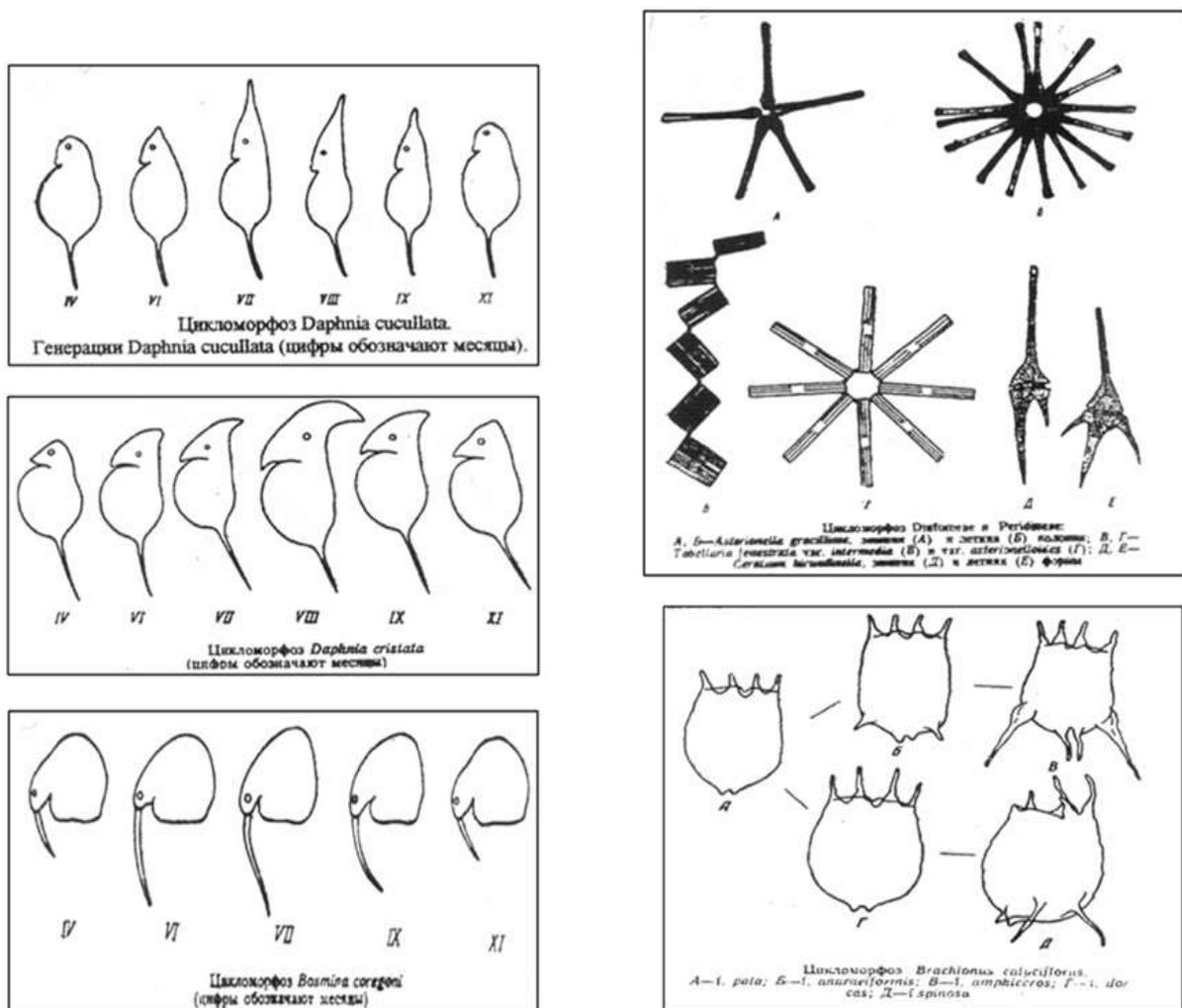


Рис. 26. Примеры цикломорфоза у планктонных организмов.

Активное плавание планктонных организмов осуществляется:

- с помощью жгутов, ресниц на поверхности тела (у воздушных организмов их нет). На движение расходуется 0,1 % полезной энергии аэробного дыхания.

- с помощью мышц (конечностей, антенн, плавников, ласт) осуществляется работа коловращательного аппарата, изгибание тела.

Движение планктонных организмов определяется их плавучестью

Положительная плавучесть – действует заглубляющая сила, тело более выпуклое снизу, во время движения заглубляющая сила нейтрализует действие направленной вверх гидростатической силы (тюлени плавают вверх брюхом, выпуклая спинная сторона).

Отрицательная плавучесть – действует сила препятствующая погружению, тело более выпуклое сверху, образуется подъемная сила, нейтрализующая силы остаточного веса.

Для гидробионтов характерно явление *стереотропизма* (гр. stereo – объемный, твердый, телесный, пространственный) – это явление, связанное с чувством осязания, прикосновения к твердому субстрату, предмету.

Планктические организмы обладают *отрицательным стереотропизмом*: избегают прикосновения к твердому предмету – это неблагоприятно для организма. Например, дафнии, дотронувшись шипом до дна или камня, моментально отгребают в сторону. Циклопы могут сидеть на стенках аквариума, но это переход состояния от положительного к отрицательному стереотропизму. *Положительный стереотропизм* – прикосновение к твердому предмету – это благоприятно для организма.

Парадокс планктона

Дж. Хатчинсон, 1961 г., описал феномен под названием "*парадокс планктона*" как исключение из принципа конкурентного исключения Гаузе. Хатчинсон предложил модель экологических ниш, допускающую перекрытие экологических ниш разных видов – планктонтов в одном ценозе: 10-50 видов водорослей существуют в как будто однородных по условиям водоёмах. У водорослей взаимодавление отсутствует из-за неоднородности местообитания вследствие временных и пространственных флуктуаций условий среды.

1.5.2. Бентос

Бентос – это жизненная форма, совокупность гидробионтов, жизнь которых связана с дном, мягкими и твердыми грунтами (Табл. 12).

Бентонты приспособлены обитать:

- на одном грунте – это *стеноэдафическая группа*;
- на разных грунтах – это *полиэдафическая группа*.

Классификации бентоса (Табл. 12).

№	Признак		Бентос	
1.	По типу водных объектов		Морской	Реофильный
			Речной	
			Озерный	Лимнофильный
2.	По принадлежности к царству	Растений	Фитобентос	
		Животных	Зообентос	
		Протистов	Бактериобентос	
3.	По размерам организма		< 0,1 мм	Микробентос
			0,1 – 2,0 мм	Мейобентос, мезобентос
			> 2,0 мм	Макробентос
4.	По обитанию		На грунте	Эпибентос, эпифауна, онфауна
			В грунте	Эндобентос, инфауна
5.	По типу грунта		Камни	Литофильный
			Песок	Псаммофильный
			Растения	Фитофильный
			Глина	Аргиллофильный
			Ил	Пелофильный

Классификация бентоса *по образу, характеру жизни:*

- Прикрепленные** (сессильные, сидячие). Среди позвоночных животных эта форма отсутствует. В массе представлена у фитобентоса.

Организация упрощается:

1.1. Органы движения редуцируются, получают другую функцию, развиваются органы прикрепления (присоски, прицепки).

Примеры:

- *моллюски* – устрицы р. *Ostrea* левой выпуклой стороной прирастают к твердому субстрату (Рис. 27);

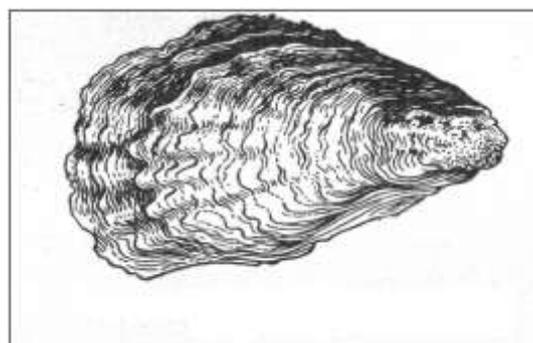


Рис. 27. Двустворчатый моллюск *Ostrea taurica*

- морские желуди р. *Balanus* – домик прирастает к твердому субстрату (Рис. 28).



Рис. 28. Морские желуди р. *Balanus*.

- морские уточки р. *Lepas* – грудные ноги с длинными щетинками образуют специальный орган для захвата пищи (Рис. 29).

- 1.2. Отсутствуют или редуцированы глаза;
- 1.3. Вырабатывается защита от захоронения оседающей взвесью: вытягивание вверх, воронкообразная, столбообразная форма тела (стеклянные губки р. *Euplectella*, сидячие черви р. *Protula* и др.);
- 1.4. Поселение на возвышенных косых субстратах;
- 1.5. Образуют колонии;
- 1.6. Распространение – свободноплавающие личинки.

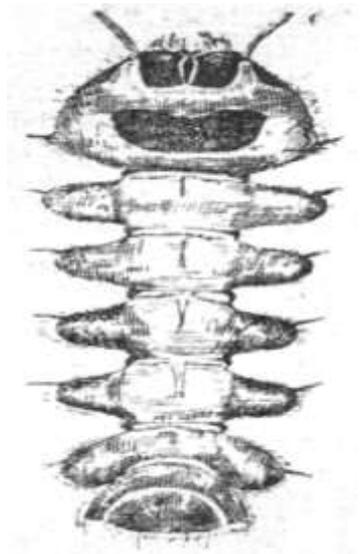


Рис. 29. Морская уточка р. *Lepas*.

Способы прикрепления бентонтов:

- 1) прямое прикрепление наружным скелетом;
- 2) пневматическое (присасывательно). Таким способом прикрепляются пиявки, актинии.

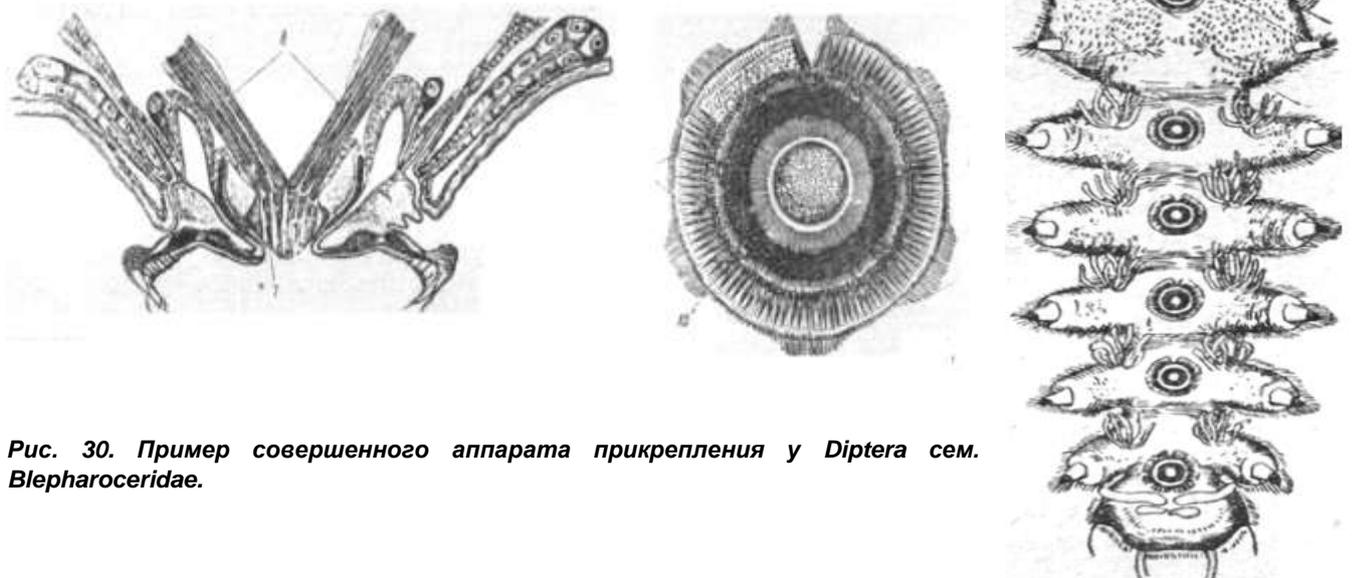


Рис. 30. Пример совершенного аппарата прикрепления у *Diptera* сем. *Vlepharoceridae*.

3) *биссусное прикрепление* (греч. byssos – тонкая пряжа, прочные ниточки из задубленного белка биссуса) – животные, прикрепленные к субстрату. Вырабатывается биссус биссусовой железой. Широко представлено у двустворчатых моллюсков р. *Mytilus*, р. *Dreissena*.

4) *корневидными выростами* (ризоидами, иглами, корнями, корневищем). У цветковых водных растений основная функция корней – прикрепление, у наземных растений – питание.

Прикрепленные организмы бентоса наиболее широко представлены в водотоках, в литоральной (приливно-отливной) зоне.

2. Сверлящие бентосные организмы (инфауна) – просверливают ходы в плотных осадочных породах, скалах, граните, мраморе, бетоне, кирпиче, дереве.

Примеры, – *двустворчатые моллюски* рр. *Pholas*, р. *Teredo*, *Barnea*, *Petricola*:

р. *Teredo* (Рис. 32) – самый опасный вредитель деревянных водных сооружений. В России, обычен в Черном море, дальневосточных морях. Шаровидная раковина превращена в орган сверления. Не выносит пониженной солености и низких температур. Постоянно живет в просверленных ходах – убежищах. Питается измельченной древесиной и планктоном.

р. *Petricola* – обычный камнеточец (Рис. 31).

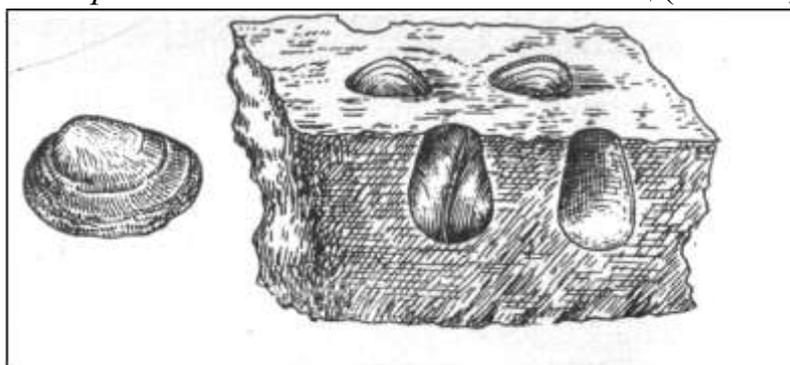


Рис. 31. Обычный камнеточец р. *Petricola*.

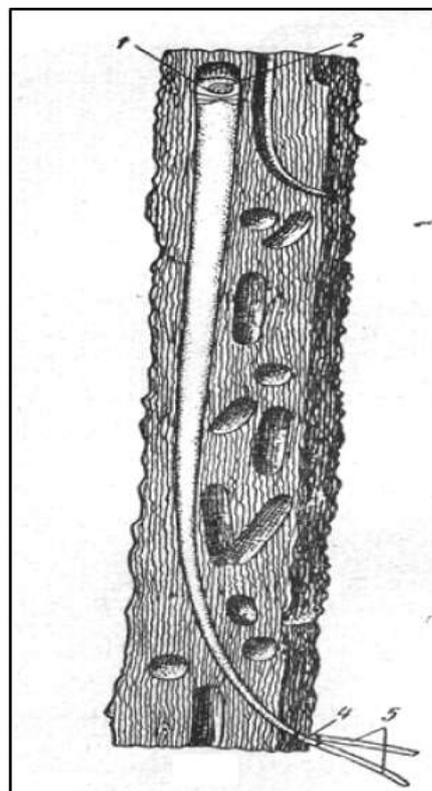


Рис. 32. Двустворчатый моллюск. *Teredo*.

Равноногие раки (Isopoda) – Limnoria lignorum – поражают деревянные сооружения (Рис. 33).

Молодь делает ответвления от ходов родителей. Тело (1 ≈ 5 мм) покрыто мягким хитином. Орган сверления – мандибулы. Выдерживают пониженную температуру.

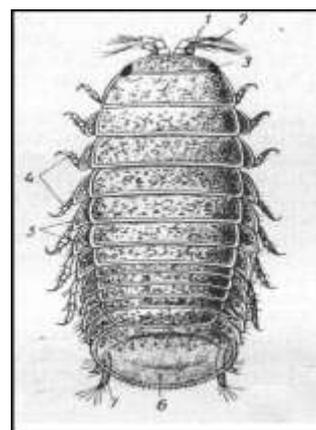


Рис. 33. Равноногие раки (*Limnoria lignorum*).

3. Закапывающиеся бентосные организмы (инфауна).

Представители: морские ежи, голотурии, брюхоногие и двустворчатые моллюски, черви, ракообразные, личинки насекомых и др.

Они либо свободно передвигаются в поисках пищи, либо живут постоянно в ходах и трубках в целях защиты.

Различают 2 экологических группы:

- временно закапываются в грунт (краб, ежи);
- постоянно проживают в грунте, хорошо передвигаются в нем, в выстроенных норках.

Примеры:

- *многощетинковый червь*, пескожил *Arenicola marina* (Рис. 35). В песке строит U – образные норы, открытые с обоих концов, выстланные внутри слизью;

- *двустворчатый моллюск* р. *Solen* (черепки) (Рис. 34). Живут в песке. Раковина прямая, вытянутая. Нога длинная, на конце вздутая.

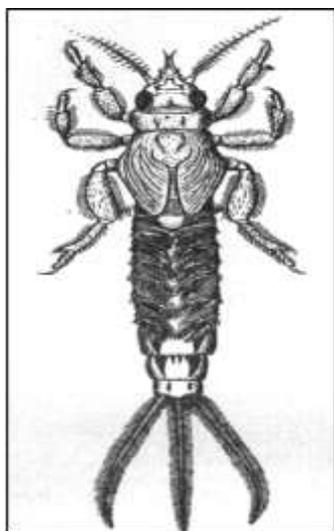


Рис. 36. Роющие личинки поденок *Ephemera vulgata*.

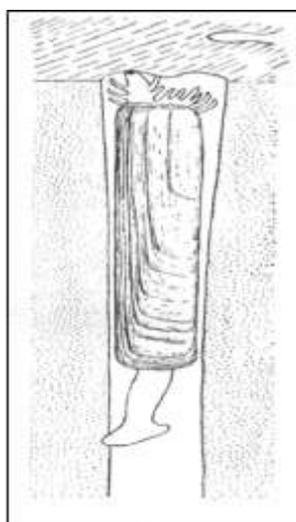


Рис. 34. Двустворчатый моллюск р. *Solen*

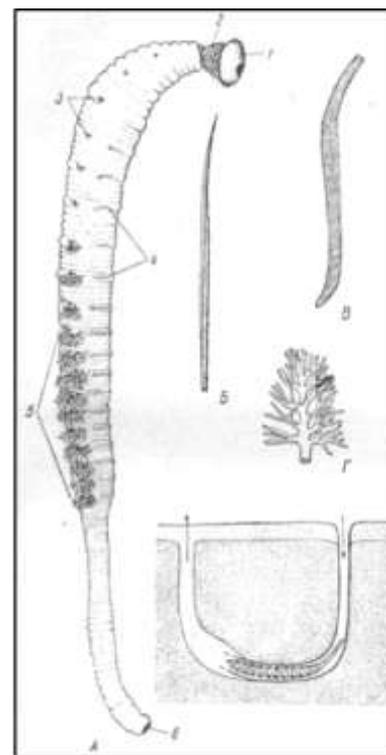


Рис. 35. Многощетинковый червь пескожил *Arenicola marina*

- *роющие личинки поденок* рр. *Polymitarcus*, *Ephemera* и др. Большую часть жизни проводят в ходах чаще U – образной формы. (Рис. 36).

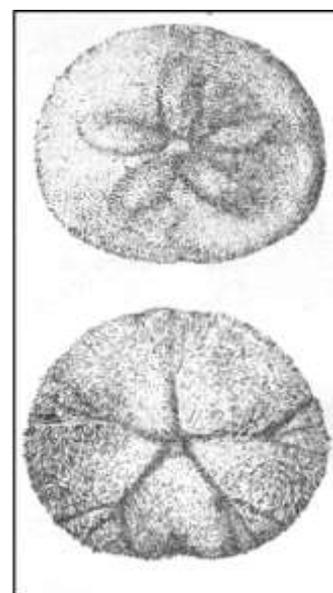


Рис. 37. Морские ежи р. *Echinarachnius*.

4. Лежащие бентосные организмы (седентарные) – эпифауна, онфауна.

Приспособления: широкое основание при низкой высоте тела.

Примеры:

- *морские ежи* р. *Echinarachnius* (Рис. 37).

- *двустворчатые моллюски* р. *Pecten* (Рис. 38), съедобный моллюск. Лежат свободно на грунте, передвигаются мелкими прыжками. Верхняя (левая) створка уплощена, нижняя (правая) выпуклая.

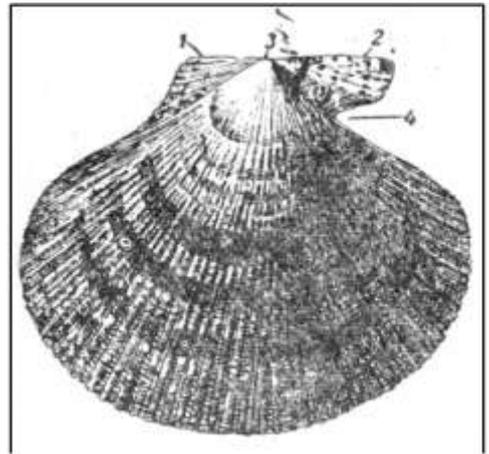


Рис. 38 (справа).
Двустворчатый моллюск р.
***Pecten*.**



Рис. 39 (слева).
Многощетинковый червь,
полихета р. *Opurhius*

- *многощетинковый червь*, полихета р. *Opurhius* (Рис. 39). Червь обитает в трубках, покрытых крепко сцементированными камешками, кусочками раковин, песчинками. Трубки свободно лежат на дне.

5. Двигающиеся бентосные организмы (вагильные).

В организации бентонтов выделяют:

- 1) Способность к передвижению. Движение осуществляется путем:
 - бегания, хождения (ракообразные, паукообразные, личинки насекомых и др.);
 - ползания (за счет амебоидных движений);
 - прыгания (моллюски, морские звезды, ракушки);
 - лазания (личинки насекомых).

2) Малая подвижность многих бентонтов компенсируется высокой мобильностью их молоди, ведущей пелагический образ жизни.

- 3) Всплывание в толщу воды и перенос токами воды.

6. Некто-бентические организмы – могут быстро передвигаться по грунту и в воде (Рис. 40).

Приспособления:

- тело легче воды, при дыхании спокойно держатся у поверхности, выставляя в воздух конец брюшка;
- обладают плотным, гладким, обтекаемым телом → хорошие пловцы;
- ноги последней пары видоизменены в плавательные конечности → передвигаются по грунту.

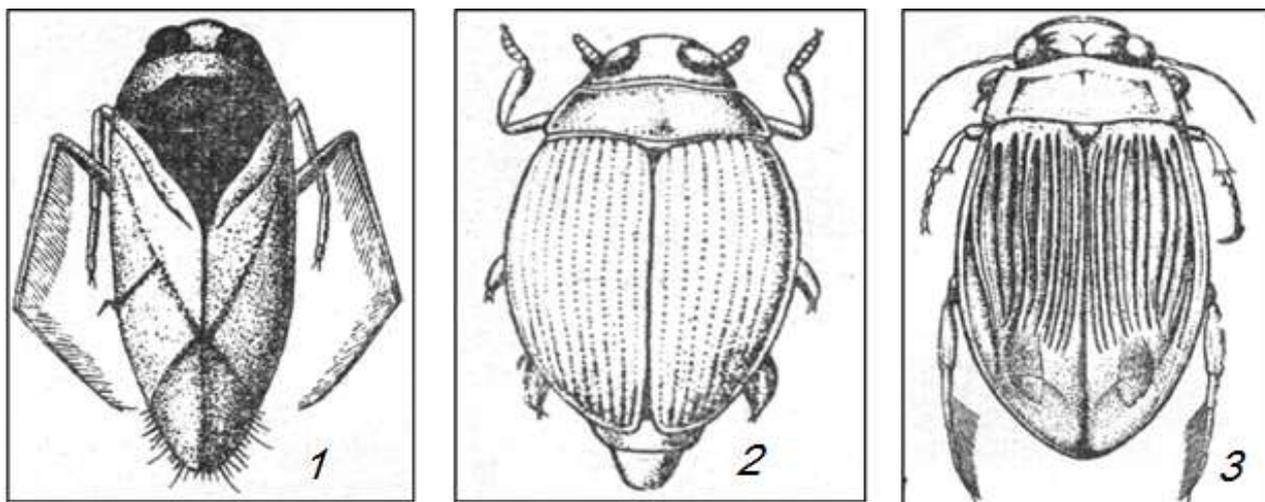


Рис. 40. Представители некто-бентических организмов.
 1 – Водяные клопы, гладыши р. *Notonecta*; 2 – Водяные жуки, вертячки р. *Gyrinus*;
 3 – Водяные жуки, плавунцы р. *Dytiscus*.

Самые быстрые жуки, плавают на поверхности воды, при опасности быстро погружаются в воду. Фасеточные глаза обеспечивают одновременное зрение в воздухе и в воде.

7. Псевдобентос = пелагобентос - в зоне контакта водной толщи с дном эти организмы то плавают, то передвигаются по грунту или закапываются в него.

Примеры:

- личинки комара р. *Chaoborus*;
- личинки звонцов хирономид, 1-2 стадии личинок обитают в толще воды;
- ракушковые рачки, инфузории;
- рыбы, они имеют змеевидно-вытянутое тело, зарываясь в ил активно питаются (индийская рыбка *Phisodonophis boro*).

Для бентосных животных, как и для планктонных, характерно явление стереотропизма. Бентосные животные обладают *положительным стереотропизмом*: хорошо чувствуют себя только тогда, когда всё их тело или части приведены в соприкосновение с твердым субстратом.

Примеры:

- морская звезда успокаивается при прикреплении амбулокральными ножками к твердому предмету, лежащему под любым углом к горизонту (то есть это не геотропизм);
- многощетинковый червь р. *Nereis*: без песка залезут в стеклянные трубочки даже на свету, не покинут их до смерти.

Расселение бентонтов:

- 1) активное перемещение;
- 2) пассивное перемещение:

- *токами воды*. Бентосток находится в прямой пропорциональной зависимости от скорости течения (Рис. 41);

- *токами воздуха*. Из обмелевших пересохших водоемов с пылью или водой переносятся яйца, споры, имаго (моллюски, рыбы и др.).

Примеры:

1889 г. Германия – дождь из щук;

1989 г. Австралия – дождь из сардин.

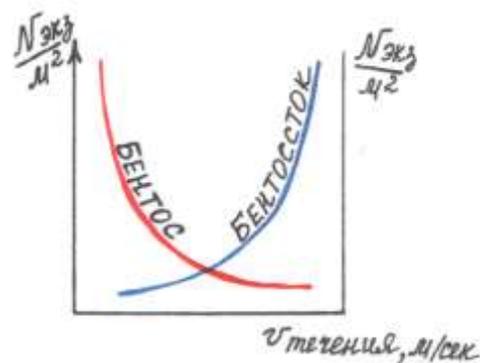


Рис. 41. Зависимость бентостока от скорости течения.

- *прикрепление к плавающим предметам*. В экосистемном плане чаще нежелаемый процесс: заносятся паразитические и хищные формы, быстро занимающие свободные и «ослабленные» экониши. Пример, гребневик *Mityopsis*, вселенец в Азово-Черноморский район.

- *транспортировка другими гидробионтами*, к которым прикрепляются активно или пассивно.

Для бентонтов характерно явление **миграций**, регулярных массовых перемещений, которые происходят: по дну; в толще грунта; подъема в толщу воды.

Горизонтальные миграции (Рис. 42):

- для откорма мигрируют к побережью весной с мест зимовки тропические – крупные ракообразные (омары, крабы, лангусты),

- для размножения от берегов в открытые участки моря уходят креветки, моллюски. В пресных водах в сублитораль уходят личинки насекомых, олигохеты, ракообразные и др.;

- для смены неблагоприятных биотопов, для расселения.

В рамках смены биотопов различают:

- *катадромные миграции* (гр. kata – сверху вниз, dromos – бег) – перемещение гидробионтов *из рек в моря*: китайский краб *Eriocheir sinensis* для размножения мигрирует из рек в море, у рыб классический пример – речной угорь.

- *анадромные миграции* (гр. ana – вверх) – перемещение гидробионтов *из моря в реки* для размножения: проходные рыбы (лососевые, осетровые), китайский краб *Eriocheir sinensis* для кормежки → из моря вверх по течению рек.

Вертикальные миграции бентонтов носят *суточный* и *сезонный* характер.

Пример суточной миграции: инфузории, личинки хирономид, избегая выедания рыбами, врагами, днем уходят в грунт на глубину до 40 см, ночью поднимаются к поверхности.

Летние миграции выражены более резко и четко.

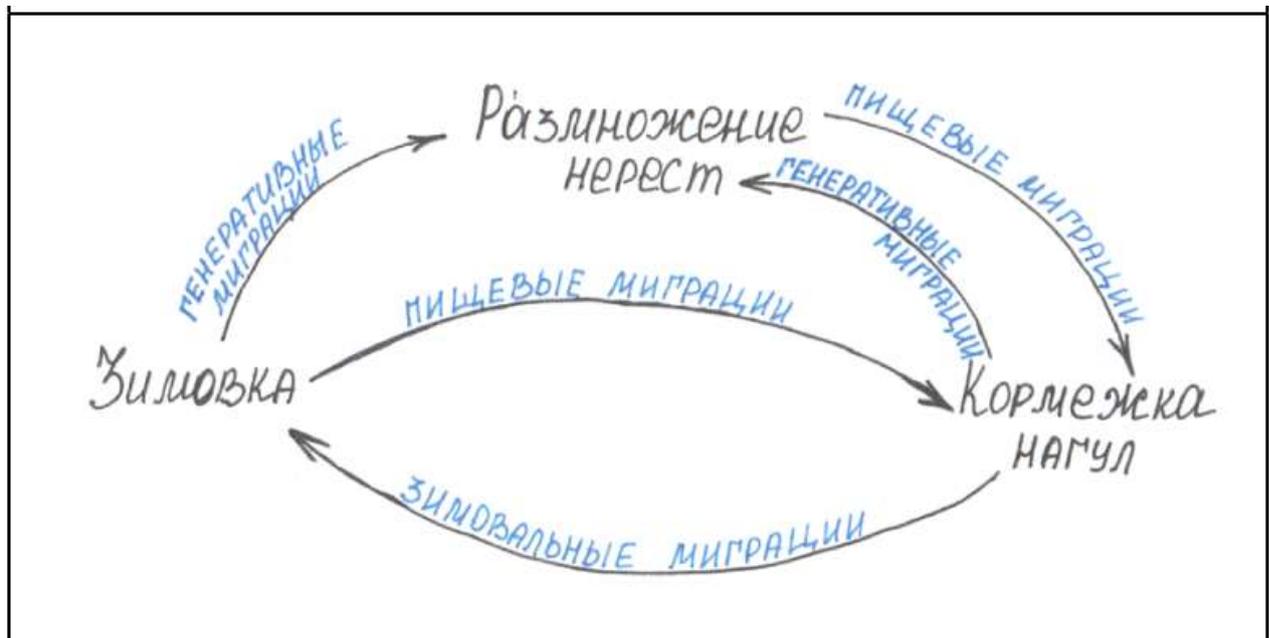


Рис. 42. Схема миграционного цикла гидробионтов.

Адаптации, приспособления к бентосному образу жизни, сводятся к развитию средств:

- защиты от захоронения оседающей взвесью;
- защиты от врагов:
 - постройка убежищ в виде трубок, чехлов, раковин и т.д.
 - образование на теле игл, шипов;
 - защитная окраска;
 - пятнистое распределение.
- эффективных способов передвижения;
- перехода к планктонному образу жизни;
- обитания на твердых грунтах разной опорности: с уменьшением опорности на мягких грунтах размеры бентонтов уменьшаются; на гравии $W_i=1,34г.$, на песке - $W_i=0,31г.$, на илу - $W_i=0,05г.$ (Зенкевич, 1951г.). В песках с размерами частиц $< 0,1$ мм – инфауна отсутствует.
- обитания на жидких грунтах:
 - «Айсберговая адаптация» - погружение части тела до более плотного слоя грунта;
 - «Лыжная адаптация»- уплощение тела, уменьшение размеров тела; снижение удельного веса (утончение раковин, снижение солей Са).

1.5.3. Нейстон. Плейстон

Нейстон (Науманн, 1917г.) – это совокупность гидробионтов, жизнь которых связана с поверхностной пленкой воды.

Ученые, внесшие большой вклад в развитие науки о нейстоне: Гейтлер (нем., 1942г.), А. И. Савилов, Ю. П. Зайцев (рус., 1930г.), М. И. Гладышев (Красноярск, с 1980 г. – пресноводный нейстон).

Нейстон включает:

- Фитонейстон (водоросли);
- Зоонейстон (клопы водомерки, жуки, мухи, ракообразные, моллюски и др.);
- Бактерионейстон.

По обитанию различают:

- *Эпинеuston* – организмы, обитающие на поверхностной пленке (Рис. 43):

Примеры:

- Клопы водомерки р. *Gerris*, р. *Hydrometra*
- Жуки вертячки р. *Gerinus*
- Мухи р. *Ephydra*

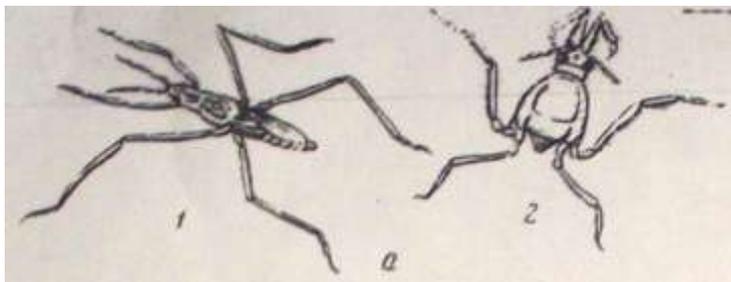


Рис. 43.

- *Гипонейстон* – организмы, обитающие под пленкой до глубины 5 см (Рис. 44):

Примеры:

- Ракообразные р. *Scapholeberis*
- Личинки комаров р. *Culex*
- Моллюски р. *Limnea*, р. *Jantina*, *Notonecta*

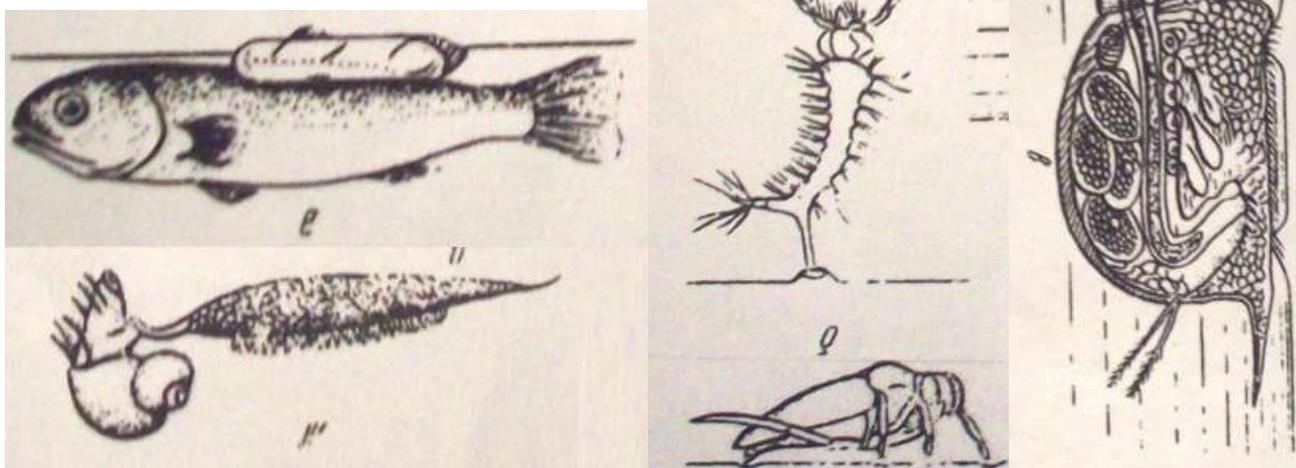


Рис. 44.

Условия обитания в нейстоне:

Благоприятные:

- Высокая освещенность;
- Хорошая прогреваемость воды;
- Высокие концентрации микроэлементов (Ni, Al, Mn, Fe и др.), неживого органического вещества (НОВ, его в 500 раз больше ОВ организмов). Сгусток НОВ – это пена, она устойчива, мощный элемент в самоочищении вод. Пленка обогащается ОВ и за счет антидождя трупов планктона.

Неблагоприятные:

- Пленка подвергается воздействию двух стихий, фаз: воздух – вода;
- Верхние слои воды постоянно перемешиваются ветром; дрейфовыми течениями, сгонами воды → организмы находятся в «механически неустойчивом состоянии»;
- Действие на поверхностную пленку факторов воздушной среды: t°C, дождь, осадки, опреснение, изменение ионного состава.

Адаптации к обитанию в нейстоне:

- Несмачиваемость покровов;
- Устойчивость к действию высокой интенсивности солнечной радиации;
- Криптическая окраска (прозрачность);
- Положительный фототаксис;
- Питание НОВ.

Большая часть нейстонов происходят не от пелагических, а от донных и прикрепленных животных.

Роль нейстона в экосистемах:

- Инкубатор молодняка;
- Формируются пищевые запасы;
- Составной элемент в структуре экосистем, биотического круговорота;
- Важное звено в самоочищении вод;
- Зона искусственного выращивания молоди ценных морских рыб. Значимы опыты Ю. П. Зайцева по выращиванию 12 млн. оплодотворенной икры камбалы колкан;
- Степень продвижения человека в гидросферу.

Плейстон – совокупность пассивно плавающих организмов, часть тела которых выставляется из воды, т.е. находится одновременно в водной и воздушной средах.

Термин ввели в 1896 г. немецкие ученые Шретер, Кирхнер. В России существенный вклад в изучение плейстона внесли С.А. Зернов (с 1934 г.), А.И. Савилов.

Организмы плейстона перемещаются под влиянием ветра (Рис. 45, 46)

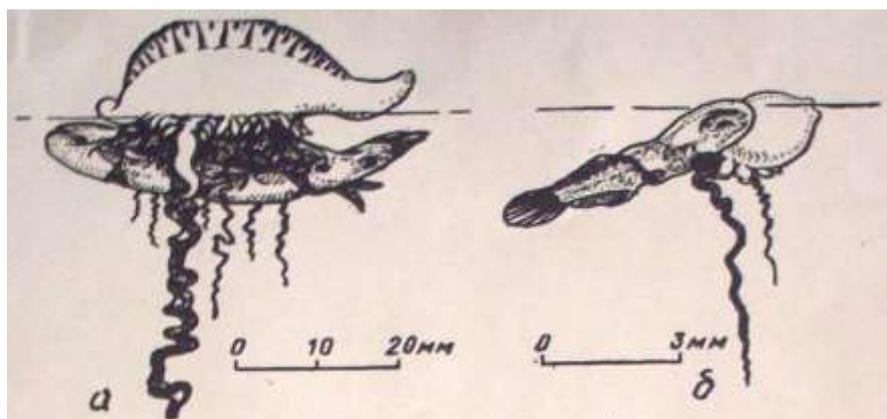


Рис. 45. Организмы плейстона:
Кувшинки Виктория;
Кишечнополостные
Сифонофоры р. *Physalia*, р. *Velella*.

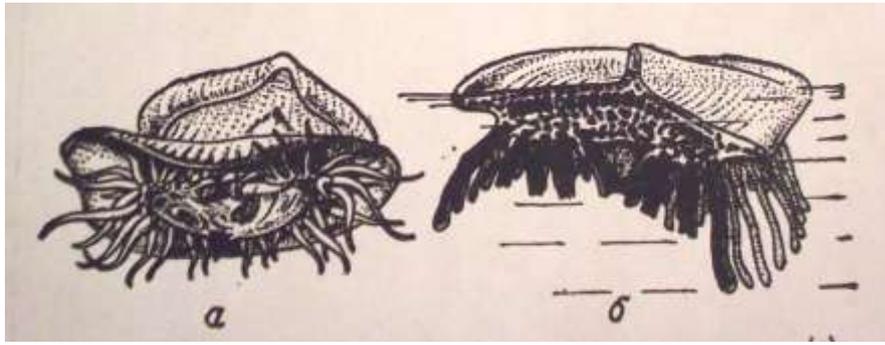


Рис. 46. Организмы плейстоцена:
Головоногий моллюск р.
Argonauta;
Брюхоногие моллюски.

Раздел 1.6. Структурно-функциональные характеристики биотической компоненты водных экосистем

1.6.1. Популяция гидробионтов. Определение. Структурные (статические) характеристики популяций (плотность, распределение, хорология, возрастной и половой состав). Пространственно-временная динамика численности и биомассы популяций. Функциональные (динамические) характеристики популяций (рост, дыхание, питание, размножение, рождаемость, смертность, выживаемость). Рацион: общий, частный, суточный. Внутрипопуляционные отношения.

1.6.2. Гидробиоценоз. Понятие, структура. Показатели видового разнообразия и сходства. Доминирующие и руководящие (индикаторные) формы. Относительное обилие популяций. Пирамиды численности и биомассы. Сукцессии. Трофическая структура. Трофические цепи и сети. Межпопуляционные отношения в биоценозах (нейтрализм, конкуренция, хищничество, паразитизм, протокооперация, мутуализм, комменсализм, аменсализм).

1.6.3. Продукция и деструкция органического вещества как важнейшие функциональные характеристики биотической компоненты. Вопросы терминологии. Первичная, вторичная, конечная продукция, удельная продукция, Р/В – коэффициент. Выражение продукции в единицах энергии и массы.

1.6.4. Первичная продукция. Определение. Разновидности: валовая первичная продукция планктона, эффективная продукция фитопланктона, чистая первичная продукция планктона. Соотношение величин продукции и деструкции органического вещества. Методы определения первичной продукции. Внеклеточная продукция. Продукция макрофитов. *Деструкция органического вещества.* Активный, пассивный, стандартный обмены. Связь между интенсивностью обмена и массой тела.

1.6.5. Вторичная продукция. *Баланс органического вещества.* Определение. Разновидности. Методы определения. Выражение во взаимозаменяемых величинах.

1.6.1. Популяция гидробионтов

Популяция – совокупность особей одного вида, заселяющих определенное пространство конкретного ареала, обладающих единой территорией и общностью генофонда. Это элементарная единица в экологии, надорганизменная форма организации жизни. Любая жизненная форма гидробионтов – это совокупность популяций.

Отличительная черта популяции – способность к самовоспроизводству. То есть это открытая саморегулирующая система.

Различают следующие *категории популяций*:

1. *Псевдопопуляции* – отдельные популяции у ряда видов не выявляются, они себя не воспроизводят, длительное время существуют в конкретном биотопе за счет поступления новых особей извне. Формируются в реофильных планктонных, нейстонных жизненных формах, в районах поступления загрязнений.

2. *Зависимые популяции* – воспроизводят себя лишь частично, существуют за счет иммиграции (вселения особей).

3. *Независимые популяции* – они полностью воспроизводят себя, в отдельных случаях обеспечивают пополнение псевдопопуляций и зависимых популяций.

Каждая популяция оценивается показателями двух категорий:

1. Структурные (статические);
2. Функциональные (динамические)

Структурные (статические) показатели включают:

1) **Плотность популяции** – это отношение количества организмов к единице занимаемого пространства, выражается через численность – N , экз/м², Дж/ м², м³, биомассу – B , мг, г, кг/ м², Дж/ м², м³

Глобальные закономерности в динамике численности и биомассы:

- соотношение между N и B – стабильно характерный признак популяции;
- у популяций с коротким жизненным циклом (бактерии, простейшие, водоросли) N – большая, B – малая;
- у популяций с длинным жизненным циклом (ракообразные, моллюски, рыбы и др.) N – малая, B – большая;
- есть популяции, где соотношение N и B менее жесткое, полярное;
- от плотности популяции зависят дыхание, питание, размножение, фильтрационная активность и др. (Табл. 13).

Примеры:

- 1) соотношение числа особей популяции моллюска *Sphaerium corneum* и скорости фильтрации воды (Табл. 13).

N, экз/л	1	5	10	15	20
V фильтр, мл/час	3,4	6,9	7,5	5,2	3,8

2) молодь мурманской сельди не питается, погибает от истощения, когда рыбки содержатся поодиночке.

3) в группе из 5 особей – рыбки принимают корм через 3-4 дня; 20 особей – через 24 часа. Основа пищевой реакции – зрительное восприятие особей.

В *низких* широтах (тропики), где условия существования стабильнее, популяции малочисленные. В *умеренных* зонах (нотальная, бореальная) и *высоких* широтах (полярные зоны) популяции более многочисленны. Чем больше особей в популяции, тем богаче ее генофонд, шире диапазон переносимого фактора.

В динамике N и B популяций имеют место:

- *постоянные флуктуации*: повышение ↔ снижение ↔ стабильность

Степень флуктуаций тем сильнее, чем короче жизненный цикл, чем менее стабильная окружающая среда. Если жизненный цикл длителен – популяция имеет разновозрастную структуру, тогда резкое сокращение N одного поколения нивелируется организмами других поколений.

- *периодические флуктуации*: численность и биомасса соответствуют ритмике геофизических циклов, циклов размножения:

- суточная динамика характерна для популяций с коротким жизненным циклом, с суточной ритмикой размножения;

- сезонная динамика N и B обуславливаются периодичностью изменений освещенности, температуры; обеспечивает *смену биологических сезонов*.

Биологическая весна характеризуется интенсивным развитием (за счет биотопов) фитопланктона и слабым – зоопланктона. В результате *сезонный показатель* (I) выражается величиной близкой к 100:

$$I = N_{\text{фпл}}/N_{\text{зпл}}$$

Биологическое лето характеризуется снижением сезонного показателя до 1 и меньше. Температура повышенная, максимальное освещение, низкое содержание биогенов (снижение $N_{\text{фпл}}$, повышение $N_{\text{зпл}}$).

Биологическая осень – освещение снижается, содержание питательных солей вначале повышается за счет разложения весеннего и летнего планктона, а затем вновь падает. В полярных морях концентрация фитопланктона уменьшается, а в умеренных второй максимум, но более слабый, чем весенний. Сезонный показатель в полярных морях ≤ 1 , в умеренных от 1 до 10.

Биологическая зима характеризуется минимумом планктона, который находится в стадии покоя или зимующих клеток, в зоопланктоне главное значение имеют взрослые животные или их зимующие стадии, у бентосных животных (личинки хирономид) новых генераций не образуется.

Годовая динамика N, B связана с изменением количества солнечной радиации (периодичность 9-11 лет), многолетними колебаниями солености, абиотического и биотического окружения; более резко выражена у форм с коротким жизненным циклом.

Механизмы регуляции N, B.

I. *Главный механизм – саморегуляция N, B по принципу обратной связи с количеством пищи (Рис. 47).*

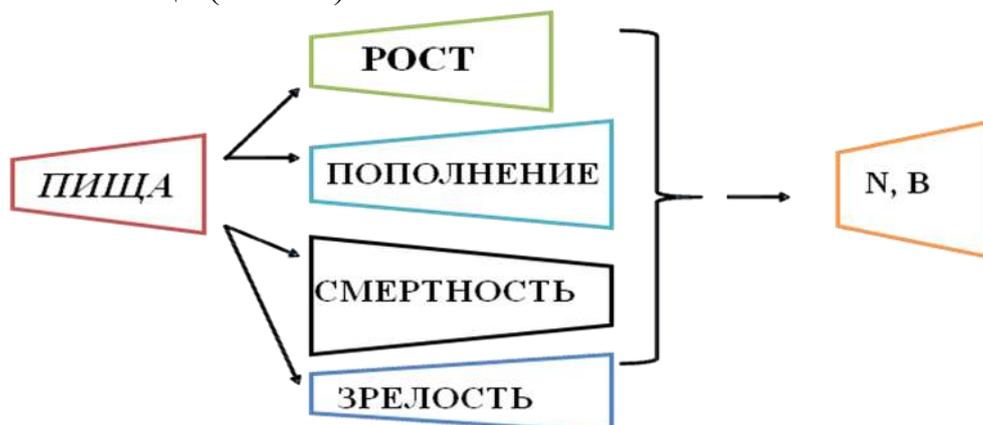


Рис. 47. Схема механизма саморегуляции N, B по принципу обратной связи с количеством пищи.

II. *Механизм – изменение темпа размножения:* N, B увеличивается, плодовитость снижается (и наоборот), соотношение полов сдвигается → снижение числа ♀♀.

III. *Механизм – каннибализм,* то есть поедание особей своего вида (циклопы, окунь, гуппи).

IV. *Механизм – выделение метаболитов,* они угнетают рост и развитие.

V. *Механизм – выедание другими организмами (принцип по спирали).* N, B популяций увеличивается, возрастает кормовая ценность пастбищ → увеличивается приток потребителей → пастбища оскуднывают – потребители уходят → создаются благоприятные условия повышения N и B.

VI. *Механизм – паразитарный.* N, B высокие →облегченная циркуляция паразитов →сильное воздействие на N, B хозяев.

VII. *Механизм – вылов промысловых гидробионтов.*

Правило минимума, сформулированное Либихом, в трактовке немецкого эколога А. Тинеманна (1939г.): «Тот из необходимых факторов среды определяет плотность популяции данного вида живых существ, который действует на стадию развития, имеющую наименьшую экологическую валентность, притом действует в количестве или интенсивности, наиболее далеких от оптимума».

2) **Хорология,** т.е. распределение особей популяции в занимаемом пространстве. Различают:

- 1) *беспорядочное (случайное)* – характерно для донных организмов;
- 2) *однообразное* – возникает при однородности окружения, острой конкуренции и антагонизма между организмами. Личинки полихеты р. Spirorbis, прикрепляются на водоросли р. Fucus на расстоянии 1- 2 мм → создается необходимое пространство для взрослых животных;

3) *пятнистое, мозаичное* – определяется условиями существования; агрегации – скопления, формирующиеся под влиянием абиотических факторов (O_2 , температура, соленость, свет);

4) *конгрегации – скопления*, формирующиеся под влиянием биотических факторов (устрицы, дрейссены, крабы, рачки, цветение воды). Рыбы образуют стаи со строгой внутривидовой сигнализацией.

3) Возрастной состав (возрастная структура) – это соотношение особей разного возраста в пределах конкретной популяции. Он определяется:

1) наследственными свойствами вида; это видовое приспособление;

2) конкретными условиями существования.

Факторы, регулирующие возрастную структуру:

1 – *условия среды* – прежде всего температура, определяющая отрождение молодежи;

2 – *кормовая база*, при слабой кормовой базе доминируют старшевозрастные особи, дающие слабое пополнение;

3 – *выедаемость* – наиболее интенсивно у менее защищенных молодых организмов;

4 – *вылов* – сосредоточен главным образом на взрослых промысловых организмах, преобладание в уловах младшевозрастных групп – указывает на перелом данных организмов.

Таким образом:

- улучшение условий существования → увеличение N молодых особей → ухудшение питания старшевозрастных;

- многовозрастные популяции → вид процветает;

- преобладание молодежи, старшевозрастных свидетельствует об угнетении каких-то жизненных функций.

Возрастная структура популяций приспособительно перестраивается как *самонастраивающаяся система* через изменение темпа роста, созревания, длительности жизни.

4) Половая структура – это соотношение особей разного пола. Она определяется: наследственными свойствами вида; внешними условиями.

Из внешних факторов доминируют *температура* и *пища*.

Примеры:

Daphnia magna: при температуре = $18 - 22^\circ C \rightarrow \text{♀♀}$,

при температуре = $<18^\circ C, > 22^\circ C \rightarrow \text{♂♂}$.

Gammarus salinus: при температуре $5^\circ C \rightarrow \text{♂} > \text{♀}$ в 5 раз;

при температуре $23^\circ C \rightarrow \text{♂} > \text{♀}$ в 13 раз.

Влияние света как сигнала на соотношение полов проявляется до момента дифференцировки пола.

Специфична *половая структура* у гермафродитных особей (бокоплавцы, устрицы, креветки). Соотношение полов в конкретный период зависит от возрастной структуры.

Пример: Креветка *Pandalus borealis* – начинает размножаться в качестве ♂♂, на следующий год как ♀♀, откладывает икру.

5) Генеративная структура популяции (то есть размножающихся особей) определяется соотношением особей, находящихся в стадии:

- *Префертильной* (juv) – N особей, не способных еще размножаться;
- *Фертильной* – N особей размножающихся;
- *Постфертильной* – утративших способность к размножению.

Длительность стадий не постоянна.

Примеры: Лососи, поденки → префертильная стадия – длительная; фертильная – 1 – 10 суток; постфертильная – отсутствует; Карповые, моллюски → префертильная – малая, фертильная – большая.

При перелове и загрязнении соотношение стадий нарушается, в большей мере проявляется постфертильная;

Когда внешние условия изменяются не очень резко, половая и генеративная структуры адаптивно перестраиваются и приобретают параметры, оптимальные для процветания популяции (вида в целом) в новых условиях;

При загрязнении воды половые продукты гидробионтов резорбируются → ♀♀ утрачивают способность к размножению → постфертильная группа возрастает → вид деградирует.

По размерно-возрастному признаку популяции подразделяются на 4 типа (по М.Б. Иванова, 1985г.):

1. *Популяции первого типа*, состоящие из одновозрастных особей, формирующиеся у видов с коротким периодом размножения и последующим достаточно длительным развитием. Такие популяции можно считать состоящими из одной когорты, то есть совокупности одновременно рожденных особей, N которых со временем может только монотонно убывать (моноциклические копеподы *Calanus finmarchicus*, *Diaptomus salinus*).

2. *Популяции второго типа*. В их составе одновременно присутствуют особи разного возраста при дискретном распределении возрастных групп. Такие популяции формируются у животных с длительным развитием и коротким периодом размножения.

3. В составе популяций *третьего типа* присутствуют особи всех возрастов, но благодаря непрерывному размножению не с дискретным, а с непрерывным распределением особей разного возраста. Это характерно, например, для ветвистоусых планктонных ракообразных, размножающихся на протяжении всего вегетативного сезона. В результате N каждой стадии развития или размерно-возрастной группы может не только снижаться в

результате элиминации и перехода особей в следующую стадию развития, но и возрастать по мере пополнения особями из других групп (младших).

4. Популяции *четвертого типа* характеризуются непрерывным размножением и кратким периодом индивидуального развития, размерно-возрастные группы почти не выделяются (простейшие, бактерии, коловратки, за исключением *Asplanchna*).

Так у коловраток благодаря крупным яйцам и продолжительности их постэмбрионального развития, разность массы тела в начале развития и после достижения дефинитивных размеров мала. Тогда индивидуальная масса = средней массе особи в популяции.

2. Функциональные (динамические) показатели

1) Рост.

По функциональной значимости различают:

- 1) *соматический* рост – увеличение массы тела до наступления репродуктивной зрелости. По достижению половозрелости, соматический рост особей замедляется или прекращается;
- 2) *генеративный* рост – образование отчуждаемого полового материала (икра, зародыши и др.).

По продолжительности различают категории роста:

- 1) *бесконечный* (асимптотический), постоянный - он длится всю жизнь;
- 2) *конечный* - завершается при достижении какого-то возраста (массы). Четко выражен у коловраток.
- 3) *периодический* - характерен для большинства пойкилотермных животных.

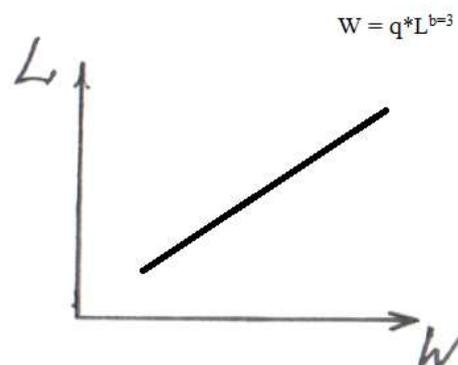
Примеры периодического роста:

- зимой рост рыб, моллюсков, ракообразных и др. гидробионтов замедляется или вообще прекращается;
- во время обильных дождей кораллы замедляют рост;
- в период линек увеличивается размер животных с жестким панцирем.

По динамике рост может быть:

- 1) *гармоничным* (изометричным), когда с возрастом все пропорции тела остаются постоянными (например, коловратки) (Рис. 48).

Рис. 48. График гармоничного роста.
 L – длина тела; W – масса тела.



- 2) *дисгармоничным* (анизометричным), когда с возрастом форма и пропорции тела изменяются. Различают:

2.1. Аллометрический, в онтогенезе меняются пропорции тела (Рис. 49, 50).

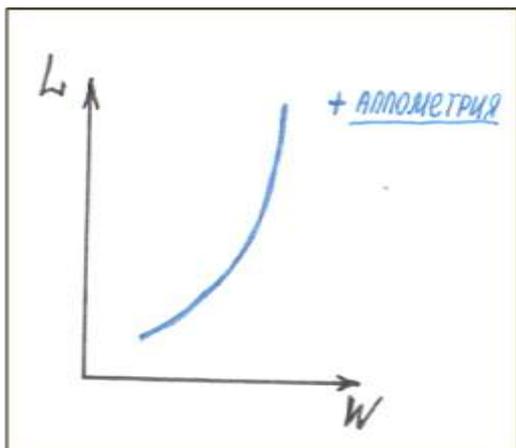


Рис. 49. Положительная аллометрия. Ширина, высота возрастают быстрее, чем длина тела.

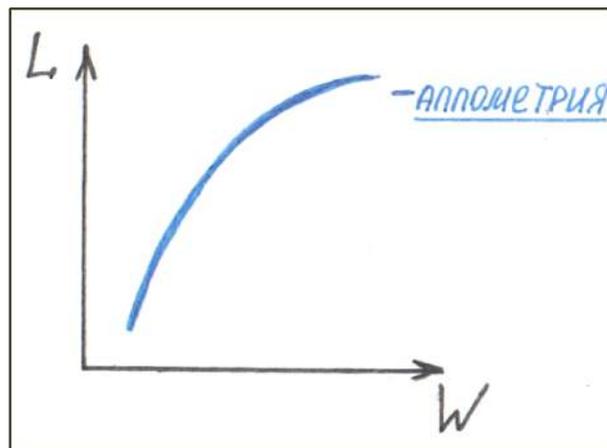


Рис. 50. Отрицательная аллометрия. Ширина, высота возрастают медленнее, чем длина тела.

2.2. Гетерогенный, изменяются пропорции в соотношении отдельных тканей.

Важнейшей характеристикой роста популяций являются:

относительная (удельная) скорость длины тела:

$$\bar{C}_L = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{t_2 - t_1} = \frac{\log L_2 - \log L_1}{0.4343 \cdot t_2 - t_1}$$

удельная скорость роста массы $\bar{C}_W = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} = \frac{\log W_2 - \log W_1}{0.4343 \cdot t_2 - t_1}$ тела:

Типы роста особей популяции:

I. Экспоненциальный (I – образный) рост – наиболее простой, личиночный, ибо характерен для личинок, науплии. Неограниченный рост, внезапно останавливающийся (например, закончился сезон, началось размножение). Абсолютная скорость роста возрастает, относительная остается постоянной (Рис. 51).

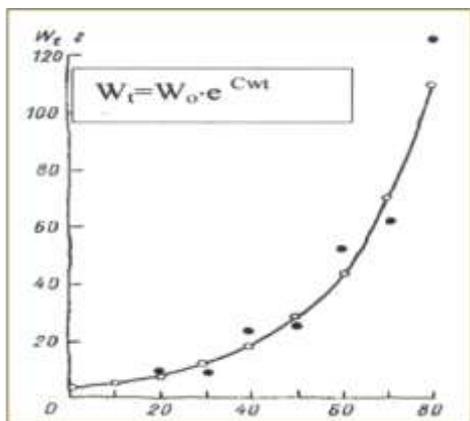
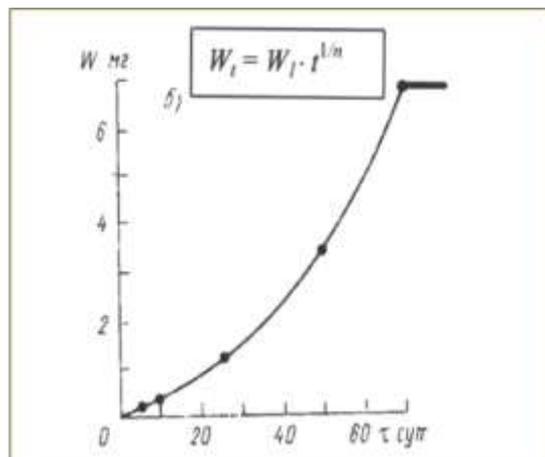


Рис. 52. График параболического роста. t – время; $1/n = C_w/t$.

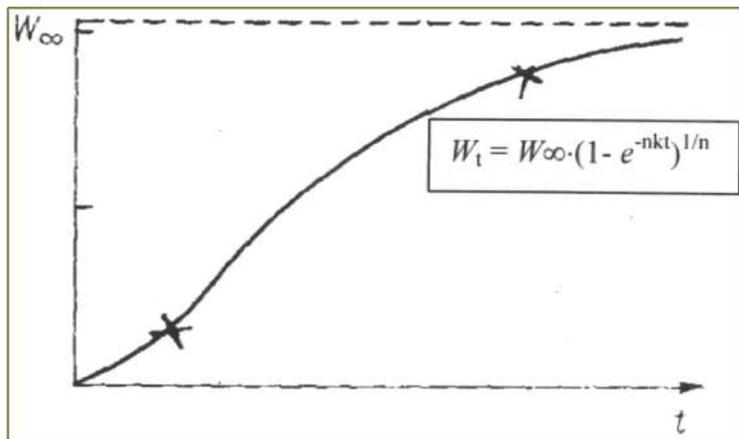
Рис. 51. График экспоненциального роста.

W_t – масса в конкретное время; W_0 – начальная масса животного; t – время; l – длина тела; C_{wt} – удельная скорость роста массы; W_t – масса в конкретное время.



II. *Параболический рост* характерен для животных, которые имеют пределы роста во времени (хирономиды – 4 личиночных стадий; Copepoda – 6 копепоидных стадий). Абсолютная скорость роста возрастает, удельная скорость роста снижается (Рис. 52).

III. *S – образный рост* (асимптотический) – характерен для большинства пойкилотермных животных, они растут всю жизнь, не достигая теоретически возможной асимптоты. Разновидность бесконечного роста (Рис. 53).



S – образный рост = сумме кривых положительного и отрицательного аллометрического роста.

A_i – точка перегиба имеет биологический смысл, в этом возрасте наступает половозрелость.

Рис. 53. График S-образного роста.

W_t – теоретически бесконечная величина, к которой стремится животное; K – информирует о наличии тормозящих факторов; n – постоянная уравнения связи массы и обмена.

Методы изучения роста:

1. Наблюдение в садках в водоеме или в лаборатории;
2. Мечение животных в водоеме;
3. Определение прироста по возрастным признакам;
4. Расчетный метод по гистограммам частотно-размерного состава популяций.

2) Питание

Население водной среды в зависимости от характера питания делится на 3 группы: 1) Продуценты; 2) Консументы; 3) Редуценты.

Для гидробионтов характерны:

- 1) *Экзогенное* питание, добывание пищи извне, которое может быть: фототрофным; осмотрофным; голозойным.
- 2) *Эндогенное* питание, когда пища не берется из внешней среды. При эндогенном питании используются: вещества собственного тела (анабиоз, спячка, голодание); вещества, образующиеся в симбиотических водорослях.

Примеры симбионтов: водоросли - зоохлоrellы (*Chlorella*, *Carteria*); простейшие - зооксателлы (*Cryptomonodina*, *Chrysomonodina*); плоские черви (*Convoluta roscoffensis*) погибают, если в личиночной стадии не заразятся *Carteria*; зооксателлами питается моллюск *Tridacna*.

По характеру воспринимаемой (добываемой) пищи выделяют группы:
А) с недифференцированным захватом пищи:

1. Сестофаги – питаются сестоном:
 - ощупыватели (гидра);
 - седиментаторы (коловоротки, инфузории);
 - активные фильтраторы (ракообразные, киты, моллюски);
 - пассивные фильтраторы (мухи р. Simulium, плеченогие);
2. Бентофаги – пищей служат бентосные организмы;
3. Грунтофаги и детритофаги – поглощают грунт, детрит (олигохеты);
4. Нектофаги – потребляют двигающихся животных, все хищники.

Б) с дифференцированным захватом пищи:

1. Охота – путем преследования и подкарауливания (Leptodora, осьминоги, удильщики);
2. Пастыба – пасутся среди водорослей (жук Hydrous поедает долголистник)

Спектр питания – это компонентный состав пищи. Он характеризуется двумя аспектами:

- конкретный качественный ассортимент потребляемых кормов;
- процентное и количественное соотношение кормов.

По степени разнообразия потребляемых кормов различают:

- *Эврифагов* (полифагов) – большое разнообразие объектов питания;
- *Стенофагов* (монофагов) – малое разнообразие объектов питания.

Для спектров питания гидробионтов характерны некоторые *общэкологические закономерности*:

- Они не постоянны в онтогенезе (личинки хирономид I – II стадий питаются фитопланктоном, а взрослые – детритом);
- Шире у взрослых;
- У одних и тех же видов разнятся в зависимости от типа водоема (толстолобик предпочитает водоросли: в реке диатомовые и зеленые, в озерах – синезеленые);
- Подвержены суточным и сезонным изменениям (определяются динамикой различных кормовых объектов).

Спектр питания оценивается:

- Численностью компонентов;
- Массой компонентов;
- Частотой их встречаемости, %.

Интенсивность питания – это отношение массы пищи, потребляемой в единицу времени, к массе самого потребителя.

Количественную оценку интенсивности питания гидробионтов дают:

Индекс наполнения кишечника, накормленность:

$$I_v = \frac{\omega * 10000}{W} = \frac{\text{масса в кишечнике}}{\text{масса животного}}$$

Частный индекс наполнения кишечника:

$$I_{vc} = \frac{\omega i * 10000}{W} = \frac{\text{масса отдельного компонента}}{\text{масса животного}}$$

По индексам получают:

- Характеристику спектра питания;
- Информацию о степени накормленности.

Объективной мерой потребляемого корма служит рацион.

Рацион – количество пищи, потребляемой животным в определенный отрезок времени.

Суточный рацион: $C = \frac{I_v * 24}{t}$; $C = n * I_v$;

- t – время прохождения пищи через кишечник;
- I_v – индекс накормленности;
- n – число заполнений кишечника в сутки.

Относительный рацион (%) = пищевой индекс: $I_c = \frac{C * 100}{W}$
 W – масса животного.

Рацион (C) величина не постоянная:

- $C >$ у неразмножающихся;
- C у младшевозрастных выше, чем у старших особей;
- C связан с групповым эффектом, в стае он выше;
- C зависит от сезона, он выше в вегетационный период и минимален в зимнее время;
- C наиболее высок у хищников (48 %), меньше у фильтраторов (36 %);
- C зависит от t , у разных видов не совпадает;
- C в большей степени зависит не от возраста, а от размера, массы тела.

Усвояемость пищи (U) – это соотношение физиологически полезной части рациона (A) и его валового значения (C).

$$U = \frac{A}{C}$$

для хищных животных $U_x = 0,8$; $C_x = \frac{A}{U_x} = \frac{A}{0,8} = A * 1,25$

для мирных животных $U_m = 0,6$; $C_m = \frac{A}{U_m} = \frac{A}{0,6} = A * 1,66$

Основные характеристики U:

- Усвояемость пищи *зависит* от типа питания;
- Усвояемость пищи не зависит от пола;
- Усвояемость пищи снижается с увеличением размеров и массы тела животного;
- Плохо переваривается и усваивается водными беспозвоночными животными растительная пища (целлюлоза, кремневые створки);
- Усвояемость животной пищи выше, чем растительной;
- Слабо усваивается ОВ грунтов (полихетами усваивается 8 – 10 %);
- Усвояемость пищи у морских беспозвоночных животных слабо зависит от изменения t и %.

3) Дыхание

Узкое понимание дыхания – это процесс поглощения O_2 и освобождения от CO_2 .

- Водным организмам добывать O_2 для обеспечения аэробного дыхания значительно труднее, чем наземным:

- Концентрация O_2 в воде намного ниже, чем в воздухе;
- Процесс восстановления исходной концентрации O_2 в воде протекает очень медленно.

По Вернадскому – борьба за существование в гидросфере – это борьба за кислород.

Типы дыхания гидробионтов:

1. *Водное дыхание* включает:

- Жаберное (рыбы, полихеты, брюхоногие).

Жабры: 1) кровяные (моллюски); 2) трахейные (личинки насекомых).

- Кожное (поверхностью тела) (р. Leptodora, р. Polyphemus – головной щит).

2. *Воздушное дыхание* включает:

- Стиммальное (стигмы);

- Заглатывание ртом (кишечник, плавательный пузырь, лабиринтовый орган).

3. *Водное + воздушное:*

- легкое + жабры + кожа (легочные моллюски);

- наджаберный орган.

Адаптация к газообмену в водной среде достигается 2 основными путями:

1) Через:

- увеличение удельной поверхности (I) и газопроницаемости дыхательных поверхностей

$$I = \frac{\text{поверхность тела}}{\text{объем тела}}$$

- уменьшение размеров тела;
- уплощение тела, вытягивание, образование лопастей;
- гидроморфоз растений.

2) Создание высокого градиента концентрации O_2 на внутренней и наружной сторонах покровов:

- выбор оптимального места обитания с высокой концентрацией O_2
- захват O_2 из атмосферы (науки строят под водой колокола и заполняют их воздухом).

Газообмен как показатель обмена веществ и потока энергии (Табл. 14)

При окислении 1 мг	Освобождается энергии, кал (E)	Потребляется кислорода, мг(O_2)	Оксикалорийный коэффициент $K_c = E/O_2$
Белка	5,78	1,75	3,30
Жиры	9,46	2,88	3,28
Углеводов	4,18	1,18	3,53
			Среднее 3,38

При окислении равных количеств белков, жиров и углеводов тратится разное количество O_2

Оксикалорийный коэффициент $K_c=3,38$ кал/мг O_2

$K_c=4,86$ кал/мл O_2

K_c не зависит от условий, в которых находится организм.

Газообмен позволяет познать, за счет каких веществ происходит добывание энергии, т. е. химический состав потребляемой пищи.

Дыхательный коэффициент $DK = CO_2/O_2$

$DK = 1$ – углеводный обмен;

$DK = 0,77 - 0,82$ – белковый обмен;

$DK = 0,71$ – липидный обмен.

Внутрипопуляционные отношения.

Внутрипопуляционные отношения – в каких бы формах они не проявлялись, служат интересам процветания вида в целом.

Формы внутрипопуляционных отношений:

- 1) Конкуренция, каннибализм – хищники, поедая свою молодежь, осваивают кормовые ресурсы, которые непосредственно не могут использовать (морские звезды *Asterias rubens*, бокоплав *Gammarus pulex*, рачки р. *Cyclops*, личинки комаров *Procladius*, окунь, щука, налим, гуппи и др.);

- 2) *Образование скоплений в виде роев, стай* – обеспечивается забота о потомстве (киты, дельфины, ♂♂ крабов помогают ♀♀ освободиться от панциря, дрейссены), обнаружение защита от врагов.
- 3) *Антогонизм в форме прямой борьбы за кормовые участки; убежища; обладание самками*. Победитель побежденного не преследует.
- 4) *Иерархические отношения* – неравноценность особей у гидробионтов изучены слабо. Пример с индийской рыбкой *Danio malabaricus* (): субординация особей выражается углом наклона туловища к горизонту (Рис. 54).

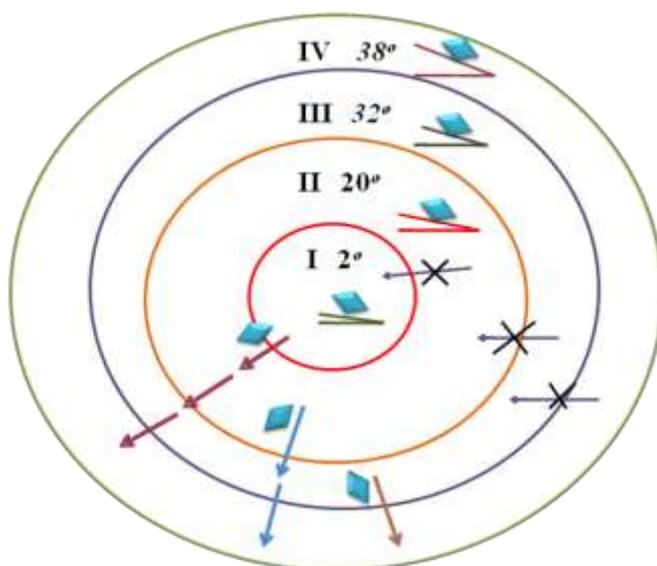


Рис. 54. Схема субординации особей для *Danio malabaricus*.

Типы взаимосвязей (рецепций) между особями:

- *Слуховая* рецепция;
- *Зрительная* рецепция;
- *Тактильная* (ощущение, прикосновение) рецепция. Проявляется через движение водных масс, в том числе перемещения «родственников» в стаях (рыбы, кальмары, мизиды, креветки и др.);
- *Химическая* рецепция (хемотрецепция) играет доминирующую роль в образовании конгрегаций. В воду выделяются сенсорные метаболиты:
 - *Репелленты* – отпугивают, вызывают испуг (киты и др.).
 - *Аттрактанты* – привлекают.

1.6.2. Гидробиоценоз

Гидробиоценоз (ГБЦ) – это совокупность популяций, населяющих тот или иной биотоп и обуславливающая во взаимодействии с абиотическим окружением круговорот веществ за счет поступления энергии извне.

Основные характеристики ГБЦ:

1. ГБЦ существует только во *взаимодействии* с мертвой природой, через которую замыкается круговорот веществ.

2. ГБЦ – *замкнутые* системы по массообмену. Присутствует автотрофный комплекс → ГБЦ полночленные. Лишенные автотрофов и состоящие из гетеротрофов – неполночленные, существуют за счет энергии аллохтонного вещества (активный ил, подземные воды, стоки загрязненных вод).

3. Чем шире *границы* биотопа, тем крупнее ГБЦ. В рамках крупного ГБЦ выделяют мелкие (ГБЦ скалистой литорали, бетонных откосов и др.).

4. В рамках системного подхода используют только некоторые популяции, относящиеся к какому-то таксономическому рангу: фитоценозы, зооценозы, ихтиоценозы.

5. Границы ГБЦ не резкие, не дискретные. В местах соприкосновения биоценозов формируется *переходная зона* – *эктон*. Проявляется *краевой эффект* – увеличивается видовое разнообразие. Красноярское водохранилище – в зоне подпора (эктона, ст. 24), 54 вида зоопланктонтов, в средней части ст. 49 – 15 видов.

6. Популяции ГБЦ – *взаимозависимы* с использованием обратных связей, что обеспечивает сохранность системы в условиях неблагоприятных воздействий.

ГБЦ оцениваются по:

- *Структурным* (статическим) показателям: видовая структура, размерная структура, хорология;
- *Функциональным* (динамическим) показателям: трофические связи, продуцирование органического вещества, круговорот веществ, поток энергии.

1. Видовая структура – характеризуется числом видов, их численностью и биомассой.

Различают виды:

- *доминантные* (лидирующие, с наибольшей N и B). Выделяют виды – эдификаторы (созидатели - edifice), они своей жизнедеятельностью модифицируют среду. Пример с мшанкой р. Plumatella.

Индекс доминирования (I_g):

$I_g = P\sqrt{B}$; где B – биомасса; P – встречаемость.

$$P = \frac{m \text{ вид встречен}}{n \text{ проб, станций}} * 100\% \quad P = 75\% - const$$

$$P \text{ обилие} = \frac{N_i}{N} * 100\%$$

- субдоминантные;
- второстепенные;
- случайные.

Формы взаимоотношений видов в ГБЦ:

- *Топические* – один вид изменяет физико-химические условия обитания других;
- *Трофические* – один вид поедает другой;
- *Фабрические* – один вид строит сооружения за счет использования других видов;
- *Форические* – один вид использует особей другого вида для перемещения.

Специфический тип взаимоотношения видов:

- *Консорции* – совокупность видов, связанных пищевыми, топическими (территориальными) или фабрическими связями с видом - эдификатором или детерминатором, от которого они зависят;
- *Гильдии* – совокупность видов близких в функциональном отношении, то есть виды одной «профессии».

По степени привязанности вида к ГБЦ различают следующие категории видов:

- *Характерные* (эуценные) – свойственны одному биоценозу, либо представлены обильнее, чем в других;
- *Преферентные* (тихоценные) – предпочитают один биоценоз, но могут обитать в другом;
- *Чуждые* (ксеноценные) – случайно попавшие в биоценоз;
- *Убиквисты* (индифферентные) – успешно живут в нескольких биоценозах.

$N_{\text{характерных видов}} > N_{\text{преферентных}} > N_{\text{чуждых}}$.

Показатели видовой структуры:

Индекс видового разнообразия Симпсона (D)

$$D = \frac{1 * 100\%}{\sum P_i^2} \quad P_i = \frac{N_i}{N}; \frac{B_i}{B}$$

N - численность; B - биомасса в i -ом биоценозе; P - встречаемость; 1 – число видов.

$D < 30\%$ - разнообразие низкое.

Индекс видового разнообразия Менхинника:

$$d = \frac{\text{число видов}}{\sqrt{N}} * 100\%$$

Индекс выровненности по Пиеллу:

$$I = \frac{H}{\lg S}; \quad \text{где } S - \text{число видов; } H - \text{коэффициент Маргалефа.}$$

Информационный коэффициент видового разнообразия Шеннона – Маргалефа.

$\bar{H} = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$ S - число видов (минус перед суммой для удобства, в избежание отрицательных значений); \bar{H} представляет собой выражение первого биоценотического принципа Тинеманна: при благоприятных условиях среды наблюдается большее число видов, каждый из которых представлен небольшим числом (\bar{H} высокий). Когда условия среды неблагоприятные – видов немного, но они имеют высокую N $\rightarrow \bar{H}$ низкий.

Показатели общности видовой структуры:

I. Коэффициент Жаккара

$K_j = \frac{c}{a + b - c}$; где a – число видов I; b – число видов II; c - общее число видов.

$K_j > 60$ – достоверное сходство; $K_j = 1$ – полное сходство;
 $K_j = 0$ – нет ни одного общего вида; K_j до 60 – резкие различия.

II. Коэффициент Серенсёна

$K_s = \frac{2c}{a + b}$; где c – общие для I и II; a – всего в I биоценозе; b – всего во II биоценозе.

III. Коэффициент Серенсёна- Чекановского (K_{SC}) для анализа сходства видовой структуры сообществ (Табл. 15):

$K_{SC} = \frac{2c}{a + c + b + c}$; где a – число видов, встречающихся только в сообществе первой пробы, b – число видов, встречающихся только в сообществах второй пробы, c – число видов, встречающихся в сообществах обеих проб.

Для оценки достоверности значений этого индекса используется **критерий Фишера (F_ϕ)**:

$$F_\phi = \frac{P_1 - P_2}{\left(\frac{1}{a+c} \times \frac{1}{b+c} \right) \times (1 - K_{SC}) \times K_{SC}} \geq F_{st}$$

Табл. 15

$P_1 = c/(a+c)$, $P_2 = c/(b+c)$; доли общих видов в сообществе проб. F_{st} определяется по таблице «F – распределение Фишера» при $v_1=1$, $v_2=(a+b+c)$. $F_\phi > F_{st}$.

K_{sc}, %	Оценки
(15-30]	Низкое сходство, чистые – грязные
(30-50]	Умеренное сходство
(50-65]	Среднее сходство, слабое загрязнение
(65-80]	Высокое сходство между сходными, чистые-чистые, загрязненные -

Обобщение по видовой структуре:

- Молодые формирующиеся ГБЦ беднее видами, они более эквитабельны (равномерно), чем давно сложившиеся;

- Повышение трофности экосистем → снижение видового разнообразия.

Саянское водохранилище – олиготрофное = 1,8-2,5 бита;

Красноярское водохранилище – мезотрофное = 1,3-1,7 бита.

- От низких широт к высоким видовое разнообразие снижается, структура ГБЦ упрощается (\bar{H} низкое).

По Ю. Одуму (1986 г.) «**Стратегия**» природы состоит в увеличении разнообразия, но только до *пределов* пока это не приводит к снижению эффективности использования ресурсов компонентами биоценоза».

2. Размерная структура ГБЦ определяется *величиной организмов, образующих популяции.*

Г. Хатчинсоном указано, что виды, занимающие сходное положение в трофических цепях при совместном обитании, должны отличаться размерами тела в 1,3 раза. Это исключает *перекрывание экологических ниш* и обеспечивает возможность сосуществования в одних биотопах.

Частный случай – парадокс планктона.

Численно показано, что крупные таксоны водного населения образуют *размерные группы*, отличающиеся друг от друга в $10^{0,5}$ раз или кратное этой величине.

Изменение размерной структуры биоценозов имеет большое *адаптивное* значение. Например, у водорослей по мере уменьшения размеров клеток, возрастает темп деления клеток, ослабевают пресс потребителей.

3. Хорология. В пространственной структуре биоценозов различают распределение → *Вертикальное (ярусное), горизонтальное (мозаичное).*

В пелагических сообществах ярусность определяется температурой, освещенностью, концентрацией биогенов (особый случай *термоклин*), циркуляцией вод.

Ярусность фитоценозов, зооценозов проявляется в приуроченности отдельных видов к конкретным глубинам с образованием слоёв доминирования.

Для *донных* биоценозов характерна *мозаичность*, обуславливаемая грунтами, гидродинамическими придонными процессами. У донных животных четко проявляется *зональность* с переходом от литорали к сублиторали, батии и абиссали.

4. Трофические связи.

В связи с трофической ролью среди гидробионтов конкретных ГБЦ выделяют:

- Автотрофных организмов - источников первопищи;
- Гетеротрофов – источников пищи хищников.

Пищевая цепь (пц.) – это перенос энергии пищи от ее источника – растения по линии поедания одних организмов другими.

Каждое звено пищевой цепи соответствует трофическому уровню.

В водных экосистемах:

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

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

Пример 6 – членной пищевой цепи:

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

Организмы первого трофического уровня – продуценты, последующих уровней – консументы.

III. Имеют место три типа пищевых цепей (пц.):

- *Пастбищные пц.* – растение → растительноядные животные → хищники;
- *Детритные пц.* – мертвое ОВ, минерализуемое микроорганизмами, ОВ в детрите → детритофаги → хищники;
- *Метаболитные пц.* (специфические) – возникают на основе осмотического питания РОВ.

Стефенс, Шинк показали присутствие осмотического питания РОВ (аминокислотами) у морских животных 10 типов (35 родов): фораминиферы, моллюски, личинки комаров и др.

В олиготрофных экосистемах преобладают пастбищные пц (микроорганизмов мало, разложение ОВ слабое). В мезо-, эвтрофных экосистемах – преобладают детритные пищевые цепи.

Пищевые цепи в пелагических биоценозах длиннее (2-х членные более редки), чем в бентальных (2-х членные обычны).

Пищевые цепи в биоценозах южных широт длиннее, чем в полярных.

Выход энергии на последнем звене пищевой цепи тем меньше, чем длиннее цепь.

Зависимость степенная с показателем геометрической прогрессии 0,4-0,6. В 2-х членной пищевой цепи → в последнем звене 50 % усвоенной энергии, 4-5 членной → 12-6%.

При акклиматизационных рыбоводных работах выход промышленной продукции выше в коротких пищевых цепях (растительноядные рыбы – белый амур, толстолобик и др.).

Совокупность пищевых цепей конкретного ГБЦ или экосистемы в целом образует *пищевую сеть* (пс.) (Рис. 54).

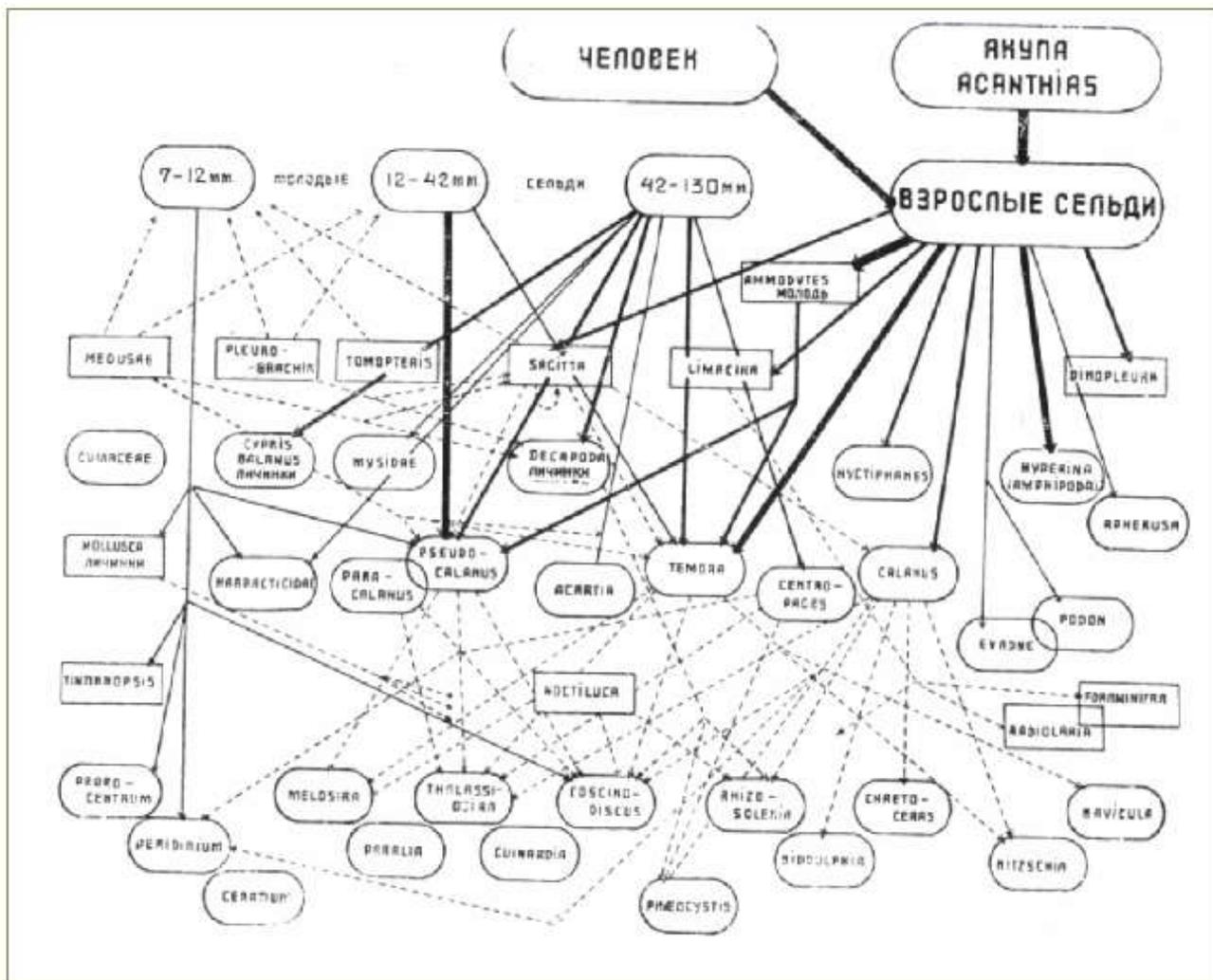


Рис. 54. Схема питания сельди (цит. по Зернову, 1934 г., С. 428).

Пищевая сеть ГБЦ характеризует потоки в круговороте вещества, его трофическую структуру:

- Трофическая структура наиболее проста, когда все особи конкретного трофического уровня принадлежат одной пищевой группировке;
- Трофическая структура ГБЦ с продвижением в низкие (тропики) широты усложняется, в – снижается; в высокие широты – упрощается, в - возрастает.

Экологические сукцессии.

Одно из основных свойств ГБЦ – их динамичность: меняются доминанты, обилие видов, структурно-функциональные характеристики.

Развитие, закономерное изменение биоценозов – это *экологическая сукцессия* (ЭС). ЭС – это не сезонная последовательность сменяющихся друг

друга сообществ. ЭС – это направленный процесс, это вектор в историческом процессе.

Для сукцессий характерно:

1. *Это направленный упорядоченный процесс* развития сообщества, он *предсказуем* (Рис. 55);

2. Сукцессия происходит в результате *изменения физической среды под действием и контролем сообщества*. Физическое окружение *не является причиной* сукцессии, оно определяет *специфику, характер* (скорость, пределы изменения) сукцессии.

3. *Кульминацией* сукцессии являются сбалансированные устойчивые биоценозы, экосистемы. Достигается состояние равновесное с абиотической средой – относительной стабильности сообществ – состояние *климакса*.

Климакс – это зрелое сообщество, завершающее сукцессию.

Классический пример экологической сукцессии – зарастание озера, превращение его в болото.

Градиент сообществ, сменяющих друг друга до достижения климакса, называется *серией*.

В водных экосистемах различают сукцессии:

1) *Первичные* – сукцессия начинается с образования новой экосистемы (водоёма).

2) *Вторичные* – сукцессия развивается в длительно существующих, временных экосистемах (спускаемые рыбоводные пруды, осушаемая зона водохранилища и т.д.).

3) *Аллогенная* (экзогенная) сукцессия – обусловлена внешними гео-, физико-химическими, антропогенными признаками, изменяющими условия среды, биотоп → разработка каолина, золота, формирование водохранилищ и др.

4) *Автогенная* (эндогенная) сукцессия – является результатом действующих биологических процессов, она идёт в направлении эволюционного развития ГБЦ, экосистемы.

Автогенная сукцессия – вектор в историческом процессе.

Признаки автогенной сукцессии:

- Возрастает *независимость* сообществ от физического окружения.
- Повышение *гомеостаза*;
- Увеличение *контроля* сообщества под физическими факторами.

5) *Автотрофная* сукцессия – определяется развитием, изменением фитоценозов (эвтрофирование, зарастание, заболачивание озера, формирование болот).

б) *Гетеротрофная* сукцессия – определяется развитием гетеротрофов.

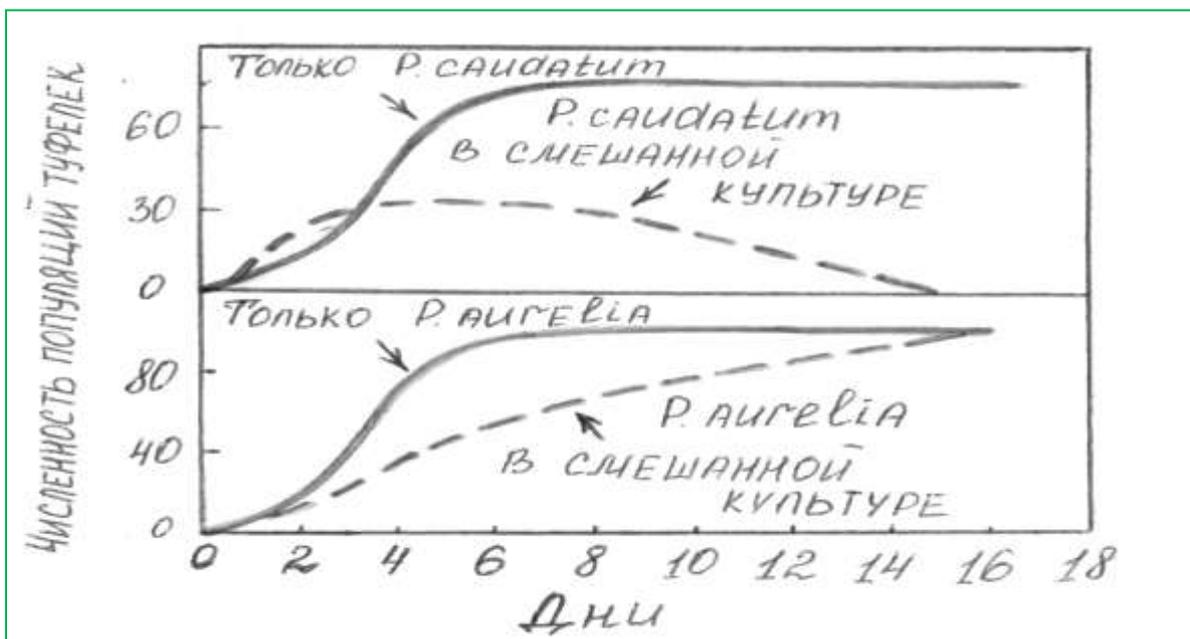


Рис. 55. Сукцессия (на примере популяции тифлек)

Признаки экологической сукцессии:

- Возрастает видовое разнообразие;
- Возрастает эквитабельность N видов;
- Популяции мелких организмов заменяются крупными с длительным жизненным циклом, снижаются траты на обменные процессы;
- Усложняется система трофических связей;
- Характер и скорость круговорота биогенных веществ изменяется по синусоиде.

Межвидовые взаимоотношения в ГБЦ

В ходе эволюции водных экосистем существует тенденция к уменьшению роли отрицательных взаимодействий за счет положительных.

В новых недавно сформированных ГБЦ вероятность возникновения сильных отрицательных взаимодействий больше, чем в старых.

Взаимодействие водных популяций теоретически выразим в виде символов:

«+» - положительное; «-» - отрицательное; «0» - нейтральное.

Комбинация символов позволяет выделить 8 основных типов межвидовых взаимоотношений в ГБЦ:

- 1) «00» - ни одна из популяций (вид) не оказывает на другую влияния – это *нейтрализм*.
- 2) «- -» - прямое или опосредованное взаимное подавление обоих видов, когда ресурс ограничен – это *конкуренция*, она может привести:
 - к взаимному приспособлению конкурентов;
 - к замещению одного другим;
 - к переселению в иное место одного из конкурентов;
 - к использованию иной пищи.

Пример с гребневиком *Mnemiopsis leidyi* (тип *Stenophora*), родственник медузы по желтелости: завезён случайно в Азовское море (1990 г.) от побережья Флориды, естественных врагов не встретил, в большом количестве получил планктон, которым питались хамса и тюлька.

Различают 3 формы конкурентных отношений:

- *Несовершенная конкуренция*, межвидовые взаимоотношения слабее внутривидовых.
- *Совершенная конкуренция*, один из видов вытесняется из ниши.
- *Сверхсовершенная, жесткая конкуренция*, быстрое подавление (антибиотики, токсиканты).

3) «- 0» - *аменсализм* – одна популяция подавляет другую, не испытывая отрицательное влияние. Пример, цветение вод (аменсализм = антибиоз, аллелопатия).

4) «+ -» - *паразитизм* – выгодно для популяции паразита, не выгодно для хозяина, популяция паразита < популяции хозяина, иначе паразит не найдет биотоп в лице хозяина.

5) «+ -» - *хищничество* – выгодно для одной популяции и не выгодно для другой. Популяция хищника > популяции добычи.

6) «+ 0» - *комменсализм* – пользу получает одна популяция (комменсал), для хозяина – безразлично (в полости тела голотурий живут рыбки р. *Carapus*, рыбы прилипалы, прикрепленные растения, животные).

7) «+ +» - *мутуализм* – облигатное взаимодействие, полезное для обеих популяций (червь *Convoluta* ↔ зоохлорелла *Convolaria*, моллюск *Tridacna* ↔ зооксонтеллы). Это не дружеские взаимоотношения, они эгоистичны, возникают потому, что польза превышает требуемые затраты.

8) «+ +» - *протокооперация* – не облигатное, необязательное взаимодействие, популяции не находятся в полной зависимости (кишечнополостные ↔ крабы).

Неконкретная природа взаимосвязи:

Карпозы – все формы сожительства популяций гидробионтов, выгодные для одной из 2-х популяций гидробионтов и практически безвредные для другой (аменсализм + комменсализм + нейтрализм).

Симбиоз – «совместная жизнь» популяций гидробионтов безотносительно к природе взаимосвязи (мутуализм = протокооперация = облигатный симбиоз).

Синойкия – совместное жилище, жизнь, наименее тесное сожительство (сосуществование) разных видов, безразличных друг другу, либо польза односторонняя (симбиоз, комменсализм = синойкия).

1.6.3. Продукция и деструкция органического вещества

Биологическая продукция – это прирост биомассы организмов за конкретный промежуток времени в единицу объема или площади.

Необходимо отличать биологическую продукцию от продукции ОВ:

- Биологическая продукция – прирост ОВ живых организмов;
- Продукция ОВ – образование всех форм ОВ (необходимы для познания круговорота веществ).

Само явление биологического продуцирования рассматривается в двух аспектах: свойство популяций; свойство водоемов.

Продукция популяций обуславливается видовыми особенностями и условиями существования (аналогия → урожайность сортов растений, породы животных).

Продуктивность водоемов включает свойство – обеспечивать темп воспроизводства его организмов (аналогия → плодородие почв, зависящее от растений, внешних условий и т.д.).

По Тиннеману, *продукция водных животных* – это скорость прироста ОВ.

По Одуму (1986г.), *продукция* – это скорость накопления энергии живыми организмами.

В 1964-1974 гг. во всем мире проводилось согласованное выполнение международной биологической программы (МБП) по единой теме: «Продуктивность экосистем и влияющие на нее факторы».

По Винбергу (по МБП), *продукция видовой популяции* – это сумма приростов всех особей за определенное время, включая наличных в начале изучаемого периода, отродившихся за избранный срок, элиминированных (выбывших) к концу данного промежутка времени.

Условные обозначения:

P – продукция, кал, Дж/ед времени m^2 , m^3 .

A – ассимилированная энергия, валовая продукция, кал, Дж/ед времени m^2 , m^3 .

C – рацион, потребленная энергия, кал, Дж/ед времени m^2 , m^3 .

H (F) – неусвоенная энергия, кал, Дж/ед времени m^2 , m^3 .

R – деструкция, траты на обмен, кал, Дж/ед времени m^2 , m^3 .

U = A/C – усвояемость пищи

U_{хищников} = 0,8, U_{мирных} = 0,6.

E – элиминация.

D – продолжительность развития.

СПК – скорость потребления кислорода.

Модель потока энергии, поступающей в живую систему (организм, популяция) с пищей:

$$C = A + H (F) \quad A = P + R \quad C = P + R + H (F)$$

$$P = P_s + P_q + P_{ex} + P_m \quad C = A/U$$

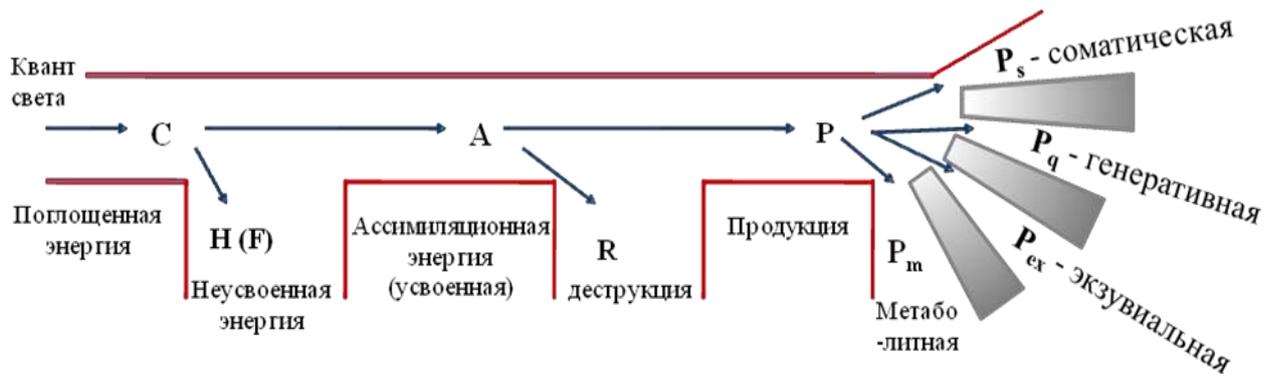


Рис. 56. Схема потока энергии в гидробиоценозе.

Скорость продукции – это накопление энергии в каждый момент времени.

$$P \equiv \frac{dB}{dt}$$

Количество продукции – это накопление энергии за промежуток времени, например за сутки.

$$P_{t_1; t_2} \equiv \int_{t_1}^{t_2} P \times dt$$

1.6.4. Первичная продукция

Первичная продукция – (продукция продуцентов, автотрофов) – это количество органического вещества (ОВ), синтезированного автотрофными организмами за определенный промежуток времени, отнесенное к единице площади или объема водоёма (Винберг, 1960г).

Выделяют следующие разновидности:

- **Валовая первичная продукция** планктона (А) – совокупность всех новообразованных при фотосинтезе органических веществ;
- **Чистая первичная продукция** планктона (Р) – разность между валовой продукцией и дыханием (деструкцией, R) всего планктона ($P = A - R$) (Бульон В.В., 1994);
- **Эффективная продукция** фитопланктона (Р_е) – часть новообразованного ОВ, оставшаяся от окисления в процессе дыхания. (R_{фпл}). $P_e = A - R_{фпл}$.

Единственный источник новообразования ОВ в водоеме – **фотосинтезирующие организмы (автотрофы)**. Часть солнечной радиации с участием хлорофилла переводится в потенциальную энергию ОВ. Сочетание окислительно-восстановительных реакций может быть отражено уравнением:



1 г – мол (180 г) глюкозы → освобождает → 192 г O₂ → затрачивает 264 г CO₂

Нельзя смешивать понятия «интенсивность фотосинтеза» с «величиной первичной продукции».

Интенсивность фотосинтеза – интенсивность новообразования ОВ, отнесенная к массе растений (то есть это свойство растений).

Величина первичной продукции - количество ОВ отнесенное к объёму водных масс.

В мезотрофном водоёме (цветение вод): растений много, продукция высокая – интенсивность фотосинтеза низкая (действие токсикантов).

Продукция фитопланктона может быть выражена в разных *взаимозэквивалентных единицах*:

$$1 \text{ мг } O_2 = 14,3 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ мг } O_2 = 0,32 \text{ мг } C$$

$$1 \text{ мг } C = 44,77 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ мг } O_2 = 3,40 \text{ кал}$$

$$1 \text{ мг } C = 10,70 \text{ кал}$$

Методы определения первичной продукции (ПП). Выделяют 4 группы методов:

I. *Определение ПП по количеству хлорофилла*

$$CO_2 = C_{\text{хл}} * АЧ$$

$$АЧ = CO_2 / C_{\text{хл}}$$

АЧ – ассимиляционное число, равное 3,7 г.

$C_{\text{хл}}$ – определяется флуоресцентным методом (Гольд В.М. и др., 1984г.).

II. *Определение ПП по анализу изменений O_2 , рН, биогенов в открытом водоеме.*

III. *Метод светлых и темных склянок в кислородной и радиоуглеродной модификациях.*

IV. Расчетный способ через величину прозрачности (S), (A) максимальное в m^3 .

Кислородная модификация (в России введена в 1943 г. Винбергом Г.Г.). Интенсивность фотосинтеза (А) оценивается по приросту O_2 ($K_{\text{св}}$) в изолированной пробе в светлых склянках после экспозиции в водоеме (4-24 часа) рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{K_{\text{св}} - K_{\text{тем}} \times T}{j}, \text{ г } O_2/\text{сут. м}^3$$

T – светлое время суток;

j – время экспозиции;

$K_{\text{св}}$ – концентрация кислорода в светлых склянках;

$K_{\text{тем}}$ – концентрация кислорода в темных склянках.

В затемненных склянках фотосинтез ингибируется, осуществляется дыхание, концентрация O_2 ($K_{\text{тем}}$) снижается. По величинам первичной продукции оценивается тип трофности водного объекта и класс кормности (Табл. 16).

Дыхание, деструкция, траты на обменные процессы (R) рассчитывается:

$$R = \frac{(K_{исх} - K_{тем}) \times 24}{j}, \text{ г O}_2/\text{сут м}^3$$

$K_{исх}$ – исходная концентрация O_2 ;

J – время экспозиции;

24 – длительность, сутки.

Радиоуглеродный вариант определения ПП (Бульон В.В., 1994г.)

В основе метода используется допущение, что ^{12}C карбонатов усваивается в таком же количестве, что и ^{14}C .

^{14}C вносится в склянки в виде карбонатов ($Na_2^{14}CO_3$) с известной радиоактивностью (K).

$$A = \frac{^{12}C_K \times r_{св} - r_T}{K \times t \times V}$$

V – объем склянок;

$r_{св} - r_T$ – радиоактивность клеток фпл, осажденных на фильтрах в светлых ($r_{св}$) и темных (r_T) склянках;

t – время экспозиции;

++ – высокая точность в олиготрофных водоемах;

-- – не определяется R.

Зависимость типа трофности вод от величины первичной продукции (Табл. 16).

Тип трофности	Класс кормности	Первичная продукция, г С/ (м ² * сут)	
		по С.П. Китаеву, 1984	по В.В. Бульону, 1983
α - олиготрофный	Очень низкий	<0,125	<0,03
β - олиготрофный	Низкий	0,125-0,25	-
α – мезотрофный	Умеренный	0,26-0,50	0,03-0,30
β – мезотрофный	Средний	0,51-1,1	-
α – евтрофный	Повышенный	1,2-2,1	0,31-3,00
β – евтрофный	Высокий	2,2-4,0	-
Гиперевтрофный	Очень высокий	>4,0	>3,00

Внеклеточная (экстрацеллюлярная) продукция (ЭП) – это прижизненные выделения продуктов фотосинтеза (РОВ) клетками водорослей во внешнюю среду в единицу времени, в определенном объеме.

ЭП составляет 10-40 % от А.

Главный потребитель ЭП – бактерии.

$A/R \approx 1$ – сбалансированность процессов первичной продукции и деструкции в планктоне.

Отношение $A/R < 1$ указывает на присутствие в воде аллохтонного ОВ.

Отношение $A/R > 1$ – накопление автохтонного ОВ в экосистеме.

Годовая чистая первичная продукция:

на суше (2/3 площади) = 110-120 млрд. тонн сухого вещества;

в Мировом океане (1/3 площади) = 50-60 млрд. тонн сухого вещества.

1.6.5. Вторичная продукция. Баланс органического вещества

Вторичная продукция – это прирост ОВ за счет жизнедеятельности гетеротрофных организмов, отнесенный к некоторому периоду времени и единице пространства.

Во вторичной продукции различают:

- Соматическую (P_s) – прирост массы (энергии) тела;
- Генеративную (P_q) – прирост массы (энергии) выметанных половых продуктов;
- Экзувиальную (P_{ex});
- Метаболитную (P_m).

$$P = P_s + P_q + P_{ex} + P_m$$

Расчет вторичной продукции учитывает динамику размерно-возрастного состава, роста и развития популяции.

Продукция гетеротрофных бактерий и простейших планктона.

Продукцию (P) протистов оценивают по скорости их размножения (делению клетки на две дочерние), по времени удвоения их численности – q .

Деструкцию ОВ (R) – через интенсивность дыхания клеток, особей (Q).

В эксперименте регистрируются:

Время экспонирования (t_1, t_2) – j ;

Начальное количество клеток (N_1);

Конечное количество клеток (N_2);

Биомасса $B = N * V$ (объем клетки) * d (удельный вес клетки) = $1\text{г}/\text{м}^3$;

Количество кислорода, потребляемое одной клеткой (Q) за единицу времени.

Рассчитываются:

1. Время удвоения численности

$$q = \frac{j \times \ln 2}{\ln N_2 - \ln N_1}; \text{ где } 2 \text{ – коэффициент геометрической прогрессии,}$$

по которой возрастает N размножающихся организмов;

2. **Удельная скорость размножения** $\overline{C_w} = \frac{\ln 2}{q}$

3. $P = \overline{B} \times \overline{C_w} \times t = \frac{B \times \ln 2 \times t}{q}$

$\ln 2 = 0.693$, $t = 24$ часа.

4. $P = \frac{0.693 \times B \times 24}{q}$, г/м³ сут. (кДж/м³ сут.).

5. $R = Q \times N \times K_c$, г/м³ сут. (кДж/м³ сут.).

K_c – оксикалорийный коэффициент, 3,38 кал/мг O₂.

N – общая численность.

Продукция популяций многоклеточных животных.

I. Расчет продукции когорты, ведет начало от классических исследований Бойсен – Йенсена.

$$P = (B_2 - B_1) + B_e$$

$B_2 - B_1$ – разность между конечной (B_2) и начальной (B_1) биомассами за период времени ($t_2 - t_1$).

B_e – биомасса элиминированных (выбывших) особей.

Этим способом рассчитывается продукция моноциклических видов с длительным периодом жизни, коротким периодом нереста (моллюски, полихеты и др.).

II. Расчет продукции как суммы приростов особей включает исследования по:

- Размерно-возрастному составу популяций;
- Приросту массы тела особей.

Продукция особей отдельной i – той возрастной (размерной) группы

$$P_{si} = \frac{dw_i}{dt} \times \overline{N}_i = \Delta w_i \times \overline{N}_i, \text{ экз/м}^3 \text{ сут. (мес)}$$

dw_i/dt – скорость роста особи конкретной группы.

\overline{N}_i – средняя численность животных этой группы.

Продукция соматического роста популяции – это сумма продукций возрастных групп (P_i) и определяется через калорийность, то есть переводится в калории.

$$P_s = \sum_{i=1}^n P_i, \text{ кал/м}^3 \text{ сут. (мес)}$$

$$\text{Продукция генеративного роста} \quad P_q = \frac{w_q \times F \times N_o}{D_q}$$

где w_q – масса яйца, новорожденного; F – количество яиц в кладке; D – продолжительность развития яйца; N_o – количество самок в m^3 .

$$\text{Продукция популяции животных} \quad P = P_s + P_q, \text{ г (кал)/м}^3 \text{сут. (мес).}$$

III. Приближенная оценка продукции популяций животных

3.1. Через величину удельной продукции – это продукция за единицу времени в расчете на единицу биомассы ($C_w = P/B$).

$$P = C_w * V_{ср}$$

Величины C_w в конкретных группах животных изменяется незначительно, их можно брать по литературным данным. Например, ср. значения удельной продукции бентоса = $\overline{C_w} = 0,015 \text{ сут}^{-1}$, зоопланктона = $0,056 \text{ сут}^{-1}$.

3.2. Физиологическим методом – он дает приближенные, ориентировочные величины продукции водных животных, если отсутствуют данные скорости роста животных отдельных возрастов, составляющих популяцию.

Расчет продукции этим способом возможен, когда известны:

- Траты на обмен животных, деструкция (R);
- Соотношение трат (R) с продукцией (P_s), передаваемое коэффициентом эффективности использования ассимилированной энергии пищи (A) на рост – K_2 .

$$K_2 = P/A = P/(P+R) \quad (1)$$

Траты на обмен (R) рассчитываются через произведение скорости потребления O_2 животными в процессе дыхания ($Q = a * w_i^b$) на оксикалорийный коэффициент $K_c = 3,38 \text{ кал/мг } O_2$, ли $4,86 \text{ кал/мл } O_2$.

Коэффициенты a и b слабо варьируют в пределах таксономической группы и берутся по литературным источникам.

$$R = Q * K_c * N = a * w_i^b * N * K_c / q \quad (2)$$

q – температурная поправка на реальную температуру воды, = $2,25^{0,1(20-t)}$.

Из формулы (1) $K_2 = P/A = P/ P+ R$ рассчитывается продукция особи определенной массы (возраста):

$$P_i = R_i \times \frac{K_2}{1 - K_2}$$

Метод получил название «физиологический», так как в основу его положена ведущая функция организма – дыхание, скорость потребления кислорода.

Сообщества водных животных включают:

- Первичных консументов – мирные животные;
- Вторичных консументов – хищные животные, хищники могут быть облигатными (C_{x0}) и факультативными (C_{xf}).

Часть продукции нехищных (мирных) животных потребляется внутри биоценоза хищниками, поэтому продукция сообщества рассчитывается по формуле:

$$P_c = P_m + P_x - C_x, \quad C_x = C_{x0} + 0,5C_{xf}$$

Рационы рассчитываются через ассимилированную энергию (А) и усвояемость пищи (U):

$$U = A/C, \quad C = A/U = P + R/U, \quad U_x = 0,8, U_m = 0,6.$$

По данным А.Ф. Алимова (1989г., 2001г.) валовая первичная продукция (А, кДж/м² год) по водоёмам разной трофности распределяется следующим образом:

- олиготрофные - <1255,
- мезотрофные - 1255 – 4184,
- эвтрофные - 4184 – 14644.

В озёрах, водохранилищах, внутренних морях продукция рыб составляет в среднем 0,06-1,2% первичной продукции, в рыбоводных прудах – около 3%.

В озёрах до 96% энергии, ассимилированной всеми беспозвоночными, приходится на долю зоопланктона, в водохранилищах – не более 67%.

Т.е. в озёрах основные потоки энергии проходят через сообщества организмов планктона, в водохранилищах – через сообщества зообентоса.

Круговорот веществ в ГБЦ

ГБЦ как автономная система может существовать без поступления веществ извне:

- За счет перемещения имеющегося в системе материала по замкнутому кругу.
- За счет энергии, связываемой фотосинтетиками, поступающей извне.

Общий круговорот веществ в экосистеме составляется из *суммы* отдельных *потоков* разной мощности и протяженности.

Различают потоки:

- *Восходящие* – вещества перемещаются с низших трофических уровней на высшие (водоросли – растительные животные - хищники).
- *Нисходящие* – возникают в результате минерализации ОВ организмами всех трофических уровней (в приоритете бактерии, грибы).

Круговорот веществ в ГБЦ может быть:

- *Циклический* – имеют место в стоячих водоемах, когда одни организмы существуют, используя вещества, образующиеся в результате фотосинтеза и отмирания других – автохтонная органика.
- *Транзитный* – имеет место в водотоках, Мировом океане (р-ны Гольфстрима, Куроисио и др.), организмы конкретного участка развиваются за счет аллохтонного ОВ.

Циркуляция веществ в водоемах осуществляется по:

I. Трофико-динамическим каналам:

- 1.1. Пастбищные цепи;
- 1.2. Детритные цепи;
- 1.3. Метаболитно-трофические цепи (энергоемкие вещества, выделяемые организмами в воду, осмотически используются другими). В наземных экосистемах отсутствуют.

II. Непищевым каналам - обеспечивают циркуляцию O_2 , CO_2 , фосфора.

В трофико-динамических каналах выделяют *4 основных пути возврата веществ в круговорот:*

1) *Первичная экскреция* (выделение) продуктов обмена организмами (кал, моча, пот и др.) и последующая регенерация (восстановление). Регенерация азота и фосфора в пелагиали происходит в основном за счет экскрементов животных;

2) *Разложение детрита микроорганизмами;*

3) *Прямой путь* через симбиотические грибы (от растения к растению);

4) *Через автолиз* – саморастворение растительных и животных тканей и клеток под действием собственных гидролитических ферментов. Освобождает организм от омертвевших тканей.

При *качественной оценке* круговорота веществ оценивают *характер и мощность циркуляции азота и фосфора:*

- Их количеством определяется плотность фотосинтезирующих автотрофов;
- Их оборачиваемость очень высокая, всего несколько дней.
- В экосистеме происходит постоянный круговорот питательных веществ, в котором участвуют живой и неживой компоненты. Такие круговороты называются *биогеохимическими циклами*.

Энергопоток (Рис. 57, 58. Алимов А.Ф., 2001).

Энергия, введенная в биоценотическую систему, многократно трансформируясь (превращение, изменение), рассеивается. Часть энергии резервируется в форме энергоемких соединений (нефть, торф и др.).

Почему имеет место *линейный поток энергии*? Энергия существует в виде взаимопревращаемых форм: механическая; химическая; тепловая; электрическая.

Переход одной формы в другую называется *преобразованием* энергии, подчиняется *законам термодинамики*:

№1. *Закон сохранения энергии* – она не может быть создана или уничтожена, она превращается из одной в другую.

№2. *При совершении работы энергия не используется на 100 %*, часть ее неизбежно превращается в тепло («работа» приложима к любому процессу живого организма).



Рис. 57. Поток энергии и круговорот вещества в типичной пищевой цепи. Две цепи обмена между хищниками, с одной стороны, и детритоядными и редуцентом – с другой. Последние питаются мертвыми хищниками, хищник могут питаться живыми детритоядными и редуцентами.

Энергия, теряющаяся при дыхании, не передается другим организмам.

Энергия, заключенная в экскриментах отходах метаболизма, передается детритофагам и редуцентам.

Средняя эффективность переноса энергии от растения к травоядному животному составляет $\approx 10\%$. От травоядного к первичному хищнику – 20% . От первичного хищника ко вторичному $\approx 10\%$. Травоядные животные менее эффективно усваивают пищу ($U_m = 60\%$), чем хищники ($U_x = 80\%$).

Обще количество энергии, поступающее за единицу времени в экосистему *деградирует* – R, *экспортируется* – H (F), *накапливается* – P.

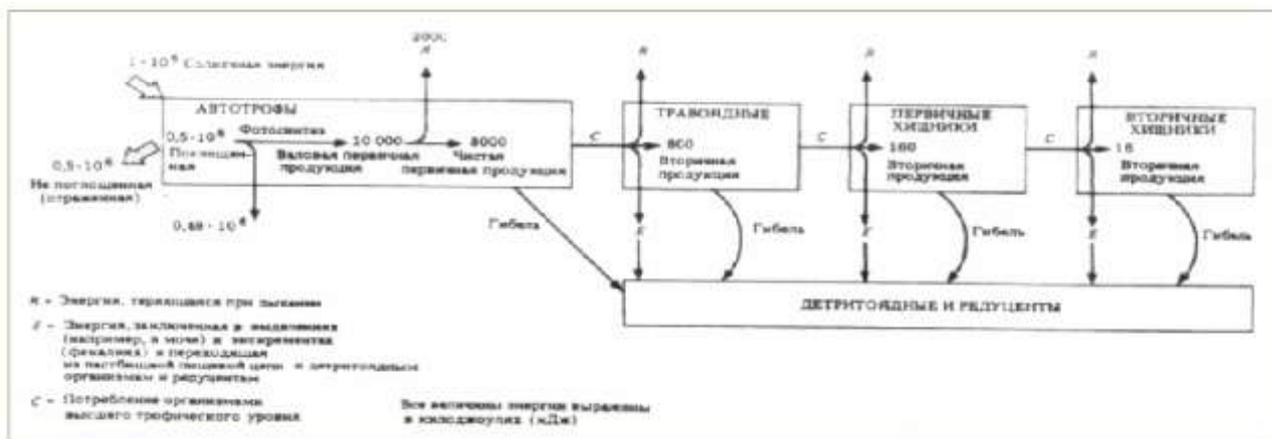


Рис. 58. Поток энергии через пастбищную цепь.

Сумма энергии, потерянной при дыхании R, накопленной в экосистеме P и ушедшей H (F) равна энергии, зафиксированной в процессе фотосинтеза - C.

Энергобаланс: $C=R+P+H (F)$

Энергобаланс может быть «+» и «-».

Отрицательный энергобаланс – преимущественно в крупных водоемах, рассеяние энергии (R) превышает фотосинтетическое (A) связывание $A < R$. Разница компенсируется аллохтонным ОВ, привносимым с водосборной площади. Красноярское водохранилище $A/R = 0,47$, Рыбинское водохранилище $A/R = 0,68$.

Положительный энергобаланс – чаще в мелких континентальных водоемах, связанная энергия (A) превышает рассеянную (R), $A > R$. Аллохтонное ОВ накапливается в водоеме.

Таким образом, *живые организмы* – это преобразователи энергии и каждый раз, когда происходит превращение энергии, часть ее теряется в виде тепла.

Живые организмы не используют тепло как источник энергии для совершения работы – они используют свет и химическую энергию.

Изучение потока энергии через экосистему называется энергетикой экосистем.

Самостоятельная подготовка

1. Алгоритмы расчёта продукции и авторские задачи для самостоятельной работы (Определение продукции популяций водных сообществ)/ под ред. акад. А.Ф. Алимова, проф. З.Г. Гольд. - Новосибирск: Наука, 2000;
2. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. – Л.: Наука, 1983;
3. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах.- СПб.: Наука, 1994;
4. Одум Ю. Основы экологии.- М., 1975;
5. Песенко Ю.А. Принципы качественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982;

Раздел 1.7. Проблемы прикладной гидробиологии

Загрязнение водной среды как биосферный процесс. Проблема чистой воды: оценка качества воды и состояния водных экосистем гидрофизическими, химическими и биологическими (биотестирование, биоиндикация) методами.

1.7.1. Эвтрофирование вод.

1.7.2. Основные подходы к оценке качества воды. Химические дескрипторы.

1.7.3. Биотестирование вод.

1.7.4. Биологическая индикация.

1.7.5. Стандартные методики оценки качества воды по химическим и биологическим показателям.

1.7.1. Эвтрофирование вод

Эвтрофирование - (гр. eutrophia – хорошее питание) – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов (ГОСТ 17.1.1.01. – 77, п. 48).

В более конкретном понимании – это повышение уровня первичной продукции планктона благодаря увеличению в водах концентрации биогенных и органических веществ.

Различают (Рис. 59): *естественное* (длится тысячелетиями) и *антропогенное* эвтрофирование (развивается быстро).



Рис. 59. Схема антропогенных источников эвтрофирования.

I. Последствия эвтрофирования для общества

1. *Социальные:* Ухудшается качество воды; Развиваются заболевания: детская метгемоглобия, менингит, энцефалит, холера, юксовско-сартланская (гаффская) болезнь, легионеллез, конъюнктивиты, токсикозы, аллергии, кожно-грибковые. Классификацию стадий цветения вод см. Табл. 16.

2. *Экономические:* Сокращается рекреационное использование водоема; увеличиваются затраты на водоподготовку; Снижается вылов рыбы; развиваются заморы рыб, гибель птиц (ботулизм).

3. *Технические:* Усложняются методы очистки воды; Развиваются помехи в водоснабжении ГЭС, ГРЭС, АЭС.

II. Последствия эвтрофирования для водоема.

1. *Изменение физико-химических параметров:*

1.1 увеличение концентрации биогенных веществ и ОВ;

1.2 увеличение концентрации фосфора в донных отложениях;

1.3 уменьшение концентрации растворенного кислорода в гипolimнионе;

1.4 увеличение мутности водной среды;

1.5 уменьшение прозрачности воды;

1.6 подщелачивание воды;

1.7 появление *зеленого цвета* воды.

2. *Изменение биологических показателей:*

2.1 последовательная смена популяции водорослей с преобладанием зеленых и синезеленых водорослей;

2.2 развиваются эффекты «цветения» (Рис. 61-64);

2.3 развивается патогенная микрофлора;

2.4 уменьшение видового разнообразия, N и B зоокомпонентов пелагиали, бентали;

2.5 сокращение N и B ценных видов рыб.

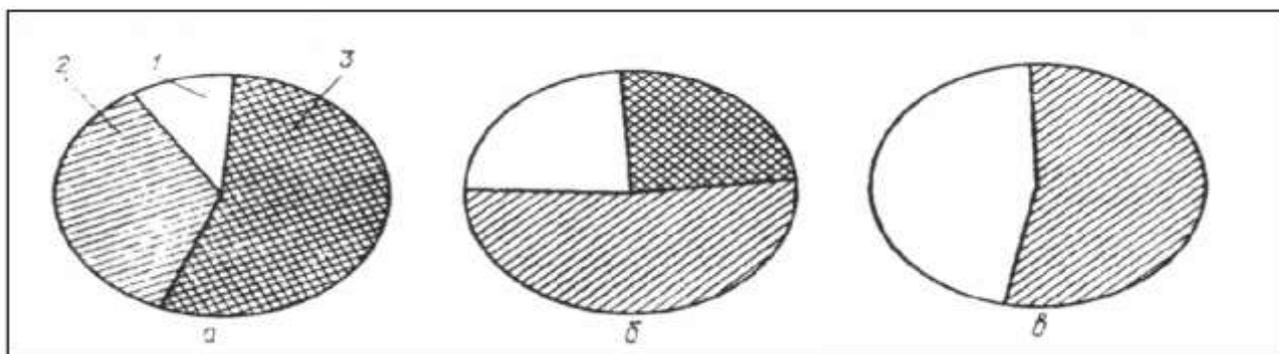


Рис. 60. Количество фитотоксичных штаммов цианобактерий, выделенных из различных систем. а – водоемы; б – почва; в – рисовники; 1 – нетоксичные штаммы; 2 – токсичные; 3 – высокотоксичные.

2.6 возрастает заболеваемость птиц, рыб (Рис. 65);

2.7 повышается концентрация фитотоксинов, высокотоксичность цианобактерий (Рис. 60).



Рис. 61. Схема объектов «цветения» вод.

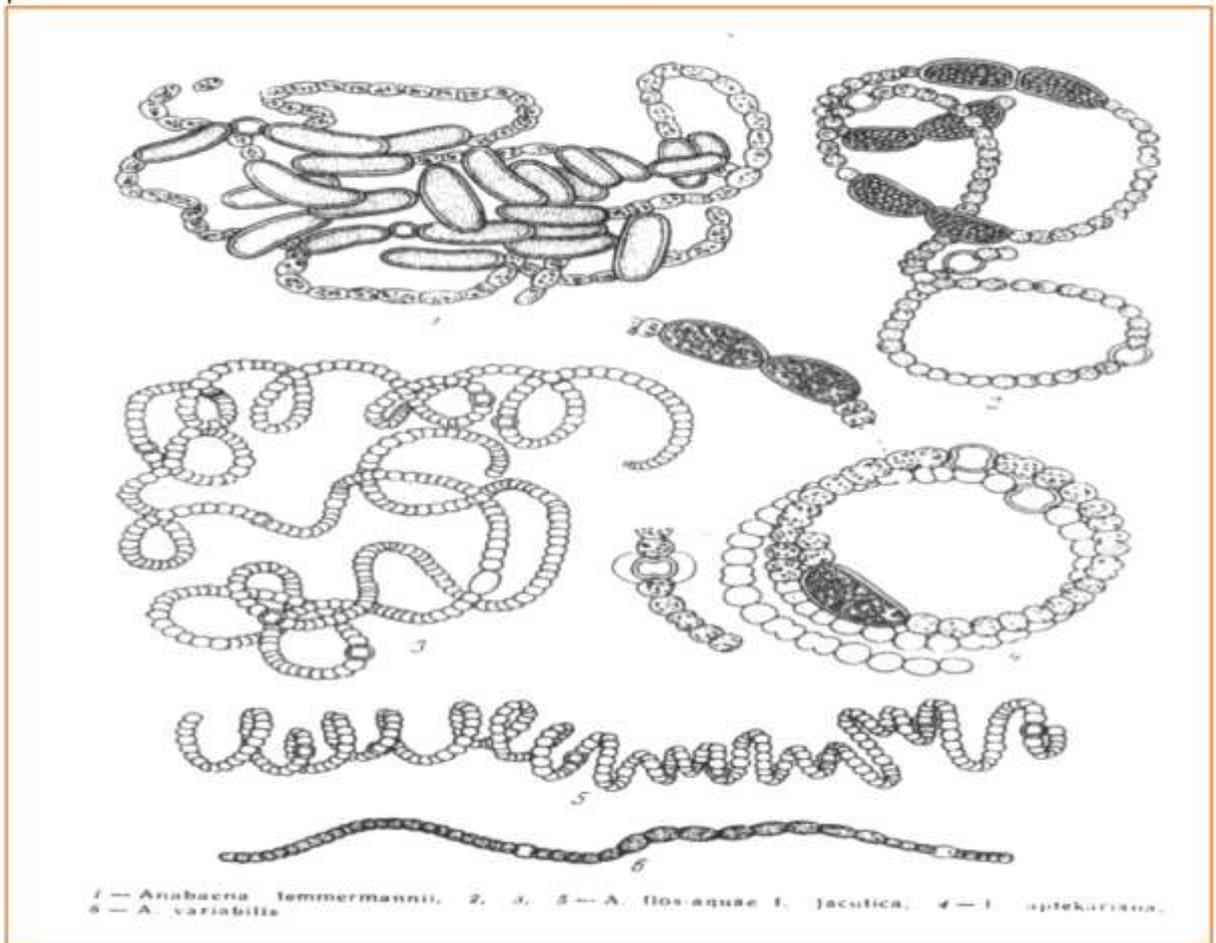


Рис. 62. Представители рода *Анабаена* (1, 2, 4, 6 — по Голлербах и др., 1953; 3, 5 — по Кондратьевой, 1968).

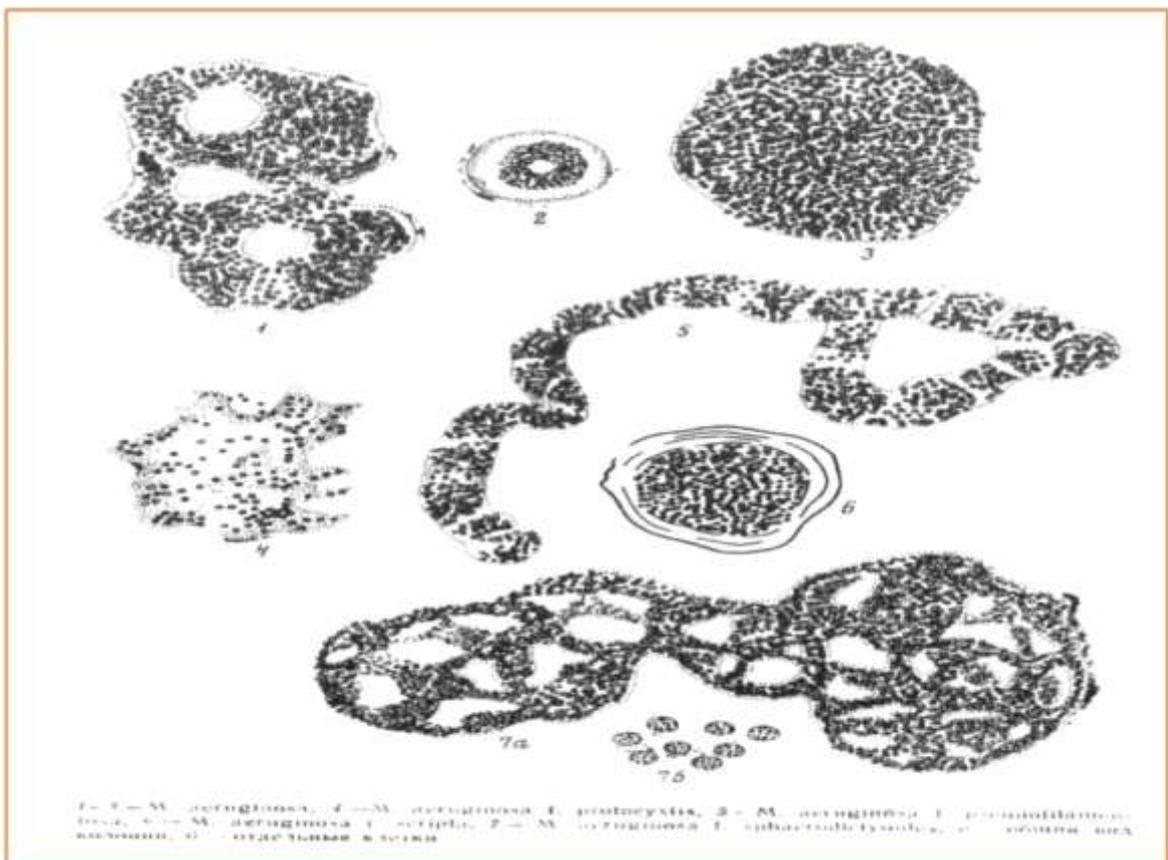


Рис. 63. Общий вид колоний *Microcystis* и его разновидности (Голлербах и др., 1953).

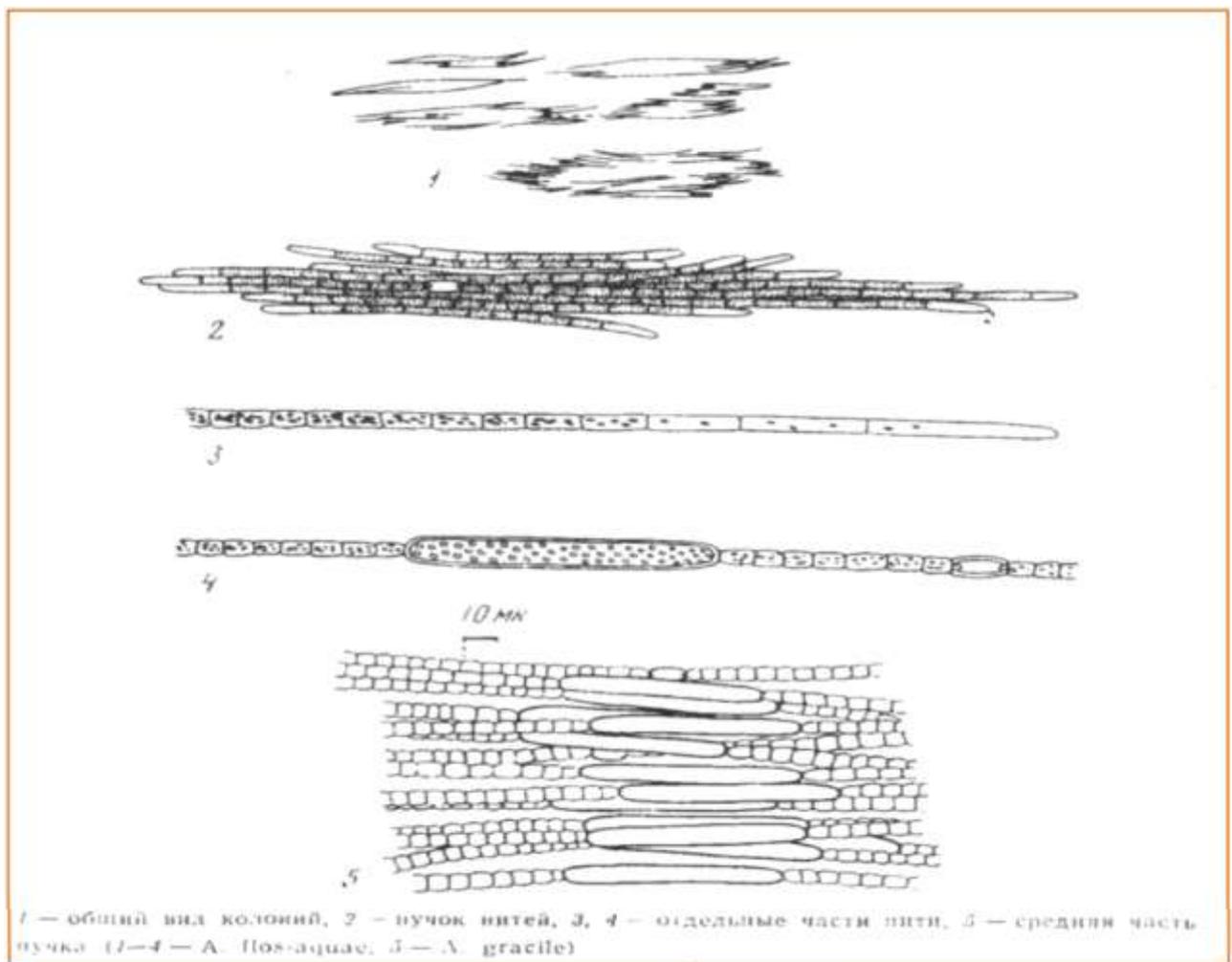


Рис. 64. *Arhanizomenon* (по Кондратьевой, 1968).

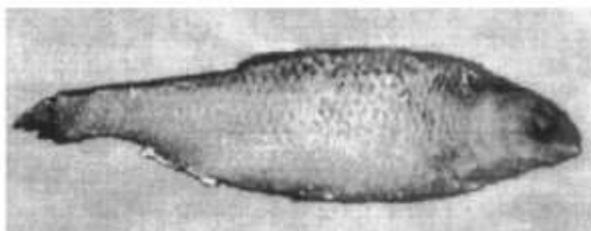
Быстрому размножению синезеленых водорослей способствует:

- высокая выносливость к температуре (эвритермные), повышенным концентрациям солей, избытку и недостатку света, малому количеству кислорода;
- устойчивость к высушиванию, ультрафиолетовой радиации;
- способность к образованию зимующих и аэропланктонных форм; миксотрофному, хемогетеротрофному питанию; фиксации молекулярного азота; предпочитают восстановленные формы азота (аммонийные соединения); усваивают экзогенные ОР (аминокислоты, углеводы др.); низкое содержание кислорода → вода насыщается восстановленными формами серы (сульфидами), стимулирующими размножение синезеленых.

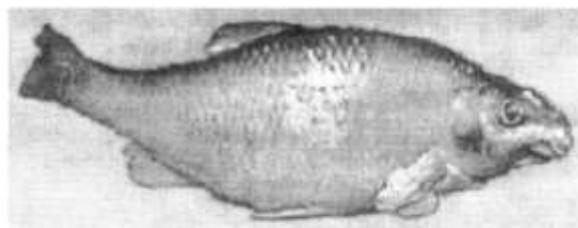
Методы устранения отрицательных последствий эвтрофирования.

Различают 2 категории мероприятий:

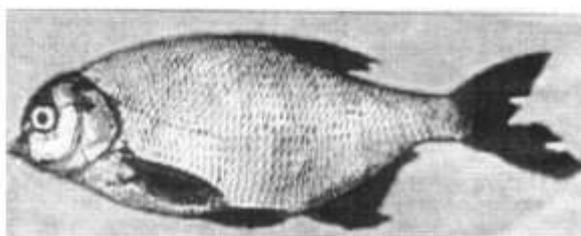
- 1) Профилактические (наиболее эффективные).
- 2) Регулирующие.
 - 2.1. Сплошного действия (на всем водоеме);
 - 2.2. Локального действия (например, по участкам сбора сестона и др.).



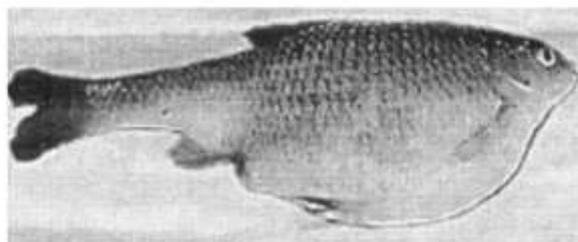
Редукция плавников



*Комплексные нарушения:
чешуйчатый покров, плавники, опухоли*



Нарушение строения скелета головы



Жировое перерождение внутренностей

Рис. 65. Последствия пребывания в эвтрофированных водах.

В зависимости от характера и интенсивности цветения вод используют методы:

- *химические, физико-химические*: внесение гербицидов, CuSO_4 , KCl , KHCO_3 , ультрафиолетовая радиация, сбор сестона, углубление дна, отвод стоков, аэрирование и др.;
- *биологические*: вселение видов, ингибирующих цианобактерии, сокращающих их численность, биоманипуляции с растительноядными, хищными рыбами и др.

**Классификатор степеней антропогенного эвтрофирования (по Сиренко, 1978)
(Табл. 16)**

По фитопланктону	
Стадия	Биомасса, г/м³
I – до цветения	<0,5
II – начало цветения	[0,5-0,9]
III – умеренное цветение	[1,0-9,9]
IV – интенсивное цветение	[10,0-99,9]
V - гиперцветение	≥100

1.7.2. Основные подходы к оценке качества воды. Химические дескрипторы

Качество воды – это характеристика состава и свойств воды, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования (ГОСТ 27065-86).

Контроль качества вод – проверка соответствия показателей качества вод установленным нормам и требованиям (ГОСТ 27065-86).

Дескрипторы – интегральные характеристики, определяемые по всей совокупности измеряемых параметров (например, индекс загрязнения вод, индекс сапробности, класс качества вод и др.).

Критерий качества воды (ККВ) – это признак или комплекс признаков, по которым производится оценка качества воды (ГОСТ 27065-86). Различают следующие классы критериев:

- *экологические* – учитывают условия нормального во времени функционирования водной экосистемы;
- *гигиенические (санитарные)* – учитывают токсикологическую, эпидемиологическую и радиоактивную безопасность воды и наличие благоприятных свойств для здоровья живущего и последующих поколений людей;
- *рыбохозяйственные* – учитывают пригодность воды для обитания и развития промысловых рыб и промысловых водных организмов;
- *экономические* – учитывают рентабельность использования воды водного объекта.

В практике исследований водных экосистем используют комплекс оценок качества вод (Рис. 66).



Рис. 66. Схема комплексной оценки качества вод.

Основные загрязнители водных экосистем:

- сточные воды;
- углеводороды (нефтепродукты);
- полициклические ароматические соединения (бензопирен);
- консервативные токсиканты (тяжелые металлы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества, СПАВ, которые входят в состав моющих средств – детергентов).

Химические загрязнители в большинстве являются ядами.

Яд – это 1) химическое вещество, вызывающее вредное или даже смертельное воздействие на организм, будучи введенным в него в малой концентрации (по Строгонову С.Н.); 2) «ядом зовут снадобие, зелье, средство сильно и довольно быстро вредящее, отравляющее, могущее причинить смерть» (Даль В., 1982).

Яды классифицируют.

А) по характеру действия:

- нервно-паралитические (углекислота, хлор, фосфорорганические кислоты, фенолы и др.);
- нервно-гемолитические (токсины сине-зеленых водорослей, аурон, аммиак и др.);
- энзиматические (ферментативные) (хлорофос, карбофос и др.);
- наркотические (этилен, эфир, альдегиды и др.).

Б) по эффекту действия (ГОСТ 12.01.007-76):

- 1 класс – чрезвычайно опасные (диоксины, цианиды и др.);
- 2 класс – высоко опасные (ртуть, цинк, мышьяк и др.);
- 3 класс – умеренно опасные (кобальт, медь, бор и др.);
- 4 класс – малоопасные (аммиак, марганец, барий и др.).

В) по реакциям биоты и общему химическому элементному составу вод (Табл. 17):

Класс	Характеристика вод
1	Очень чистые
2	Чистые
3	Умеренно загрязненные
4	Загрязненные
5	Грязные
6	Очень грязные
7	Чрезвычайно грязные

По *элементному химическому составу* вод определяют следующие *дескрипторы*.

1. *Предельно допустимая концентрация (ПДК)* – концентрация вещества в воде, выше которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования (ГОСТ 27065-86).

По величине кратности превышения ПДК выделяются следующие характеристики уровня загрязненности (РД 52.24.643 – 2002) (Табл. 18).

Кратность превышения ПДК	Характеристика уровня загрязненности
(1; 2)	Низкий
[2; 10)	Средний
[10; 50)	Высокий
[50; ∞)	Экстремально высокий

2. *Химическое потребление кислорода (ХПК)* – количество кислорода, потребленное при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием различных окислителей (ГОСТ 27065).

Величины ХПК в водоемах с различной степенью загрязненности (Табл. 19).

Срепень загрязнения (классы водоемов)	ХПК, мг O ₂ /дм ³
Очень чистые	1
Чистые	2
Умеренно загрязненные	3
Загрязненные	4
Грязные	5-15
Очень грязные	>15

ХПК оценивается по бихроматной окисляемости (в более загрязненных водах), по перманганатной окисляемости (в природных водах).

В водных объектах питьевого водопользования ХПК не должно превышать 15 мг O₂/дм³, в зонах рекреации до 3 мг O₂/дм³ (Табл. 19).

3. *Биохимическое потребление кислорода (БПК₅, полное)* – это количество растворенного кислорода, потребляемого микроорганизмами за установленное время и в определенных условиях, при биохимическом окислении содержащихся в воде органических веществ (ГОСТ 27065-86). Различают: БПК_{полное} – минерализация биохимически окисляющихся веществ до стадии нитрификации за 20 суток; БПК₅ – окисление ОВ до стадии аммиака за 5 суток.

Норматив БПК₅ для рыбохозяйственных водоемов 3 мг O₂/л (Табл. 20).

Величины БПК₅ в водоемах с различной степенью загрязненности (Табл. 20).

Степень загрязнения (классы водоемов)	БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³
Очень чистые	0,5-1,0
Чистые	1,1-1,9
Умеренно загрязненные	2,0-2,9
Загрязненные	3,0-3,9
Грязные	4,0-10,0
Очень грязные	10,0

4. *Индекс загрязнения воды (ИЗВ).*
$$ИЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{ПДК_i} \right]$$

где C_i - концентрация i -го компонента; n – число суммарных отношений; $ПДК_i$ – ПДК i -го компонента.

ИЗВ рассчитывается минимум по 6 гидрохимическим показателям, в том числе обязательными являются – O₂, рН, БПК₅ (Табл. 21).

Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды
(Гусева Т.В., Молчанов Я.П. и др., 2000) (Табл. 21).

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	1
Чистые	0,2-1,0	2
Умеренно чистые	1,0-2,0	3
Загрязненные	2,0-4,0	4
Грязные	4,0-6,0	5
Очень грязные	6,0-10,0	6
Чрезвычайно грязные	>10,0	7

5. *Оценки по лимитирующим признакам вредности.*

СанПин 2.1.4.1074-01.

При обнаружении в воде химических веществ 1 и 2 класса опасности с одинаковыми лимитирующими признаками вредности рассчитывается сумма отношений обнаруженных концентраций (С) к их ПДК – μ .

$$\mu = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n}$$

μ не должна быть более единицы:

$\mu < 1$ – вода безвредная;

$\mu > 1$ – вода вредная (грязная, опасная).

6. *Критерии высокого уровня загрязненности воды* (РД 52.24.643-2002).

Критерии определения высокого и экстремально высокого уровней загрязненности воды водных объектов по гидрохимическим показателям (Табл. 22).

Ингредиенты и показатели качества воды	Кратность повышения ПДК для случаев	
	высокого загрязнения	экстремально высокого загрязнения
1 – 2-го классов опасности	{3; 5)	≥ 5
3 – 4-го классов опасности, кроме нефтепродуктов, фенолов, меди, железа общего	[10; 50)	≥ 50
4-го класса опасности – нефтепродукты, фенолы, медь, железо общее	[30; 50)	≥ 50

7. *Коэффициент комплексности загрязненности воды* (К, %)

(РД 52.24.643-2002).

Коэффициент комплексности загрязненности воды $K=(n'/n)*100\%$,

где n' – число нормируемых ингредиентов, превышающих соответствующие им ПДК; n – общее количество нормируемых ингредиентов, определенных в результате анализа (Табл. 23).

8. *Комбинаторный индекс загрязненности воды (КИЗВ), удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ)* – условно оценивают загрязненность воды по комбинациям концентраций загрязняющих веществ (их должно быть не менее 8 групп, при меньшем количестве результат считается ориентировочным).

По их величинам выделяют 5 классов: 1 – условно чистые; 2 – слабо загрязненные; 3 – загрязненные; 4 – грязные; 5 – экстремально грязные.

Расчет этих индексов требует хорошего программного обеспечения компьютера.

Категории воды водных объектов по значениям коэффициентов комплексности загрязненности воды водного объекта (Табл. 23).

Комплексность загрязненности воды водных объектов				Категории воды
К %	Характеристика информации о загрязненности воды	$K_{вз}$ ($K_{экз}$) %	Характеристика высокого (экстремально высокого) уровня загрязненности воды	
(0; 10]	По единичным ингредиентам и показателям качества воды	(0; 5]	Высокий (экстремально высокий) уровень загрязненности по единичным ингредиентам и показателям качества воды	I
(10; 40]	По некоторым ингредиентам и показателям качества воды	(5; 20]	Высокий (экстремально высокий) уровень загрязненности по некоторым ингредиентам и показателям качества воды	II
(40; 100]	По комплексу ингредиентов и показателям качества	(20; 100]	Высокий (экстремально высокий) уровень загрязненности по комплексу ингредиентов и показателям качества воды	III

Ограничения химического элементного анализа

- Элементный химический состав вод не учитывает эффекта комбинированного совокупного действия двух и более элементов (синергизм, антагонизм, аддитивность, сенсбилизация).
- Список регистрируемых химических ингредиентов невелик по причине сложности и дороговизны анализов, ограничений в сложном приборном оснащении лабораторий, малых концентраций высокоопасных веществ и т. д.

1.7.3. Биотестирование вод

Биотестирование даёт интегральную характеристику качества воды, учитывает воздействие всего комплекса загрязнений и внешних факторов.

Природные сообщества водных экосистем аккумулируют всю информацию, поступающую в разное время в водную среду.

Изменения биологических характеристик, в русле эволюционно закреплённого «коридора» их варьирования, дают достаточно объективную информацию о состоянии водных экосистем.

Биотестирование вод – оценка качества вод по ответным реакциям водных организмов, являющихся тест-объектами, в стандартных условиях (ГОСТ 27065-86); определение токсичности водной среды по биологическим объектам или процессам в стандартных условиях. Основные вопросы биотестирования соответствуют положениям водной токсикологии.

Водная токсикология – наука о токсичности водной среды, любого происхождения, для гидробионтов на всех уровнях организации живого (взаимоотношения гидробионтов с токсическими веществами).

Предмет исследования водной токсикологии: реагирование организма, популяции, биоценоза на токсичность среды.

Фундаментальные задачи соответствуют задачам др. направлений токсикологии (медицинской, военной, сельскохозяйственной и т.п.):

1. Определение понятий: *нормы и патологии*;
2. Изучение *закономерностей* токсического действия водной среды или её отдельных компонентов на гидробионтов;
3. Установление связи между строением вещества и его биологическим эффектом;
4. Определение форм адаптации организма к токсическим воздействиям.

Прикладные задачи:

1. Выбор тест-объектов, тест-функций, методик биотестирования;
2. Разработка нормативных показателей: предельно-допустимая концентрация (ПДК), нормативно-допустимый сброс (НДС), предельно-допустимый выброс (ПДВ) и др.

Цель биотестирования - показать наличие в воде биологически опасных химических агентов или их комплекса и оценить степень этой опасности для живых организмов

Задачи биотестирования:

- *первоочередная* - давать оперативный сигнал о наличии в воде биологически опасных веществ и для последующего проведения специальных химических анализов и установления источников токсичности.
- *отдаленная* - оценка потенциальных последствий длительного влияния токсических загрязнений на жизнедеятельность водных организмов и стабильность водных экосистем.

Служба биотестирования призвана осуществлять:

I. Производственный контроль вредности (токсичности) сточных вод до и после очистки, поступающих в водоем: определение уровня разбавления, эффективности работы очистных сооружений, соблюдение норм допустимых сбросов, объективная оценка ПДК.

II. Биологическую характеристику качества природных вод. На основе реакций тест-объектов быстро выполнять обследования степени загрязнения водной среды, выявлять районы и источники загрязнения токсическими или др. веществами. Давать заключения о пригодности водоемов для конкретных целей. Биологически обосновывать ПДК, НДС сточных вод.

III. Экологическую экспертизу различных веществ и препаратов, поступающих в водоемы, в т.ч. сравнительные испытания токсичности и выбор наиболее безопасных в экологическом плане веществ.

Тест-объекты - это организмы, используемые при биотестировании и культивируемые в стандартных условиях (Табл. 24).

Требования, которым должен удовлетворять тест-объект:

1. Легкое культивирование, возможность получать одновозрастные когорты;
2. Давать наглядные, четко регистрируемые тест-параметры;
3. Получаемая информация должна выражаться количественно.

Тест-объекты, используемые в биотестировании (Табл. 24).

Группа	Род, вид форма
Микроорганизмы: бактерии, грибы	Bacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Escherichia coli, Salmonella, Asotobacter актиномицеты - Aspergillus, Torula, Saccharomyces
Водоросли: Зеленые, синезеленые, диатомовые, эвгленовые, харовые	Chlorella. Scenedesmus, Chlamidomonas Microcystis, Anacystis, Anabaena Navicula, Nitzschia, Phaeodactylus Euglena gracilis, Nitella
Высшие растения	Elodea canadensis, Lemna minor

Группа	Род, вид форма
Простейшие	Paramecium caudatum, Tintinnopsis, Noctiluca, Euplotes, Stylonichia, Codonella, Cristigers, Tetrachimena pyriformis
Ракообразные	Daphnia magna, D.pulex, D.longispina, Cyclops, Artemia, Eurytemora, Gammarus lacustris, Asellus aquaticus, Ceriodaphnia affinis
Моллюски	Limnea palustris, L. stagnalis
Насекомые	поденки - р. Cloeon; жуки - Dytiscus, Hydrophilus; клопы - Corixa, Nepa, Gerris; двукрылые - р. Chironomus
Рыбы	гуппи - Poecilia reticulata, гамбузия - Gambusia, Brachydanio rerio
Прочие тест-объекты, используемые сравнительно редко	пиявки - Herpobdella, Hirudo medicinalis рачок - Epischura baicalensis. гидра - Hydra attenuata, коловратки - Brachionus, Keratella, Synchaeta, Notholca, олигохеты - Tubifex tubifex, моллюски - Planorbis

Токсические эффекты, регистрируемые методами биотестирования, включают комплексное (аддитивность, синергизм, антагонизм, сенсбилизация) воздействие химических, физических и биологических компонентов, присутствующих в исследуемой воде, неблагоприятно влияющие на физиологические, биохимические и генетические функции тест-организмов.

Показатель токсичности (тест-параметр, тест-функция) – биологический показатель (смертность, выживаемость, хемореакции, поведение, плодовитость, плотность и др.), на основании которого делаются выводы о вредном действии вещества на жизненные процессы водного организма.

Критерий токсичности - пороговая величина тест-параметра, устанавливаемая соответствующей методикой, достоверное количественное изменение тест-параметра, на основе которого делается вывод о токсичности исследуемых вод (например, гибель 50% опытных животных).

За критерий токсичности принимается достоверное количественное значение тест-параметра, на основе которого делается вывод о токсичности сточной воды или вещества. Среди тест-параметров наиболее часто используются смертность, выживаемость, плодовитость, подавление ферментативной активности тест-организмов (Табл. 25).

Тест-реакция - это изменение какого-либо морфологического, биохимического, поведенческого или функционального показателя у тест-объекта под воздействием токсикантов и их смесей.

У тест-объектов регистрируются токсические эффекты, как соответствующие определённому уровню токсичности вод.

Токсичность вод – способность воды вызывать нарушения жизнедеятельности водных организмов за счёт присутствия в ней вредных веществ.

Различают *острую токсичность* – краткосрочное воздействие агента (до 96 час), при котором компенсаторная и адаптационная реакции организма не успевают проявиться.

Хроническая токсичность – токсические эффекты проявляются при длительном воздействии токсикантов на ряде поколений тест-объектов, регистрируется уровень разрушения генома, прекращение воспроизводства, регистрируется эффект генотоксичности.

В биотестировании вод используют два показателя:

- *концентрация* - С %, мг/л;
- *степень разбавления* - Р, раз.

Если искомые величины показателей обозначить через X, тогда $P = \frac{100 - x}{x}$

для получения С= 25%, (X = 25) получим разбавление P =(100-25)/25=3 раза, т.е на 1 часть тестируемой воды следует взять 3 части разбавляющей воды.

Различают обозначения: летальная концентрация – LC, летальное разбавление – LP.

стоцентная гибель - LC₁₀₀, LP₁₀₀

гибель 50% тест-объекта - LC₅₀, LP₅₀

Острый опыт - краткосрочная процедура, определяющая острую токсичность.

Хронический опыт - долговременная процедура биотестирования (с установлением в каждой методике времени экспозиции, которое составляет не менее 1/10 продолжительности жизни тест-объекта), определяющая хроническую токсичность исследуемой воды.

Методики биотестирования основаны на чётком определении таких характеристик как *показатель токсичности, критерий токсичности, стандартные условия культивирования тест-объектов, ход эксперимента* (Табл. 26).

Перечень методов биотестирования, рекомендуемых для первоочередного применения в контроле сточных вод и перспективных для оценки уровня токсического загрязнения природных вод (Табл. 25).

Название метода, основанного на регистрации параметров	Регистрация тест-функции
Выживаемость и плодовитость рачка <i>Daphnia magna</i> , <i>Ceriodaphnia affinis</i>	Визуальные наблюдения невооруженным глазом
Смена статичного состояния медицинской пиявки на динамическое	Визуальные наблюдения
Двигательная активность, выживаемость и темп роста инфузорий	Микроскопирование, Биотестер
Иммобилизация клеток водоросли <i>дуналиелла</i> <i>салина</i>	Микроскопирование
Реакция биолюминесценции светящихся бактерий	Люминометр
Уровень общей и замедленной флуоресценции водорослей	Флуориметр, Фитотоксиметр
Биоэлектрическая реакция харовых водорослей <i>нителла</i>	Устройство для измерения электропроводности мембраны клеток
Реакция закрывания створок раковины двустворчатых моллюсков **	Биосигнализатор токсичности
Активность окислительных ферментов микроорганизмов активного ила	Фотоэлектрокалориметр
Ростовая реакция бактерий	Фотоэлектрокалориметр
Выживаемость и реакция регенерации у гидры	Микроскопирование, визуальные наблюдения
Выживаемость и изменение фототаксиса коловраток	Микроскопирование, визуальные наблюдения
Реакция ухода рыб из токсической зоны	Биосигнализатор токсичности
Частота дыхания и сердцебиение рыб	Электрокардиограф, электроэнцефалограф
Выживаемость рыб гуппи, данио	Визуальные наблюдения
**применяется на ДВ Алексеевском гидроузле	

Основные характеристики методов биотестирования, рекомендуемых для использования в целях контроля качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения (Табл. 26).

Тест-объект	Тест-реакция	Способ измерения тест-реакции	Норматив (индекс токсичности)
1.Клеточный тест-объект (гранулированная сперма быка)	Изменение показателей подвижности тест-объекта	Подсчет числа флуктуаций интенсивности рассеянного излучения, вызванного прохождением тест-объекта через оптический зонд, с использованием автоматической контрольной системы	Допустимые значения индекса токсичности I_t (отношение определяемых значений, характеризующих подвижность тест-объекта в опытном и контрольном растворах): $I_t=(70-130\%)$
2.Инфузории парамеции	Реакция хемотаксиса число инфузорий, направленно перемещающихся в зоне анализа	Измерение приборами серии «Биотестер» (например, «Биотестер-2»), обеспечивающими регистрацию тест-реакций с выдачей данных в условных единицах токсичности	Допустимые значения индекса токсичности T (допустимая степень загрязнения): $T(0-0,25)$. Высокая степень загрязнения; $T>0.71$
3.Инфузории	Изменение выживаемости и интенсивности размножения	Визуальная оценка (подсчет) под микроскопом количества тест-объектов через определенные промежутки времени (15 мин, 1 час. 6 час. 24 часа, 48 часов).	Острое токсическое действие - гибель 100% инфузорий в течение 6 часов. Хроническое токсическое действие при коэффициенте токсичности K (снижение числа тест-объектов по сравнению с контролем за 48 часов). $K<0,5$ и $K>1$

4. Штамм бактерий E-колли	Изменение уровня дегидрогеназной активности микроорганизмов (подавление активности фермента)	Определение времени обесцвечивания метиленового-синего, как косвенного показателя активности фермента дегидрогеназы	Признак отсутствия токсичности - отклонение времени обесцвечивания от контрольной пробы меньше, чем на 15%
5. Ракообразные (дафнии, цериодафнии)	Изменение показателей выживаемости и плодовитости	Визуальная оценка (подсчет) количества тест-объектов через определенные промежутки времени в сопоставлении с контрольными пробами	Острое токсическое действие - гибель более 50% ракообразных за 96 часов. Хроническое токсическое действие - достоверное снижение по сравнению с контролем тест-объектов в течение 20 суток
6. Водоросли (сценедесмус, хлорелла)	Снижение интенсивности размножения (прироста клеток водорослей)	Визуальная оценка (подсчет) прироста числа клеток в сопоставлении с контрольным опытом	Показатель токсического действия - достоверное снижение коэффициента прироста числа клеток по сравнению с контролем через 96 часов (острое токсическое действие) и через 14 суток (хроническое токсическое действие)
7. Рыбы (гуппи, данио)	Снижение выживаемости	Визуальная оценка (подсчет) среднего количества тест-объектов, выживших в тестируемой воде в сопоставлении с	Острое токсическое действие - гибель 50% и более рыб за 96 часов. Хроническое токсическое действие -

		контрольным опытом	достоверное снижение выживаемости рыб за 30 суток по сравнению с контрольным опытом
8. Светящиеся бактерии Photobacterium phosphoreum	Изменение интенсивности люминесценции бактерий	Измерение прибором серии «Биолюминометр»	Допустимые величины уровней биолюминесценции

Биотестирование используется:

1) При разработке и корректировке нормативов ПДС вредных веществ, когда кратность разбавления тестируемых вод выше величины разбавления (n) по ТЭО – $n_T > n$;

2) По оценке платы за сбросы токсичных загрязняющих веществ, разработанной в ходе российского экономического эксперимента (1995, №533; 1998, №216) (Табл. 27). Сумма платы с учётом токсичности вод определяется путём умножения повышающего коэффициента (K_T) на общую сумму платы за сброс загрязняющих веществ ($P_{\text{вод}}$);

$$P_{\text{вод}} = P_{\text{ПДС}} + P_{\text{лим}} + P_{\text{сл}}$$

$$P_{\text{ТВОД}} = K_T * P_{\text{вод}}$$

Значения повышающего коэффициента (K_T) и показателя токсичности вод, установленные приказом Минприроды России № 533 от 27.12.95 г.

(Табл. 27).

Категория возвратных вод	Разбавление возвратных вод, раз	Повышающий коэффициент, K_T
Нетоксичная	0	1,0
Малотоксичная	1 – 16	1,3
Среднетоксичная	17 – 50	1,5
Высокотоксичная	51 – 99	1,8
Гипертоксичная	100 и более	2,0

3) При определении класса опасности отходов (приказ МПР РФ от 15.06.2001 №511) (Табл.29-30).

I этап – класс опасности устанавливается по химическим ингредиентам;

II этап – заключительная оценка по результатам биотестирования вод в острых и хронических экспериментах с использованием не менее двух тест-объектов.

Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды (Утверждены Приказом МПР России от 15 июня 2001 г. №511) (Табл. 29).

№ п/п	Степень вредного воздействия опасных отходов на ОПС	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для ОПС	Класс опасности отхода для ОПС
1.	Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует	I класс – чрезвычайно опасные
2.	Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	II класс – высокоопасные
3.	Средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника	III класс – умеренно-опасные
4.	Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3-х лет	IV класс – малоопасные
5.	Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена	V класс – практически неопасные

Классы опасности отходов (Утверждены Приказом МПР России от 15 июня 2001 г. №511) (Табл. 30).

Класс опасности отхода	Кратность разведения водной вытяжки из опасного отхода, при которой вредное воздействие на гидробионтов отсутствует
I	>10000
II	От 10000 до 1001
III	От 1000 до 101
IV	От 1 до 100
V	1

Отнесение отходов к классу опасности для ОПС может осуществляться расчетным или экспериментальным методами (пункт 3 Приказа №511 от 15.06.2001г.):

Расчетный метод включает анализ химического состава анализируемого раствора.

Экспериментальный метод включает оценку токсичности стандартными методами биотестирования.

Биотестирование проводится минимум на двух биотестах, занимающих разные трофические уровни. Тестируется вода в остром эксперименте – устанавливается класс опасности (Табл. 31).

Если оценки по расчетному методу менее жесткие, чем по экспериментальному, то есть если установлен 5 класс, то за итоговую величину принимается класс по экспериментальному анализу.

По итоговому классу опасности рассчитываются платежи, размеры которых соответствуют региональному принципу.

В системе *Роспотребнадзора* биотестирование вод проводится согласно *Санитарным правилам СП 2.1.7.1386-03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления»* (Минздрав России, Москва, 2003г.).

С помощью биотестирования определяют вредное воздействие отходов на человека по 4 классам (Роспотребнадзор). Напомним, в Ростехнадзоре - 5 классов опасности (Приказ №511 от 15.06.2001г.).

Оценки по степени воздействия на человека и окружающую среду (СП 2.1.7.1386-03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления») (Табл. 31).

Класс опасности	Характеристика отходов
1 класс	Чрезвычайно опасные
2 класс	Высоко опасные
3 класс	Умеренно опасные
4 класс	Мало опасные

Если установлен 4 класс опасности в анализируемом растворе, но в вытяжке из отхода присутствуют органические или биогенные вещества, проводится тест на устойчивость к биодegradации.

Устойчивость к биодegradации (УБД) – это способность растворов или вытяжек подвергаться разложению под воздействием микроорганизмов.

Биотестирование используется (продолжение):

- 4) При разработке экологических паспортов промышленных предприятий (ГОСТ 17.0.0.04-90);
- 5) При экологических экспертизах и т.д.

1.7.4. Биологическая индикация.

Биологическая индикация – определение качества воды и состояния водных экосистем по структурным и функциональным характеристикам природных сообществ (ГОСТ 27065-86).

В основу биоиндикации заложен сапробный анализ вод.

Сапробность воды – экологическая ситуация водоема, зависящая от количества и активности разложения гниющего органического вещества и выражающаяся в определенной структуре сапробных организмов.

Сапробность организма – комплекс физиологических свойств, обуславливающий способность развиваться в воде с тем или иным содержанием органических веществ.

Сапробность как определенная стадия самоочищения вод включена в круговую схему категорий вод.

Различают 5 зон сапробностей, стадий самоочищения вод, различающихся как по качественным характеристикам, так и по количественному дескриптору – индексу сапробности.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * N_i}{\sum N_i}, \text{ балл, где } S_i - \text{ сапробность } i\text{-го вида; } N_i - \text{ численность } i\text{-го вида}$$

При определении показателей качества воды по природным сообществам (бактерии-, фито-, зоопланктон, зообентос, перифитон) класс качества воды оценивают по табл. 32).

В рамках оценки качества воды по структуре донных сообществ широкое распространение получил биотический индекс Вудивисса, включенный в России в государственную систему экологического контроля (ГОСТ 17.1.3.07-82).

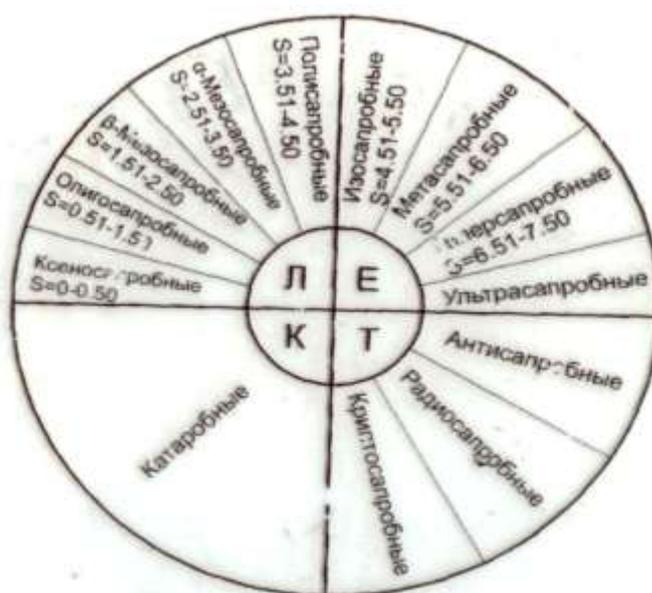


Рис. 66. Круговая схема категорий вод по Сладечку.

Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям.
ГОСТ 17.1.3.07 – 82 (Табл. 32)

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Микробиологические показатели		
		По фито-планктону, зоопланктону, перифитону	По зообентосу		Общее количество бактерий, 10^6 кл/см ³ (кл/мл)	Количество сапрофитных бактерий, 10^3 кл/см ³ (кл/мл)	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий
			Индекс сапробности по Пантле и Букку (в модификации Сладчека)	Отношение общей числ-ти олигохет к общей численности донных организмов, %			
I	Очень чистые	Менее 1,00	1 – 20	10	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 10^3
II	Чистые	1,00 – 1,50	21 – 35	7 - 9	0,5 - 1	0,5 – 5,0	Более 10^3
III	Умеренно загрязненные	1,51 – 2,50	36 – 50	5 - 6	1,1 – 3,0	5,1 – 10,0	10^3 - 10^2
IV	Загрязненные	2,51 – 3,50	51 – 65	4	3,1 – 5,0	10,1 – 50,0	Менее 10^2
V	Грязные	3,51 – 4,00	66 – 85	2 - 3	5,1 – 10,0	50,1 – 100,0	Менее 10^2
VI	Очень грязные	Более 4,00	86 – 100 или макро-бентос отсутствует	0 - 1	Более 10,0	Более 100	Менее 10^2

Примечание. Допускается оценивать класс качества воды и как промежуточный между вторым и третьим (II-III), третьим и четвертым (III-IV), четвертым и пятым (IV-V).

Система биотического индекса имеет хорошее теоретическое обоснование: по мере усиления загрязнения вод сокращается видовое разнообразие, развитие получают виды, устойчивые к загрязнению, структура сообщества упрощается.

Биотический индекс (BJ) рассчитывается как средняя арифметическая величина из частных индексов индикаторных групп:

$$BJ = \frac{\sum_{i=1}^n BJ_i}{n}, \text{ балл}$$

где n – число индикаторных групп по анализируемой градации присутствующих групп; BJ_i – частный биотический индекс индикаторной группы.

Биотический индекс варьирует в пределах 1 – 10 баллов, величина индекса снижается по мере усиления загрязнения воды.

По рекомендации специалистов Волжского бассейна (Пшеницин В.Н., 1986г.), вод Кольского севера (Яковлев В.А., 1988г.), бассейна р. Енисей (Гольд З.Г., 1980, 2008г.) и других, индекс желательно модифицировать на региональной основе (Табл. 33).

Схема оценки качества вод бассейна Енисея по биотическому индексу Вудивисса (BJ_i) (Табл. 33).

Индикаторные группы - организмы		Общее число присутствующих групп			
		2 - 5	6 - 10	11 – 15	>16
		Частный биотический индекс, BJ_i , балл			
Загрязнение увеличивается ↓	Присутствуют организмы:				
	отр. Ephemeroptera (поденки)	7	8	9	10
	отр. Plecoptera (веснянки)	7	8	9	10
	отр. Trichoptera (ручейники)	6	7	8	9
	отр. Coleoptera (жуки)	6	7	8	9
	сем. Gammaridae (ракообразные)	5	6	7	8
	р. Stylaria (олигохеты)	5	6	7	8
	р. Psectrocladius (хинономиды)	4	5	6	7
	р. Tanytarsus (хинономиды)	4	5	6	7
	р. Cryptochironomus (хинономиды)	3	4	5	6
	р. Stictochironomus (хинономиды)	3	4	5	6
	р. Nais, р. Uncinais (олигохеты)	3	4	5	6
	р. Procladius (хинономиды)	2	3	4	5
	р. Polypedilum (хинономиды)	2	3	3	4
	кл. Nematoda (нематоды)	2	3	3	4
	р. Limnodrilus (олигохеты)	1	2	3	3
р. Tubifex (олигохеты)	1	2	3	3	
р. Chironomus (хинономиды)	1	2	3	3	

Широкое распространение получили разработки Росгидромета по внедрению мониторинговой информации по структуре водных сообществ (РД 52.24.564.565-96), по экологическим модификациям (РД 52.24.633-202):

1. Рассчитывается мода ($M_{оч}$) по численности фитопланктона, позволяющая определит эффект антропогенного воздействия.
2. Формируются веера векторов.
3. Проводится классификация уровней антропогенного эвтрофирования (Табл. 34).

Классификация уровней антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем (РД 52.24.564-96, Никаноров, Брызгалов, 2006) (Табл. 34).

Статистические характеристики развития фитопланктонного сообщества	Уровень эвтрофирования		
	Низкий	Средний	Высокий
Мода модального интервала общей численности $M_{оч}$, тыс. кл/мл	2,0 – 10	2,0 – 20	1,0 – 10
Частота обнаружения высоких значений общей численности, α_1 , %	10 – 40	10 – 40	20 – 50
Частота обнаружения низких значений общей численности α_2 , %	5 – 50	50 – 200	5 – 50
Кратность превышения anomalно высоких значений общей численности β	20 – 30	10 – 20	10 – 300
Мода модального интервала общего числа видов $M_{ов}$	30 – 50	50 – 100	10 – 25
Мода модального интервала относительной численности доминирующего вида $M_{од}$, %	до 5	30 – 50	20 – 70
Мода модального интервала относительной численности группы сине-зеленых $M_{ос-3}$			40 -60

Связующим звеном сапробных и токсобных состояний водных экосистем является сапротоксобный анализ. Дескриптором качества воды является индекс

сапротоксобности:
$$S_T = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Ti} N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}, \text{ балл}$$

где S_T - индекс сапротоксобности по сообществу;

S_{Ti} - индивидуальная сапротоксобность i -го вида;

N_i - численность i -го вида.

Для бассейна Енисея разработаны S_{Ti} более чем у 150 донных и перифитонных видов гидробионтов (данные опубликованы в монографии Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / под ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой; отв. за вып. З.Г. Гольд.- Красноярск: СФУ, 2008).

Итоговое заключение о качестве воды по химическим и биологическим дескрипторам предложено давать по «Унифицированному классификатору качества воды», разработанному на региональной основе применительно к Красноярскому водохранилищу и некоторым водотокам бассейна Енисей (Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Шулепина С.П. и др., 2001, 2003, 2008) (Табл. 35).

Унифицированный классификатор качества воды по гидрохимическим и биологическим показателям на примере водной системы руч. Черемушный-Енисей (Табл. 35).

Класс качества	Степень загрязнения	S, балл	ИЗВ, балл	Общее кол-во бактерий, 10 ⁶ кл/мл	P, %	УББР. раз	Токсичность вод	Зона сапротоксикозности, S _T	S _T , балл
I	Очень чистые	<1,0	<0,2	<0,5	<10	-	Нетоксичные	-	-
II	Чистые	1,0 – 1,5	0,2 -1,0	0,5 – 1,5	10 – 20	-	Нетоксичные	0 - S _T	<0,5
III	Умеренно загрязненные	1,51 – 2,5	1,1 – 2,0	1,6 – 2,5	21 – 40	<10	Малотоксичные	β-mS _T	0,5 – 2,0
IV	Загрязненные	2,51 – 3,5	2,1 – 4,0	2,6 – 4,5	41 – 60	10 – 50	Среднетоксичные	α-mS _T	2,1 – 3,0
V	Грязные	3,51 – 4,0	4,1 – 6,0	4,6 – 6,0	61 -80	51 – 99	Высокотоксичные	p-S _T	3,1 – 4,0
VI	Очень грязные	>4,0	>6,0	>6,0	>80	≥100	Гипертоксичные	h-S _T	>4

1.7.5. Стандартные методики оценки качества воды по биологическим показателям.

1. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.1.4.1074 -01);

2. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления: почва, очистка населённых мест, отходы производства и потребления. СП 2.1.7.1386-03 (Минздрав России. – М., 2003);

3. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. МУ РД 52.24.643-2002 (Росгидромет, 2002);
4. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. РД 52.24.661-2004. (Росгидромет, 2006);
5. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования. МУ РД 52.24.635-2002 (Росгидромет, 2002);
6. Унифицированные методы биотестирования для обнаружения токсических загрязнений поверхностных вод суши с использованием микрозоопланктона. РД 52.24.669-2005 (Росгидромет, 2005);
7. Определение токсичности воды биолюминесцентным методом: Свидетельство об аттестации исследовательской методики №224.01.13.194/2002 (Красноярск, 2002);
8. Методика определения токсичности воды по хемотоксической реакции инфузорий: Токсикологические методики. Методика допущена для целей государственного экологического контроля. ПНД ФТ 14.1:2:3:4,2- 98 (М., 1998);
9. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04; 16.1:2:3.7 -04 (М., 2007);
10. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. ФР 1.39.2007.03223, ПНД ФТ 14.1.2.3.4.9-2002 (М.: «Акварос», 2007);
11. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний и дафний. ФР.1.39.2007.03221 (М.: «Акварос», 2007);
12. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем. РД 52.24.633-2002 (Росгидромет, 2002);
13. Организация функционирования систем мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем. РД 52.24.620 -2000 (Росгидромет, 2000);
14. Биологические методы оценки загрязнённости пресноводных экосистем. Вып 1. РД 52.24.564 -96 (фитопланктон), РД 52.24.565 -96 (зоопланктон). Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (М., 1999);

15. Методика измерений интенсивности биолюминесценции с использованием реагента «Энзимоллюм» для определения токсичности проб питьевых, природных, сточных и очищенных сточных вод: для научно-исследовательских работ. Свидетельство об аттестации методики измерений №224.0137/01.00258/2010 (Разработчик - Красноярск: СФУ, кафедра биофизики, 2010);

16. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязнённых веществ и буровых растворов / Отв. исп. В.Н.Кузьмич, С.А. Соколова, А.Н. Крайнюкова.– М.: РЭФИ, НИА – Природа, 2002;

17. Методическое руководство по биотестированию воды: РД 118 – 02- 90 (Москва,1990);

18. Методические рекомендации по применению методов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения: МР № ЦОС ПВ Р 005 -95 (М., 1995);

19. Справочные материалы. Гусев Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды (М.: Эколайн, 2000);

20. Методика определения токсичности воды по хемотоксической реакции инфузорий: Токсикологические методики. Методика допущена для целей государственного экологического контроля. ПНД ФТ 14.1:2:3:4,2-98 (М., 1998);

21. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04; 16.1:2:3.7-04 (М., 2007);

22. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. ФР 1.39.2007.03223 (М.: «Акварос», 2007);

23. Методика определения токсичности вод, почв и донных отложений по ферментативной активности бактерий (колориметрическая реакция). ПНД ФТ 14.1:2:3:4.1-96, ФТ 16.2:2:2.1-96;

24. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». ПНД ФТ 16.2:2.2-98 (издание 2010);

25. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». ПНД ФТ 14.1:2:3:4.2-98 (издание 2010);

26. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «эколюм». ПНД ФТ 14.1:2:3:4.11-04, ФТ 16.1:2:3:3.8-04;

27. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus). ПНД ФТ 14.1:2:4.12-06, ФТ 16.1:2:3:3.9-06 (издание 2011);

28. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg. ПНД ФТ 14.1:2:3.13-06, ФТ 16.1:2:3:3.10-06 (издание 2011);

29. Методика определения токсичности высокоминерализованных поверхностных и сточных вод, почв и отходов по выживаемости солоноватоводных рачков *Artemia salina* L. ПНД ФТ 14.1:2.14-06, ФТ 16.1:3.11-06;

30. Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парameций и цериодафний. ПНД ФТ 16.3.12-07;

31. Методика выполнения измерений индекса токсичности почв, почвогрунтов, вод и отходов по изменению подвижности половых клеток млекопитающих *in vitro*. ПНД ФТ 14.1:2:4.15-09, ФТ 16.1:2:2.3:3.13-09;

32. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению относительного показателя замедленной флуоресценции культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). ПНД ФТ 14.1:2:4.16-09, ФТ 16.1:2:3:3.14-09 (издание 2012);

33. Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». ПНД ФТ 16.3.16-10;

34. Методика выполнения измерений интенсивности потребления тест-субстратов микробными сообществами почв и почвоподобных объектов фотометрическим методом. ПНД ФТ 16.1.17-10;

35. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли сценодесмус для определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления фотометрическим методом. ПНД ФТ 14.1:2:4.17-2011, ФТ 16.1:2:3:3.18-2011;

36. Методика измерений количества рачков цериодафний визуальным методом для определения острой токсичности питьевых, пресных природных и

сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. ПНД ФТ 14.1:2:4.18-2011, ФТ 16.1:2.3:3.19-2011;

37. Методические рекомендации по применению методов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения: МР №ЦОС ПВ Р 005-95 (М., 1995).



Рис. 67. Красноярское водохранилище.

Для принятия природоохранных решений в случае получения несовпадающих оценок по классам качества вод сохраняет действие правило: итоговое заключение делается по тому параметру (химическому или биологическому), который выявляет максимальное воздействие на окружающую среду.

Самостоятельная подготовка

Дополнительно см. литературу №4, 15, 18, 22, 23, 28, 38.

2. Аспекты практической части дисциплины

Раздел 2.1. Научно-практические направления. Биоконверсия

В рамках описания принципов подразделения гидробиологии как комплексной науки выделяются следующие научно-практические направления.

Продукционная (рыбохозяйственная) гидробиология – разрабатывает проблему повышения продуктивности водных экосистем, интенсификации выхода их полезной биопродукции, разрабатывает методы управления биологическими процессами и их прогнозирования.

Санитарная гидробиология – изучает биоценотические взаимоотношения в условиях загрязнённых и чистых водоёмов и водотоков с целью установления закономерностей формирования и подходов в оценках качества воды, санитарно-гигиенического и промышленного использования процессов самоочищения вод.

Сельскохозяйственная гидробиология – изучает процессы повышения продуктивности водных угодий, используемых в сельском хозяйстве, разрабатывает методы включения гидробионтов в севообороты и сельскохозяйственное производство.

Техническая гидробиология - изучает процессы разрушающего действия гидробионтов на гидротехнические, портовые сооружения и корабли (биологическая коррозия, древоточцы, камнеточцы, биообрастания и т.п.), разрабатывает пути снижения их негативного воздействия.

Навигационная гидробиология – изучает эколого-биологические процессы, биологические объекты (кораллы, крупные водоросли, светящиеся организмы и др.), затрудняющие судовождение, искажающие работу акустических и оптических приборов.

Космическая гидробиология – продукционные процессы в замкнутых экосистемах, исследует жизнь гидробионтов в условиях невесомости, возможность обеспечения космонавтов кислородом и пищей за счёт культивирования автотрофов в биологических реакторах.

Биоконверсия – это использование солнечной энергии биологическим методом для получения *возобновляемых источников энергии*.

Предпосылки:

- Высокий процент утилизации света водорослями = 2%, сахарного тростника = 1,2%, каучуконосцев = 0,2%
- Водоросли содержат все незаменимые аминокислоты;
- Характеризуются высокой пищевой ценностью $\approx 51\%$. Она *выше* белков пшеничной муки, гороха; *ниже* белков молока, мяса.

- Набор витаминов более разнообразен, чем у свеклы, моркови, *уступает луку, редису.*

В мире разработана технология культивирования более 30 видов водорослей.

Наиболее широко практикуется искусственное культивирование следующих водорослей:

- Тип зеленые водоросли: энтероморфа, ульва, кладофора, хлорелла, сценедесмус, дуналиелла;
- Тип синезеленые водоросли: анабена, спирулина;
- Тип бурые водоросли: ламинария (морская капуста), ундария, фукус;
- Тип красные водоросли: порфира, анфельция, филлофора, гелидиум

Раздел 2.2. Эколого-биологическая характеристика биоты водных экосистем

2.2.1. Фитопланктон. Прибрежные водные растения

Структурно-функциональная организация фитопланктона. Классификации по типу водного объекта, размерам. Биологическая характеристика доминирующих видов. Распределение по вертикали. Адаптации к обитанию в пелагиали. Парадокс планктона. Участие фитопланктона в самоочищении вод и оценках качества воды. Методы отбора проб фитопланктона на водном объекте.

См. литературу: 13 (т.4), 14, 18, 21, 26, 38, 39, 43, 44, 48.

Эколого-биологическая характеристика прибрежно-водной растительности (пвр). Видовое разнообразие. Классификации. Ограничение численности пвр. Роль пвр в самоочищении водоемов. Оценка степени загрязнения по показательным организмам пвр. Культивирование и восстановление пвр. Хозяйственное использование пвр. Методы исследования пвр.

См. литературу: 13 (т.4), 14, 21, 33, 38, 45.

Структурно-функциональная организация прибрежной водной растительности.

В начале XIV века датским ботаником-географом И. Скоу (1823 г.) впервые был использован термин «*гидрофиты*» для обозначения растений, произрастающих в водной среде.

В настоящее время отсутствует единая классификация прибрежно-водной растительности.

Наибольшее распространение и признание получила *классификация В.М. Катанской (1981 г.)*: все водные растения по своим морфологическим и эколого-биологическим особенностям объединены в следующие экологические группы:

1. *Гидрофиты – настоящие водные растения*

1.1. *Погруженные гидрофиты:*

– погруженные в воду растения, весь цикл развития которых проходит в воде;
– погруженные укореняющиеся, неукореняющиеся, плавающие в толще воды (виды роголистника, рдесты, элодея).

1.2. Плавающие на поверхности воды растения – *гидрофиты плавающие:*

– свободно плавающие, неукореняющиеся (ряска, сальвиния и др.);
– с плавающими листьями, укореняющиеся (кувшинка, кубышка, рдест, гречиха земноводная).

2. *Гелофиты (гиро-гигрофиты) – водно-болотные растения*

2.1. Надводные растения с безлистным или почти безлистным стеблем: хвощ, камыш озерный, болотница болотная;

2.2. Крупнолистные и широколистные надводные растения: частуха, стрелолист;

2.3. Узколистные надводные травы с лентовидными или с линейно-ланцетовидными листьями: рогозы, ежеголовники, сусак, осоки, злаки (тростник, манник);

2.4. Приземистые растения: это маленькие растения, большинство из них стелятся по поверхности субстрата на берегах или в воде, едва приподнимаясь над субстратом: болотница игольчатая, лютик стелющийся;

2.5. Гигрофиты, обитающие на увлажненных берегах, на сплавинах, на кочках. Это болотные виды: вех ядовитый, лютик длиннолистный, щавель и др.

Инструменты для сбора и учета водной растительности

1. Качественные пробы:

- водяные грабельки (на глубине не более 4 метров);
- якорьки-кошки (до 3 метров) – длинные зубья чередуются с короткими;
- Драга Раменского, гидробиологическая драга.

2. Количественный учет растительности: подсчет количества стеблей, определение проектного покрытия, взятие укосов.

- рамы (до глубины 2 м зарослечерпатели Липиных, Бернатовича – площадь захвата 1/6 м²);

- аквалангисты, водолазная техника.

Картирование

При составлении картосхемы и планов необходимо нанести границы находящихся под водой и плохо видимых сверху сообществ, погруженных и мелких придонных растений.

Картосхемы распределения растительности можно составлять с лодки, измеряя расстояния и протяженность различных типов растительности. В картосхемах используют условные обозначения.

Для оценки численного обилия особей отдельных видов существует ряд шкал. Чаще всего используется глазомерная шкала Друде. Степень обилия i -го вида обозначается баллами, словами, цифрами. Список растений с отметками видов по Друде называется *квалифицированным списком*.

Объемное обилие растений – степень заполненности толщи воды стеблями и листьями – это отношение суммы объемов пространств, занимаемых данным видом ко всему объему толщи воды, занимаемому сообществом.

Численность (густота, плотность) определяется подсчетом количества растений или их побегов (у корневищных растений) на единицу площади. Подсчет производится на учетных площадках $0,5 \text{ м}^2$.

Густота вида в сообществе определяется измерением расстояний между основаниями отдельных экземпляров одного или различных видов на площадке (метод расстояний, метод промеров).

Площадь покрытия или проективное покрытие – это площадь горизонтальных проекций растений на поверхность грунта (дна).

Истинное покрытие – это площадь дна, занятая основаниями стеблей растений, выражается в %.

Проектное покрытие определяется при помощи квадратной рамки площадью $0,5$ или $1,0 \text{ м}^2$ с натянутой масштабной сеткой через каждые 10 см .

Таксономическое разнообразие прибрежной водной растительности

сем. Umbelliferae - зонтичные

Вех ядовитый (цикута, бешеница водяная, *cicuta virosa*)

Листочки дважды-трижды перистонадрезанные, зубчатые. Верхние листья на коротких черешках, нижние – на длинных.

Рис. 68. Вех ядовитый.



Стебель полый, тонко-бороздчатый, голый. Корневище толстое, округлое, полое, с поперечными перегородками, разделены на камеры, придающие растению прочность. Цветы белые, мелкие, в сложных зонтиках. Плоды шаровидные.

Вех – сильно ядовитое растение. Обитает в озерах, болотах, на мелководье, в прибрежье воды, на плавучих островах.

Сем. Polygonaceae - гречишные

Гречиха – Polygonum (виды – земноводная, войлочная, водяной перец).

Однолетники и многолетники с корневищем, неветвящимся стеблем (20-40 см), часто с красноватыми продольными черточками.

Листья ланцетовидные, полукожистые, с длинными черешками. Четко выделяется центральная и боковые жилки. Соцветие – обычно одиночный, густой, верхушечный, желтоватый, розовый или почти красный колос.

Распространение – берега водоемов, во временно пересыхающих водоемах, у ключей.

Сем. Cyperaceae - осоковые

Камыш озерный - Scirpus lacustris L. (виды – озерный, лесной и др.).

Многолетнее, крупное, высокое растение с ползучим толстым черно-бурым корневищем. Стебли прямые, гладкие, безлистные, зелено-темные с бурыми или красно-бурыми влагалищами. Соцветие расположено на верхушке стебля. Колоски мелкие, продолговато-сердцевидные, заостренные, красновато-бурые.

Растет у берегов до глубины 2 м, в малопроточных водоемах образует очень большие заросли.



Рис. 69. Камыш озерный.

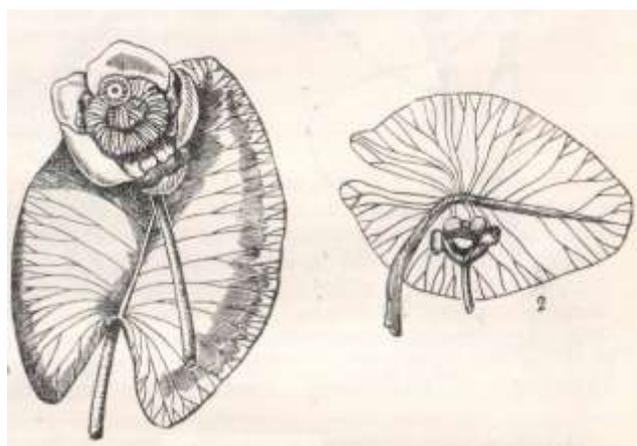


Рис. 70. Кубышка. 1 – желтая; 2 – малая.

Сем. Nymphaeaceae - кувшинковые

Кубышки – р. Nymphaeaceae (виды – желтая, малая).

Многолетние, крупные, с толстым мясистым сильно разветвленным корневищем. Корни толстые, мясистые, длинные.

Листья в прикорневой розетке, подводные и плавающие. Подводные нижние листья многочисленны на коротких черешках, полупрозрачные, тонкие с волнистыми краями. Верхние плавающие листья на длинных, толстых черешках, вверху закругленные, в основании зеленая пластинка – плотная, кожистая.

Цветы на длинных, круглых, толстых цветоносах – крупные, одиночные, темно-желтые с мясистыми долями, невысоко поднимаются над водой.

Плоды зеленые, прямые, гладкие, вверху узкие, книзу расширенные.

Растет в малопроточных водных объектах до глубины 2 м, образует очень большие заросли.



Рис. 71. Лютик.

Сем. Ranunculaceae – лютиковые

Лютик – р. Ranunculus (виды – мягко-жестколистный, малотычинковый, водный).

Листья короче междоузлий, дважды-трижды рассеченные на нитевидные доли. При высыхании водоема легко образуются оригинальные наземные формы.

Цветы желтого и белого цвета, формируются в верхушечном или пазушном кистевидном (зонтичном) соцветии.

Обычны в стоячих и проточных водах.

Сем. Cyperaceae - осоковые

Осоки – р. Carex (виды – бутылчатая, острая, водяная).

Многолетнее растение с ползучим корневищем. Стебли прямые, крепкие, гладкие.

Листья узкие, двуцветные сизо-зеленые, сверху белесые лоснящиеся. Соцветие удлиненное, из 4-6 колосков.

Растут на травяно-осоковых болотах, сырых берегах речек, озер, в канавах до глубины 0,6 м.

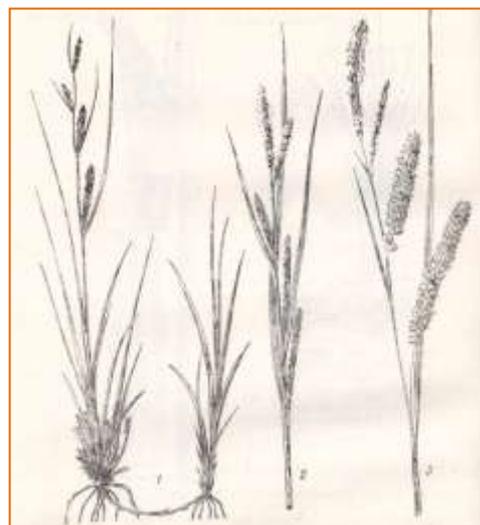


Рис. 72. Осока.



Рис. 73. Пузырчатка обыкновенная.

**Сем. Lentibulariaceae -
пузырчатковые**
Пузырчатка обыкновенная –
Utricularia vulgaris L.

Стебель плавающий. Листья тонкие, очередные, перисто-разделенные. На них сидят маленькие пузырьки (с булабочную головку). У каждого пузырька есть дырочка вроде рта, изнутри закрывается маленькой дверцей, вокруг дырочки длинные волоски, как усы. Цветы крупные, ярко-желтые, неправильные, с красным шпорцем. Корней у пузырчатки нет, оно свободно плавает в воде.

Это сорняк, растение-хищник, уничтожает в большом количестве рачков, моллюсков. Как только рачок или моллюск заденут дверцу пузырька – дверца моментально открывается, пузырек глотательным движением втягивает воду вместе с жертвой, дверца сразу же захлопывается. Жертва постепенно ослабевает от движений-биений, ведь дверцу не открыть, она открывается вовнутрь. Особые железки, что находятся внутри пузырька, выделяют пищеварительный сок, в котором жертва растворяется, всасывается через стенки пузырька, переваривается.

Отмечается в литературе: у небольшой пузырчатки (l=20 см) в пузырьках насчитано 15 000 мелких рачков и парамеций.

Пузырчатка обитает в стоячих, медленно текучих водах, канавах, лужах, болотах.



Рис. 74. Рдест.

Сем. Potamogetonaceae - рдестовые

Рдест – р. Potamogeton (виды: ежеголовколистый, краснеющий, блестящий, плавающий, речной и др.).

Листья черешковые, узко-линейные, цилиндрические, овальные, яйцевидные. Стебли разнообразные – плоские, округло-сплюснутые, цилиндрические, ветвистые.

Корневища ветвистые. Цветы – в колосках с килем на спине носиком, полукруглые.

Распространены повсеместно во всех континентальных водах.



Рис. 75. Рогоз.

Сем. Typhaceae – рогозовые

Рогоз- р. Typha. (виды: широко-, узколистный).

Листья двух форм: 1 – узколистныe – узко-линейные, винтообразно закрученные, верхушки листьев полого заостренные. Мужские и женские части початка разделены промежутками голого цветоноса; 2 – широколистныe – листья широкие, слабо-желобчатые к основанию, верхушки листьев круто-заостренные. Женская часть початка толсто-цилиндрическая, промежуточного голого цветоноса нет.

Распространен повсеместно вдоль берегов, на островах, в канавах, в илистых и торфяных болотах.

Сем. Ceratophyllaceae - роголистниковые

Роголистник – р. Ceratophyllum (виды – темно-зеленый, светло-зеленый, крылатый).

Листья мутовчатые, вильчатораздельные на доли листа, зубчатые. Они более или менее жесткие. Плоды с шипами.

Роголистники не имеют корней. Органами прикреплено к илу, для поглощения питательных веществ служат веточки растений. В середине лета все растения становятся свободно плавающими, теряют связь с дном; осенью пускаются на дно; весной верхушки прошлогодних побегов разрастаются в новые растения. Настоящих зимних почек не развивается. Распространен в водоемах повсеместно.

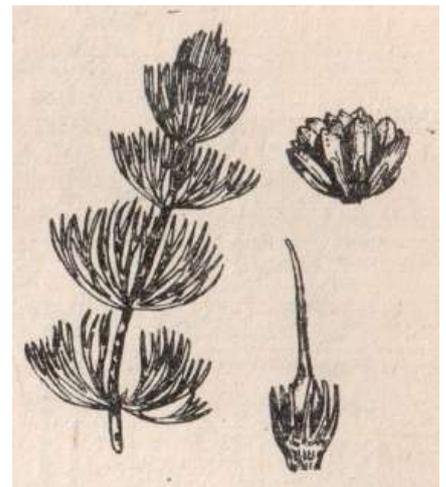


Рис. 76. Роголистник.



Рис. 77. Ряска трехдольная.

Сем. Lemnaceae - рясковые

Ряска трехдольная – Lemna trisulca L.

Звездчатые пластинки (безлистные побеги) погружены в воду вблизи поверхности. Пластинки продолговато-ланцетные, суженные на черешок-ножку. Имеются трехдольные, трехлопастные, прозрачные или светло-зеленые.

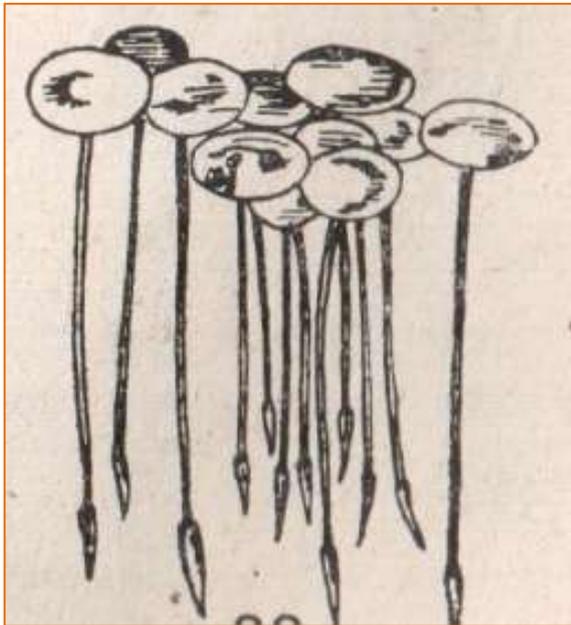


Рис. 78. Ряска малая.

Ряска малая – Lemna minor L.

Пластинки с одним корешком, тонкая, круглая, яйцевидная, светло-зеленая.

Размножение рясок вегетативное, путем образования дочерних побегов с обеих сторон при основании материнского побега, цветение происходит крайне редко.

Обычны в стоячих водах, покрывая всю поверхность. Велика роль в самоочищении вод.

Сем. Salviniaceae - сальвиниевые
Сальвиния плавающая – Salvinia natans Hoffm.

Растение, плавающее на поверхности воды, без корней. Листья двух родов: плавающие, эллиптические или овальные, подводные с корневидно-рассеченной пластинкой. Корней нет.

Обычен в озерах, речных заводях.

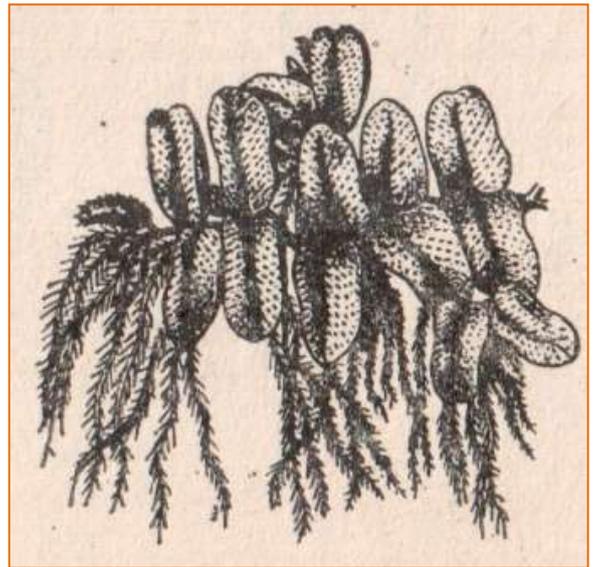


Рис. 79. Сальвиния плавающая.



Рис. 80. Стрелолист стрелолистный.

Сем. Alismataceae - частуховые
Стрелолист стрелолистный – Sagittaria sagittifolia L.

Многолетнее, невысокое растение с длинными шнуровидными побегами. Осенью на них развиваются клубневидные зимующие почки.

Листья прикорневые, неоднородные, воздушные на длинных черешках со стреловидно-треугольной пластинкой и расходящимися лопастями.

Плавающие листья – длинночерешковые с ланцетной пластинкой. Подводные листья сидячие, линейные, тупые, прозрачные с параллельн. жилками.

Соцветие ветвистое. Цветы белые, небольшие с темно-фиолетовым основанием и фиолетовыми тычинками.

Растет на влажных берегах и в воде у берега озер, заливах, водохранилищ, речек, заводей до глубины 0,5 м.

Сем. Poaceae - злаки

Тростник обыкновенный – *Phragmites communis*

Многолетнее, крупное, высокое растение с длинным толстым ползучим сильноветвистым корневищем. Стебли прямые, очень редко лежащие, полые, толстые, крепкие, гладкие.

Листья серо-зеленые, широкие, длиннозаостренные, плоские, жесткие, по краям острошероховатые. Метелка густая, крупная. Колоски темно- и буро-фиолетовые, реже желтоватые.

Растет на сырых берегах озер, водохранилищ, рек, на сплавинах до глубины 3 м.

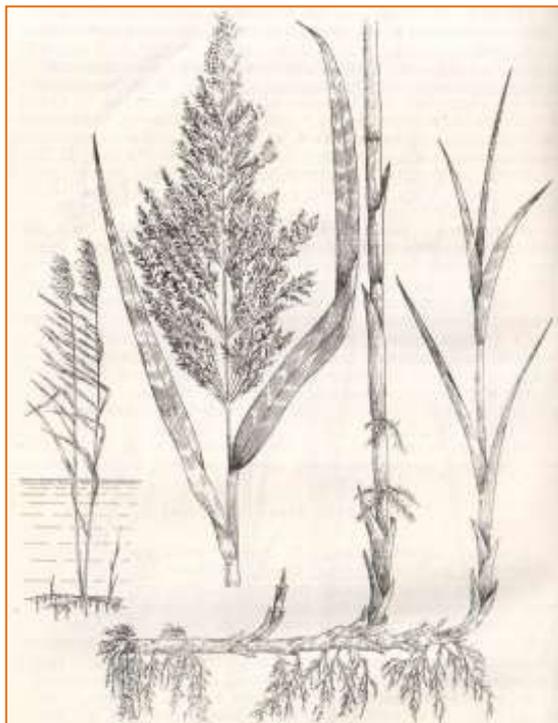


Рис. 81. Тростник обыкновенный.



Рис. 82. Уруть.

Сем. Haloragaceae - сляногородниковые

Уруть – р. *Myriophyllum* (виды – мутовчатая, колсистая).

Листья перисторассеченные. Цветы сидят в многочисленных мутовках, образующих верхушечный колос. Не имеют корней, но нижняя часть стебля развивается в виде корневища и служит для прикрепления растения. Из корневищ кверху поднимаются ветвящиеся стебли, на них располагаются рассеченные мутовчатые листья. Они поглощают питательные вещества, растворенные в воде. Обитают в реках, ручьях, озерах.

Размножение вегетативное. Части стебля, оторвавшиеся от материнской части стебля, дают начало новым растениям. На зиму сохраняются нижние части стебля, весной они быстро разрастаются. При пересыхании водоемов образуются наземные формы урути (меньшего размера, слабо рассеченные листья). По заполнении водой водоема эти формы приобретают обычный вид.

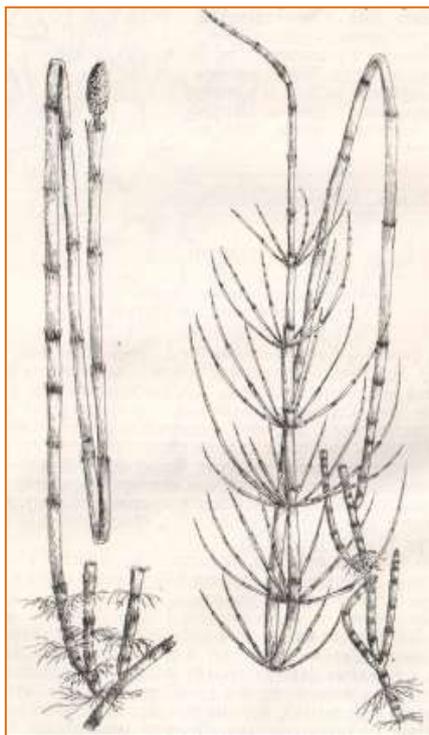


Рис. 83. Хвощ.

Сем. Equisetaceae - хвощевые

Хвощ – р. Equisetum (виды – болотный, иловый, топяной).

Многолетнее растение. Стебель слабо ребристый, членистый, простой или с мутовчатыми веточками до 150 см высотой, с зубчатым влагалищем по узлам. Стебли жесткие. Споры в спорангиях, собранных по верху стебля в колосок.

Предпочитают болота, побережье озер, прудов, заводей, рек до глубины 0,75 м. Образуют большие и густые заросли.

Хвощи используются для чистки и полировки. Лучший корм для ондатры. *E. palustris* (хвощ болотный) – ядовит для рогатого скота и лошадей.

Сем. Hydrocharitaceae - водокрасовые

Элодея – р. Elodea (виды – водяная зараза, канадская).

Листья продолговатые или ланцетные, по краю мелкозубчатые с одной ясной жилкой.

Цветы на длинных цветоножках, однополые. Лепестки белые. Стебель шнуровидный, слабоветвистый.

Размножаются вегетативно. Всякая отломленная веточка быстро укрепляется. Встречаются только женские экземпляры растения, у которых развивается завязь и недоразвитые тычинки, поэтому оплодотворение невозможно. Открыты зимние почки.

Элодея быстро разрастается, вытесняя другие. Так заполняет водоемы, что мешает судоходству и рыболовству. При пересыхании водоема элодея начинает гнить, издавая зловоние.

Это американское растение, занесенное в Европу. Распространение по всем водам.



Рис. 84. Элодея.

Роль прибрежно-водных растений ПВР в функционировании и самоочищении водных экосистем сводится к следующему:

1. Механическая очистительная функция, функция фильтрующего барьера;
2. Минерализация и окислительная функция;
3. Детоксикация органических загрязнителей.

Из ведущих *рабочих параметров*, обеспечивающих выполнение ПВР отмеченных функциональных направлений, можно отметить:

- 1) Уменьшается скорость течения, оседают взвешенные вещества, органические эмульсии, жировые и нефтяные пленки.
- 2) ПВР утилизируют и включают в свой метаболизм органо-минеральные взвеси;
- 3) Токсические соединения инактивируются в растительных клетках; фенолы, ароматические углеводороды выделяются в атмосферу через устьица;
- 4) Стебли и листья выполняют функцию субстрата для развития перифитона, гетеротрофов, участвующих в формировании качества воды.
- 5) Корни ПВР очищают воду от растворенных и взвешенных частиц, особенно содержащихся в сточных животноводческих водах (до 90 %); корнями ПВР поглощают ОВ и биогенные соединения (азот, фосфор, калий и др.), чем предохраняют водоёмы от «цветения».
- 6) Увеличивается прозрачность воды, снижается ее минерализация;
- 7) Тростник, рдесты, роголистник и др., затеняя поверхность воды, поглощая биогенные и минеральные соединения, снижают вероятность развития "цветения" воды;
- 8) Увеличивается содержание кислорода → нормализуется окисление ОВ → ускоряется процесс нитрификации → усиливается фотопотребление свободной углекислоты;
- 9) ПВР выделяют физиологически активные вещества (фитонциды, антибиотики), что приводит к снижению патогенной микрофлоры;
- 10) ПВР извлекают из воды и грунта соединения тяжелых металлов, синтетические поверхностно-активные вещества. Имеет место видовая специфичность: Zn (в мг/кг с.м.) - камыш озерный - 10, рогоз узколистный - 19, тростник - 10, рдест блестящий - 22, рдест гребенчатый - 20, ряска - 192, нитчатые водоросли - 108, фитопланктон - 144. Mn - водяной орех, рдест красноватый; Бор - ряска малая, медь - харовые водоросли.
- 11) ПВР накапливают радиоактивные элементы: наибольшее количество аккумулируют погруженные растения, виды с плавающими листьями, воздушно-водные.
Коэффициент накопления кобальта (= 1500/сут), стронция (= 1400/сут), максимально у элодеи, харовых водорослей.
- 12) Составляют важное звено в биотическом круговороте экосистем и оценке качества воды.

Оценка степени загрязнения вод по показательным организмам ПВР проводится по присутствию в воде индикаторных видов, по их индивидуальной сапробности и сапротоксобиности через индексы сапробности и сапротоксобиности:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^i (S_i \times N_i)}{\sum N_i}, \text{ балл}$$

Таблица. Высшие водные растения в системе сапробности (Sladecsek, 1963; Кокин, 1982) (Табл. 36).

Вид	Зона							
	<i>S</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	β	α	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>S</i>
<i>Marchantia polymorpha</i>	0	1	8	1	-	-	4	1,0
<i>Riccia glauca</i>	0	-	7	3	-	-	4	1,3
<i>Riccia fluitans</i>	0	-	7	3	-	-	4	1,3
<i>Ricciocarpus natans</i>	0	-	8	2	-	-	4	1,2
<i>Marsupella aquatica</i>	<i>x</i> - 0	5	5	-	-	-	3	0,5
<i>Marsupella sphacellata</i>	<i>x</i> - 0	5	5	-	-	-	3	0,5
<i>Drepanocladus aduncus</i>	0 - β	-	6	4	-	-	3	1,4
<i>Fontinalis antipyretica</i>	0 - β	1	5	4	-	-	2	1,35
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	0	1	7	2	-	-	3	1,35
<i>Sphagnum</i> sp.	0	-	10	-	-	-	5	1,0
<i>Hydrohypnum ochraceum</i>	<i>x</i> - 0	5	5	-	-	-	3	0,5
<i>Amblystegium riparium</i>	0 - β	-	5	4	1	-	2	1,65
<i>Salvinia natans</i>	0	-	9	1	-	-	5	1,1
<i>Equisetum fluviale</i>	0	2	8	-	-	-	4	0,8
<i>Isöetes lacustris</i>	<i>x</i>	9	1	-	-	-	5	0,1
<i>Isöetes echinospora</i>	<i>x</i> - 0	5	5	-	-	-	4	0,3
<i>Myriophyllum spicatum</i>	β	-	2	8	-	-	4	1,8
<i>Ceratophyllum demersum</i>	β	-	1	9	-	-	5	1,9
<i>Potamogeton dramineus</i>	β	-	3	7	-	-	4	1,7
<i>Potamogeton lucens</i>	β - 0	-	6	4	-	-	3	1,4
<i>Potamogeton crispus</i>	β	-	2	8	-	-	4	1,8
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	β	-	3	7	-	-	4	1,7
<i>Nuphar luteum</i>	β - 0	-	5	5	-	-	3	1,7
<i>Nymphaea alba</i>	β - 0	-	7	3	-	-	3	1,4
<i>Utricularia vulgaris</i>	β	-	2	8	-	-	4	1,8
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	β	-	1	8	1	-	4	2,0
<i>Elodea Canadensis</i>	β	-	2	7	1	-	4	1,85
<i>Lemna gibba</i>	β	-	1	8	1	-	4	2,0
<i>Lemna minor</i>	β	-	1	6	3	-	3	2,25
<i>Lemna trisulca</i>	0 - β	-	5	5	-	-	3	1,80
<i>Polygonum amphibium</i>	β	-	3	6	1	-	3	1,75
<i>Hydrocharis morsus ranae</i>	0 - β	-	5	5	-	-	3	1,5
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	0 - β	-	6	4	-	-	3	1,4

Классификация ПВР по эффективности формирования чистой воды:

- I. *Прибрежные растения* (тростник, рогоз, камыш, ирис, аир, манник, ежеголовник и др.);
- II. *Плавающие на поверхности воды* (ряски, кубышка, кувшинки, сальвиния, водокрасы). Они перспективны в доочистке стоков, прошедших полную биологическую очистку;
- III. *Погруженные растения* (рдесты, уруть, роголистник, элодея).

Хозяйственное использование ПВР

- В медицине, косметологии, фармацевтике, лекарственные растения (аир, вахта, кубышка, вербейник, череда, мята, дербенник и др.);
- В пищевой промышленности, медоносы (вахта, горец, вербейник, сусак, ирис);
- Фитомелиоративные (при защите берегов от размыва);
- В технических целях, в строительстве, целлюлозно-бумажной промышленности (тростник, рогоз, камыш, манник, осоки);
- В сельском хозяйстве, удобрения, преимущественно из жесткой ПВР; кормовое сырье, в животноводстве, птицеводстве (элодея, ряска, роголистник, рдесты).

Особый интерес - вольфия бескоренная - маленькое субтропическое пресноводное растение семейства рясковых. Сухое вещество вольфии содержит 60 % крахмала, 20 % жира, 10 % белка, витамины А, В₆, В₁₂, С, РР.

Культивируют в емкостях (h=15 см), питательная среда - водопроводная вода с вытяжкой куриного помета. А = 0,2 кг/м²сут.

Вермикультура - интенсивная биотехнология утилизации органических отходов с получением биогумуса и биомассы червей как корма птиц и животных. Вермикультура тесно связана с развитием биоконверсии: 100 тонн соломы дает 14000 м³ метана и 2,5 тонн удобрений.

Субстрат для вермикультуры - разведение червей, получение биогумуса. Объекты - навозный червь (*Eisenia foetida*), калифорнийский красный червь.

Биомасса ПВР используется для приготовления нетрадиционных продуктов питания - "зеленая кровь, зеленое молоко, травяное молоко". Под такими названиями готовятся соки растений, обогащенные белком и витаминами.

2.2.2. Бактерио-, зоопланктон. Бентос. Перифитон

Структурно-функциональная организация. Классификация по типу водного объекта. Биологическая характеристика доминантов. Пространственное распределение. Участие в самоочищении вод и оценках качества воды. Методы отбора проб.

См. литературу: 5, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 30, 32, 37, 38, 39, 41, 42, 46, 47.

Перифитон - (от греч. peri - вокруг и phyton - растение) - биоценозы, возникающие при «обрастании» водорослями и многими животными камней, подводных скал, свай, древесных стволов, морских и речных судов. Организмы, входящие в эти ценозы, принадлежат к нескольким жизненным формам.

Основное многообразие организмов перифитона представлено микроорганизмами, водорослями и животными. Бактерии составляют основу сообщества перифитона на ранних стадиях, затем доминируют водоросли и животные. Одна из преобладающих форм - бактерии рода *Vibrio*, в море часто встречаются также *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacterium*. В перифитоне бактерии представлены кокками, палочками, нитевидными бактериями. Обычно бактерии формируют двухмерные структуры на поверхности субстрата, повторяющие форму поверхности. Нитчатые бактерии, образующие массивные скопления за счёт роста и деления клеток, выходят за пределы пленки, формируя трехмерные массивные скопления. Масса бактерий может быть настолько большой, что они становятся существенной причиной биопомех в водоснабжении.

Разнообразие *водорослей*, обитающих в перифитали, насчитывает сотни видов и внутривидовых таксонов. В.Г. Девяткин предлагает выделять группу типичных перифитических водорослей по признаку гетерополярности в строении клеток или колоний.

Диатомовые водоросли - *Achnanthes* *Vory*, *Cocconeus*, *Symbella*, *Gomphonema* и др. Из общего количества водорослей они составляют 40-50%. До 35% водорослевого сообщества составляют синезеленые водоросли, около 15% зеленые и около 1% красные. Желтозеленые диатомовые водоросли перифитона можно разделить на несколько групп: прикрепленные к субстрату створкой (*Cocconeus*, *Achnanthes*); студенистые комковидные колонии (*Talassiosira subtilis*); тяжи (*Symbella*); стебельковые (*Liemophora*, *Gomphonema*, *Rhoicosphenia*); цепочечные колонии; клетки, соединенные концевыми частями (*Diatoma* D.C.), створками (*Meridion* Ag.); отдельные клетки, обладающие подвижностью (*Eunotia*). Такое разнообразие экоморфологических типов обуславливает сложную и разнообразную структуру в диатомовых сообществах и является важным элементом сообществ перифитона в целом.

Зеленые водоросли (отдел *Chlorophyta*) представлены в перифитоне: одноклеточными, колониальными и многоклеточными, микро- и макроскопическими. По разнообразию и видовому богатству в сообществах они занимают место после диатомовых. Так же, как у диатомовых, имеются различные формы с приспособлениями поднятия клеток над субстратом: от коротких стебельков *Characium*, *Pseudocharacium*, *Stylodinium* до длинных слизистых тяжей *Chorangiella pigmaea*, *Gloeodendron ramosa* Korschik. Наибольшее значение имеет способность зеленых водорослей образовывать

скопления как на субстрате, так и в толще воды над субстратом, при этом увеличивается общая поверхность, а переплетение нитей создаёт сложную структуру, используемую как микробиотоп подвижными животными. Развиваясь в большом количестве на отдельных участках водоёмов-охладителей ТЭС и АЭС, системах оборотного водоснабжения, нитчатки могут вызвать значительные помехи в работе насосных станций и систем водоснабжения.

В перифитоне по разнообразию *синезеленые водоросли* (Cyanophyta) обычно занимают третье место после диатомовых и зеленых. Синезеленые включают одноклеточные, колониальные и многоклеточные водоросли, микроскопические, образующие колонии или макроскопления водорослей. Трихомы нитчатых форм состоят из одиночных или сложных нитей, обычно заключенных в слизистые чехлы. Наибольшее разнообразие синезеленых водорослей в водоёмах-охладителях наблюдается в зонах наибольшего влияния подогретых сбросных вод. Макроскопические скопления лингвигии в зоне подогрева воды при температуре более 30⁰ С достигают биомассы порядка сотен граммов и килограммов на 1 м². Некоторые водоросли вегетируют при температуре до 85⁰ С. Однако в Антарктиде во временных водотоках ледникового питания, где температура днем повышается до 6⁰ С, а ночью снижается до 0⁰ С, синезеленые *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Nostoc* образуют структуры в виде матов, сходные с таковыми в термальных источниках. Это свидетельствует о широкой вариабельности условий обитания синезелёных водорослей перифитона.

Красные водоросли (Rhodophita), или багрянки, составляют наименьшую долю. У красных водорослей хорошо проявляются характерные для перифитона морфологические типы. Такие формы, как *Porphyridium*, образуют пленки, представляющие собой скопления клеток. *Hildenbrandtia* на различных субстратах образует колонии в виде круглых пятен. Багрянки в отдельные периоды обильны в водоёмах-охладителях достигает 50 г/м².

Животные. В составе беспозвоночных пресноводных пресноводного перифитона имеются представители по меньшей мере 19 классов из 7 типов беспозвоночных.

Простейшие (Protozoa). Представлено 3 класса - саркодовые (*Sarcodina*), жгутиконосцы (*Mastigophora*) и инфузории (*Infusoria*). Быстрая колонизация простейшими субстрата и интенсивное размножение позволяют рассматривать их как одну из важных групп гидробионтов для биоиндикации качества воды. Среди прикрепленных простейших для перифитона характерны *Monosiga*, *Codonocladium*, *Antophrysa* (из жгутиковых), *Tokophirya*, *Dendrosoma* - из сосущих инфузорий, из ресничных инфузорий - *Vorticella*, *Zoothamnion*, *Carchesium*, *Cothurnia*, *Platicola*. Роль простейших различна. Заселяясь первыми,

они затем уступают место другим формам. Подвижные простейшие, напротив, среди крупных форм находят благоприятные условия для существования. Могут возникать специфические комменсальные взаимоотношения (плотные локальные скопления *Vorticella* вокруг лофофоров мшанок *Plumatella*).

Губки (*Cornacuspongia*). Микроскопические элементы скелета губок обуславливают существование очень тонкой с огромной поверхностью внутренней сети проводящих канальцев, в стенках которых располагается собственно фильтрующий элемент – камеры со жгутиковыми клетками. Для закрепления колониям необходим твердый субстрат, поэтому их можно отнести к перифитоспецифическим формам. Как фильтраторы, губки значительно влияют на качество воды, в небольших водоёмах их роль сопоставима с фильтрацией зоопланктона.

Гидрозоа (*Hydrozoa*). Есть одиночные и колониальные виды, прикрепленные постоянно и временно, у некоторых пресноводных гидрозоа (*Craspedacusta sowerbii* Lank) имеется и медузоидная планктическая стадия. Это хищники, размеры тела варьируют от 0,3 до 5-10 см (*Cordilophora*). В системе водоснабжения ГРЭС их масса может достигать нескольких килограммов на 1 м².

Коловратки (*Rotatoria*). В некоторых водоёмах коловратки оказываются наиболее богатой группой беспозвоночных. Из 1270 видов коловраток водоёмов Европы к перифитическим отнесено 26. Как правило, коловратки не играют большой роли в сообществах перифитона, хотя численность может быть высокой.

Малощетинковые черви (*Oligochaeta*) - исключительно подвижные формы. Это одна из наиболее богатых видами групп перифитических животных. В водоёмах-охладителях в перифитоне отмечено более 30 видов олигохет. Олигохеты одними из первых заселяют незанятые субстраты, будучи подвижными формами, они положительно реагируют на заселение субстрата прикрепленными животными или растениями.

Имаго, личинки и куколки насекомых (*Insecta*) занимают значительное место в пресноводном перифитоне. Отмечено большое разнообразие таксономических групп - поденки, стрекозы, клопы, жуки, цератопогониды, хирономиды. Наиболее часто встречаются личинки родов *Cricotopus*, *Rheotanytarsus*, *Limnochironomus*, *Glyptotendipes*, *Endochironomus*. Другой важной группой насекомых являются личинки ручейников (*Trichoptera*). В водозаборных каналах биомасса ручейников *Hydropsyche ornatula* достигает 2500 г/м². Различные насекомые имеют разнообразные адаптации для обитания на твердом субстрате. Характерны защитные адаптации - строительство прикрепленных к субстрату или носимых на себе домиков.

Брюхоногие моллюски (*Gastropoda*), как и другие подвижные животные, менее зависят от характера субстрата, чем прикрепленные. Фауна пресноводных

брюхоногих моллюсков богата. В Европе отмечено более 500 видов. Фауна гастропод богаче в водоёмах с разнообразной растительностью. Из подвижных форм в пресноводном перифитоне брюхоногие моллюски – одни из самых крупных животных, поэтому во многих сообществах они могут доминировать по биомассе. Поскольку гастроподы трофически в большой степени зависимы от водорослей перифитона, степени их развития, с глубиной обычно обилие гастропод снижается. Брюхоногие моллюски не отличаются разнообразием морфологически важных структур. Раковины крупных гастропод могут служить субстратом для развития организмов перифитона.

Двустворчатые моллюски (Bivalvia). В перифитоне обилия достигают только моллюски, обладающие адаптациями прикрепления; подвижность актуальна для расселения при выборе подходящего субстрата. Если в морском обрастании двустворчатые моллюски играют чрезвычайно большую роль, определяя терминальные стадии сукцессии, то в пресных водах они занимают более скромное место. Только с широким распространением дрейссены из солоноватых вод в пресные бассейны роль двустворчатых моллюсков значительно возросла. Кроме того, в перифитоне пресных вод обитают *Pisidium*, *Sphaerium*, *Unionidae*. Двустворчатые моллюски достигают в перифитоне наибольшей биомассы. Наибольшая известная биомасса дрейссены - 50 кг/м². Эффективная жизненная стратегия двустворчатых моллюсков складывается из наличия пелагической личиночной стадии, эффективного фильтрационного питания, защиты от хищников массивной раковиной и прочного прикрепления. Эти моллюски играют очень большую роль в экосистемах различных водоёмов, особенно велика их фильтрационная деятельность.

Пресноводные мшанки (Bryozoa). Почти все пресноводные мшанки (их от 20 до 50 видов) - прикрепленные формы. В зависимости от пространственной структуры можно выделить несколько типов колоний. Молодые колонии *Plumatella repens* представляют собой стелющиеся по субстрату разветвленные трубочки, колонии, в основном, двухмерные. Далее рост колоний приводит к появлению ярусности и стратификации. Подушки таких колоний – довольно рыхлые образования из переплетающихся трубочек, промежутки заполнены детритом, служат убежищем для других мелких форм. В камерах охладителей биомасса мшанок может быть сопоставима с биомассой моллюсков, что оказывает отрицательное влияние на эксплуатацию систем водоснабжения.

Ракообразные (Crustacea). В пресноводном перифитоне довольно широко представлены усоногие раки. Постоянно в состав перифитона пресных вод входят различные виды *Copepoda*, *Ostracoda*, *Cladocera*, *Gammaridae*, *Isopoda*. Самая разнообразная группа - подвижные формы, постоянно или периодически использующие твердый субстрат как опору для передвижения. Это, например,

Harpacticoida, Cyclopoda, Asellus, Gammaridae. Среди подвижных форм следует выделить остракод, как имеющих раковину, выполняющую защитную функцию. Из временно прикрепляющихся ракообразных можно выделить *Sida crystallina*. В перифитоне постоянно встречаются представители *Turbellaria*, *Nematoda*, *Polychaeta* и др.

Позвоночные (Vertebrata). Из рыб, которые обитают вблизи субстрата, питаются организмами перифитона, следует отметить, в первую очередь, бычковых (*Gobiidae*). Откладываемая ими икра плотно прикрепляется к твердому субстрату. Кладки бычков, а также некоторых других видов рыб, могут быть существенным, хотя и временным компонентом перифитона.

Адаптация организмов перифитона

Адаптивной зоной организмов перифитона, т. е. типом местообитаний с характерной специфической совокупностью условий, к которым и происходит приспособление, является перифиталь как специфический глобальный биотоп гидросферы. Сходство основных характеристик условий среды во многом определяет конвергентный характер морфогенеза, а также различных адаптации (поведенческих, консортивных, трофических, фабрических и др.):

1. Образования в виде раковин, панцирей, домиков, противостоять засыпанию осадками;

2. Топические взаимодействия в сообществах перифитона наиболее существенны, поэтому способы захвата новых площадей субстратов и надежное прикрепление также являются одними из основных в их общей жизненной стратегии. Эффективной стратегии нет, поэтому при конкурентной борьбе в сообществах: 1) выработка стратегий захвата и удержания пространства субстрата, вытеснение конкурентов; 2) выработка коадаптивной стратегии, снижающей пресс негативных взаимовлияний, полипы *Craspedacusta sowerbii*, водоросль *Cocconeis* и др. У колониальных форм в более простом случае наблюдается приклеивание всей поверхностью колонии, обращенной к субстрату.

Более прогрессивной следует считать стратегию стелющихся колоний, например мшанок: *Plumatella repens*, *P. emarginata*, некоторых гидрзоа, *Suctorina*.

В морфогенезе прикрепленных форм имеется еще одно направление, связанное с уменьшением площади прикрепления с одновременным относительным смещением массы колоний или отдельных особей над субстратом, т. е. переход к объемной структуре.

В перифитоне широко распространен тип "*точечного*" прикрепления, когда одна особь или колония закрепляется на малой площади субстрата (*Zoothamnion*, *sarchesium*, *Cladophora* и др.). Водоросли закрепляются слизистыми тяжами, поверхностью базальной клетки. Прикрепленные на

стебельках колонии и отдельные особи за счет поднятия над субстратом занимают не только минимум площади, но и находятся в более благоприятных для захвата пищи условиях.

Более сложный механизм прикрепления "*множественного*" типа может основываться на различных морфоструктурах - ризоидах некоторых водорослей и биссусном аппарате двустворчатых моллюсков. Биссусные нити состоят из коллагена и других белков, прикрепительный диск - из мукоидного вещества, полифенола и коллагена. Преимущества прикрепления множеством нитей биссуса в том, что особь имеет некоторую свободу подвижности, что важно, например, для противостояния гидродинамическому воздействию.

Значительное место в сообществах перифитона занимают прикрепленные формы, которые могут менять место прикрепления, т. е. временно прикрепленные. Эффективное временное прикрепление может осуществляться без особых морфологических структур (как у Hydra) или с помощью довольно сложного прикрепительного аппарата (как у Elepherozoa), образуют присоску, используя выросты мантии, раковину и ногу.

Кроме различных морфологических адаптации и приспособлений, связанных с прикрепленным образом жизни, существуют фабрические. Многие животные ведут фактически седентарный образ жизни, поскольку обитают в прикрепленных домиках - Floscularia из коловраток, некоторые личинки Trichoptera, куколки Simuliidae и пр.

К другим адаптационным свойствам, характерным для прикрепленных форм, следует отнести высокую регенеративную способность, будучи подвижными организмами, ведут фактически седентарный образ жизни.

Прикрепленные хищники (Hydra, Cordilophora) активно облавливают окружающую воду, используя щупальца со стрекательными капсулами. Полип краспедакусты захватывает добычу на поверхности субстрата.

Для движения многие организмы могут использовать различные приспособления, и само движение разнообразно по типам, но возможна и классификация организмов перифитона.

Использование перифитона в инженерной гидробиологии.

В основе инженерных и биологических мероприятий, которые могут использовать положительные эффекты деятельности перифитона, лежат т. н. явления «сгущения жизни» по В. И. Вернадскому. Притягательность твердых субстратов для гидробионтов давно используется, например, рыбаками для улучшения кормовой базы в отдельных акваториях. Такие инженерно-гидробиологические сооружения, обладающие большой площадью контакта твердого субстрата и воды, получили название «*искусственные рифы*». В конечном итоге, система активных поверхностей и создаваемый ими сложный пространственный биотоп, составляют целостное образование. Такая система

может создавать новый биотоп в масштабах целого водоёма или его крупной зоны. Искусственные рифы из известняка через 3-4 года после установки в море давали повышение альгомассы в десятки раз, биомассы беспозвоночных - на 2-3 порядка, ихтиомассы - на 1-2 порядка, увеличение видового разнообразия - в 5-10 раз. Установка добавочных поверхностей изделий из полиэтиленовой пленки в рыбоводных садках определила значительное увеличение количества организмов - коловраток, инфузорий, хирономид, вследствие чего темп роста молоди карпа возрос в 2 раза.

Одна из наиболее эффективных систем, повышающих самоочищение водоёма - *биоплата*, и хотя в процессе очистки участвуют все компоненты, одним из наиболее важных компонентов является перифитон. Поскольку основой биоплаты являются растения, как воздушно-водные, так и погруженные макрофиты, оно приурочено к фотической зоне. Донные искусственные рифы, напротив, занимают более глубинное положение. Следовательно, сочетанием различного типа рифов и биоплаты достигается наибольшая эффективность.

Повышение урожайности следует рассматривать как увеличение рыбопродуктивности в районе рифа и за счёт изымаемого непосредственно с него урожая беспозвоночных и водорослей. Такими объектами в пресных водах могут быть речные раки, креветки, моллюски как дополнительный корм для рыб и сельскохозяйственных животных, нитчатые водоросли как удобрение. Важен возможный эффект от утилизации отходов промышленного строительства, утилизации шлаков и золы при строительстве из них искусственных рифов.

Методы отбора проб на водном объекте.

Створы для сбора проб перифитона должны, по возможности, совпадать со створами, намеченными для общепринятого гидробиологического и гидрохимического обследования данного водоёма.

Методика отбора проб с естественных субстратов

На разных створах следует отбирать пробы с однотипных субстратов. Не следует брать пробы с деревянных поверхностей, т.к. гниющая древесина завывает сапробность. С талломов макрофитов пробы берут лишь в крайних случаях по той же причине (смывают оброст мягкой кисточкой или полощут). Наиболее пригодны для сбора перифитона нейтральные субстраты (камни, бетонные сооружения). С твердых поверхностей сбор производят с помощью скребка, ножа, скальпеля, пинцета или обычной столовой ложки с заточенным краем. Небольшое количество материала помещают в банку с водой так, чтобы количество воздуха над пробой составляло не менее половины объёма сосуда. Пробы необходимо обрабатывать сразу, или до 6 часов после сбора при температуре 5-10⁰С.

Методика отбора проб с помощью искусственных субстратов

В связи с неравномерностью распространения перифитона количественный учет на естественных субстратах очень затруднен. Искусственные субстраты используют при определении продуктивности перифитона, выяснении скорости заселения субстрата, изучении динамики популяций перифитона, установления нижней границы его распространения, выяснения факторов, лимитирующих развитие перифитона.

В качестве субстратов используют предметные стекла из некоррозионного стекла. Стекла укрепляют вертикально, а на течении параллельно, для предупреждения оседания на них детрита, грязи, мусора. Удобно использовать пенопластовые поплавки и резиновые пробки, в прорези которых вставляют стекла. Поплавки одевают на трос, несущий на конце груз для заякоривания, а на верхнем – поплавок, ограничивающий глубину. Нижняя граница перифитона совпадает со значением 1-1,5 прозрачностей. Оптимальный горизонт 0,5 м от поверхности. Анализ проводят приблизительно через две недели. В лаборатории изъятые стекла помещают в чашку Петри под слой воды и просматривают под биноклем. Крупные организмы просчитывают во всей пробе. На стекле просчитывают прикрепленные формы простейших, затем оброст смывают кисточкой в определенный объем воды. Подвижные мелкие организмы считают в камере Богорова.

По разделам 2.2.1., 2.2.2. преподаватель определяет темы семинарских и практических занятий, включая собеседования и реферативные сообщения по конкретным вопросам и темам дисциплины. Осваиваются принципы работы приборов гидробиологических исследований.

Раздел 2.3. Экологический мониторинг водных объектов

Экологический мониторинг – это долгосрочная комплексная система наблюдений по специально разработанным программам за состоянием водных объектов, оценки и прогнозы их изменений под воздействием природных и антропогенных факторов.

Цель мониторинговых исследований: получение достоверной информации по оценке состояния экосистемы в пространственно-временном аспекте и прогноз ее изменения в условиях антропогенного влияния.

Структура экологического мониторинга водных объектов включает три составляющих: *наблюдение, оценка, прогноз.*

Структурно-функциональный и энергетический принципы изучения экосистем в рамках отработанной системы экологического мониторинга позволяет рассчитать баланс органического вещества экосистемы и выделить ведущие закономерности ее функционирования.

Методическая основа мониторинга:

- *наблюдения на водоеме*, позволяющие выяснить пространственно-временные изменения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей;
- *лабораторно-экспериментальные исследования реакций биоты* на действие природных и загрязненных вод;
- *математические описания взаимосвязей* внутри и между компонентами экосистем;
- *дистанционно-спутниковые исследования* на Красноярском водохранилище проводятся сотрудниками института Биофизики СО РАН.

Фундаментальный принцип экологического мониторинга водохранилищ

- *комплексность*.

Работы по организации и осуществлению экологического мониторинга включают четыре раздела, отработанные на Красноярском водохранилище (см. литературу №38).

Раздел №1 - комплекс методических работ.

1.1. Разработка программ мониторинга. Апробировано и внедрено в практику два варианта программ (Табл. 37):

- *полная программа*, включает круглогодичные и стационарные наблюдения на максимально разветвлённой сети станций, показатели гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов, анализ источников загрязнения экосистем, биотестирование вод;

- *сокращенная программа*, включает минимальное число реперных станций наблюдений, выбранных по результатам полной программы и наиболее характерные показатели экологического состояния водохранилища.

Полная программа экологического мониторинга Красноярского водохранилища (Табл. 37).

Параметры	Показатели
1. Гидрологические, гидрофизические	1.1. Морфометрия и гидрография 1.2. Режим течения 1.3. Температурный режим 1.4. Уровенный режим 1.5. Прозрачность 1.6. Освещенность 1.7. Грунты

2. Гидрохимические	2.1. Биогенные компоненты (С, N, P, O ₂) 2.2. Органические компоненты 2.3. Тяжелые металлы 2.4. Реакция среды 2.5. БПК ₅ , БПК _{полн.} , ХПК 2.6. Нефтепродукты 2.7. СПАВ 2.8. Специфические загрязнители
3. Гидробиологические (Рис. 85-86)	3.1. Планктонные сообщества (бактерио-, фито, зоопланктон, нейстон) 3.2. Донные сообщества, перифитон, высшая водная растительность 3.3. Ихтиофауна 3.4. Продукционно-деструкционные характеристики планктона, бентоса, рыб 3.5. Взвешенное органическое вещество, сестон 3.6. Биотестирование, биоиндикация вод
4. Санитарно-эпидемиологические	4.1. Гельминтозное заражение 4.2. Грибковое заражение 4.3. Бактериально-вирусное заражение 4.4. Ихтиопаразитологические заражения

1.2. Разработка сетки станции наблюдений.

В мониторинг водохранилища включались плесы и заливы.

1.3. Разработка, выбор оптимальных методик.

I - маршрутные съемки по всей акватории водохранилища, годовая динамика по всем месяцам, отдельным сезонам года;

II - стационарные исследования, они включали экспериментальные работы по оценке кинетических, продукционно-деструкционных показателей биоты, ихтиологические исследования, биотестирование вод.

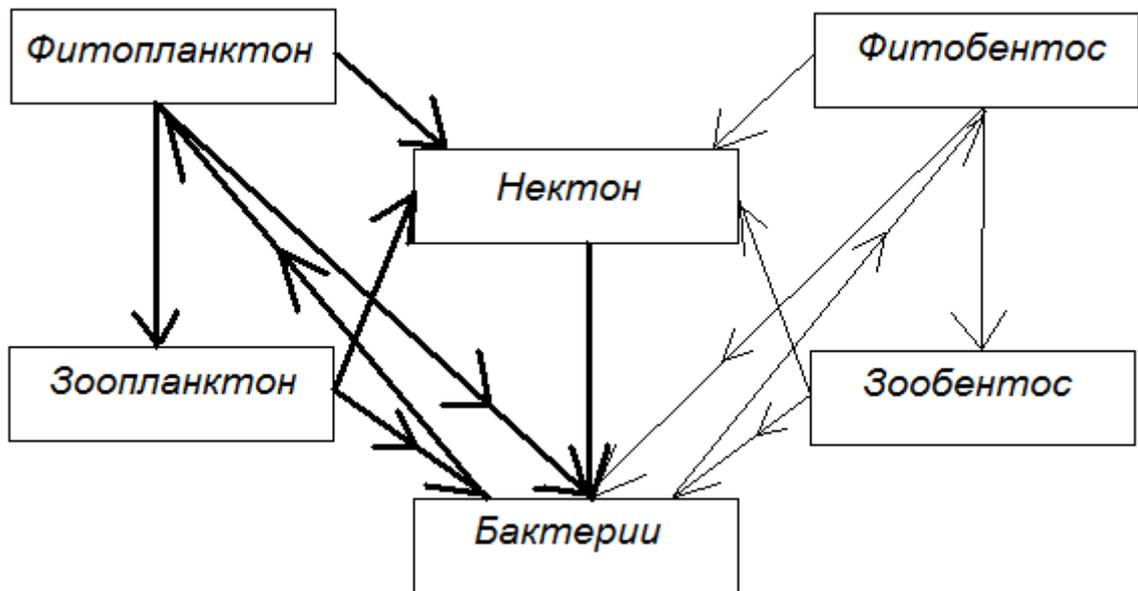
Раздел №2 включает информационно-аналитические работы:

2.1. Обработка проб биоты, полевых материалов по гидрологии и гидрохимии. Разработка методических пособий, сборников и др. (Словарь терминов и понятий по водным экосистемам, Определение продукции водных сообществ, Экологические исследования водоемов Красноярского края, Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество и др.).

2.2. Автоматизация расчетов от микроскопа до выводов по динамике структурно-функциональных показателей биоты, качеству вод по специально-разработанным алгоритмам.

2.3. Хранение информации.

Разработана схема, сформирована универсальная база данных «Биота» Красноярского водохранилища №2003620149, Роспатент РФ (Рис. 86).



**Рис. 85. Кругооборот веществ в идеализированной экосистеме гидробиоценоза циклического типа (лентического) (Цит. по Е.А. Зилу, см. литературу №15).
Жирные стрелки – основные потоки вещества, тонкие - второстепенные.**

Модули (их 12) объединены в единое целое программной оболочкой, написанной на встроенном в базу данных "PARADOX 9" объективно-ориентированном языке программирования Object PAL с поддержкой сетевых возможностей.

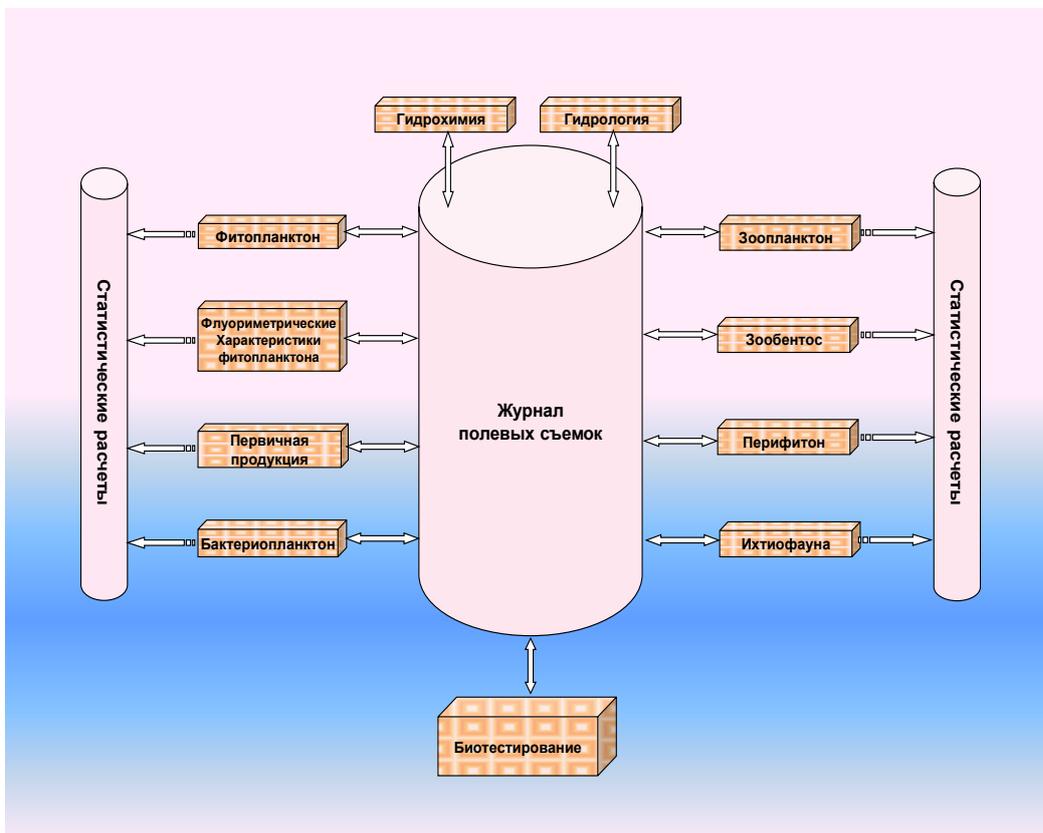


Рис. 86. Схема базы данных «Биота» Красноярского водохранилища.

Раздел № 3. Включает разработки с использованием математического аппарата.

3.1. Разработана гипотетическая *блок-схема информационной модели* (11 блоков), реализует общую схему экологического мониторинга водохранилищ: "*наблюдение – анализ - оценка - прогноз*" (Рис. 87).

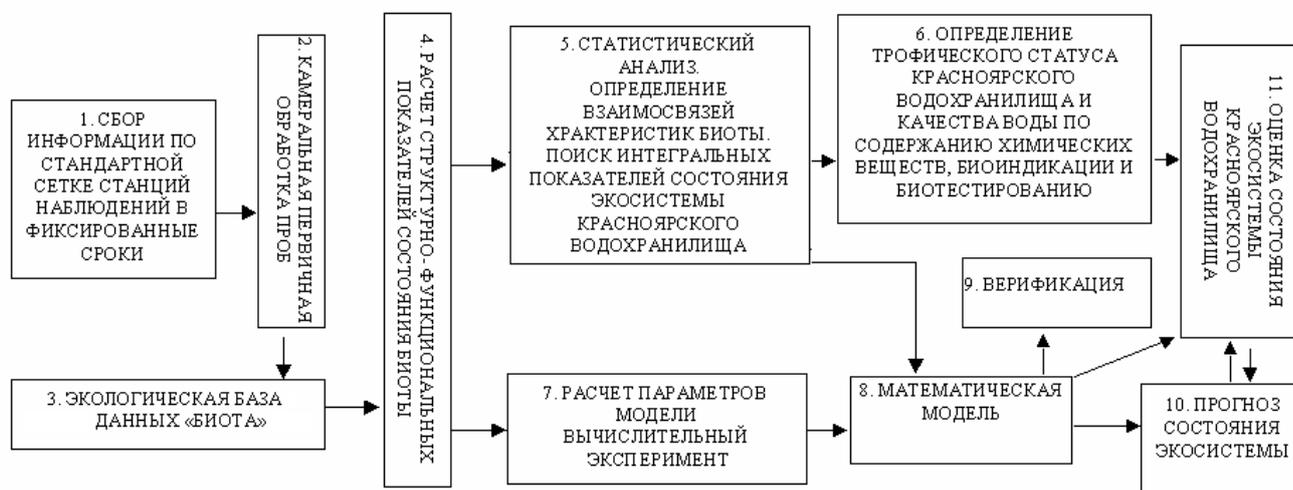


Рис. 87. Блок-схема информационной модели оценки состояния экосистемы Красноярского водохранилища.

Рассмотрим подробнее Блок 6. Определение трофического статуса водохранилища за период 1978-2005 гг. осуществлено по величинам первичной продукции (Рис. 88).

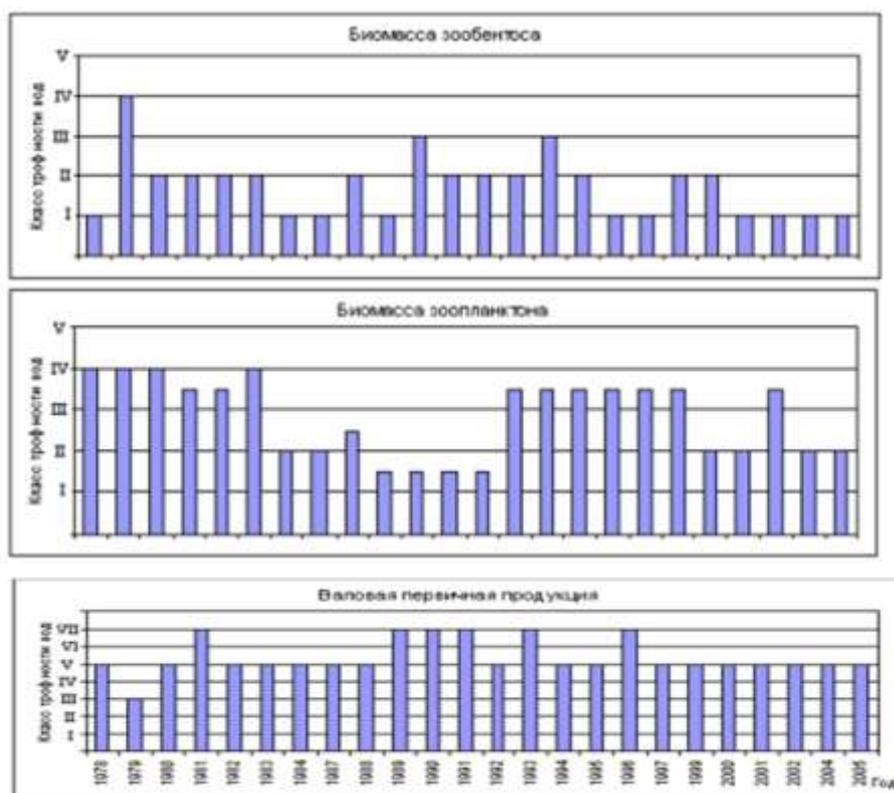
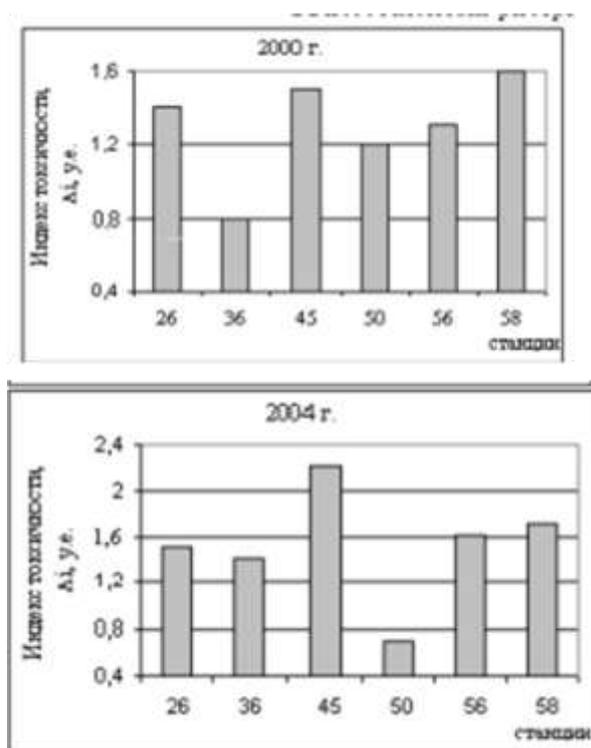
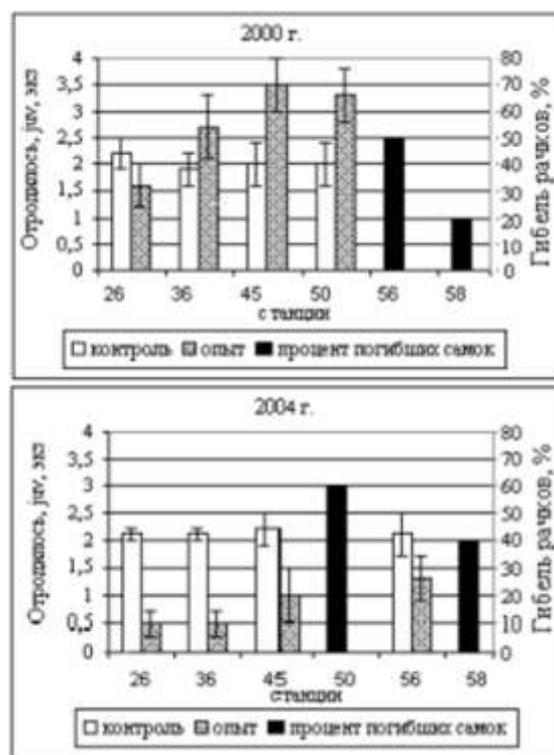


Рис. 88. Динамика трофического статуса Красноярского водохранилища в оценках по валовой первичной продукции, по биомассе планктонных и донных сообществ: I - II классы – олиготрофный тип, III - IV – мезотрофный, V - VI – евтрофный, VII – гипертрофный тип.



Пространственно-временная динамика индексов токсичности вод Красноярского водохранилища (в эксперименте), рассчитанных по люминесценции *Photobacterium phosphoreum* (ΔI , у.е.)



Пространственно-временная динамика гибели самок (%) и темпа отрождения молоди (juv, экз) рачков *Ceriodaphnia affinis*, Красноярское водохранилище (в эксперименте)

Рис. 89. Токсичность вод по реакциям бактерий и рачков.

Качество вод оценено по результатам биотестирования:

- по динамике люминесценции фотобактерий, темпу отраждения молоди рачков (Рис. 89).

- по динамике показателей биологической индексации (S_{ϕ} , S_3 – индекс сапробности; $S_{\text{тф}}$, $S_{\text{тз}}$ – индекс сапротоксности по фито-, зоопланктону, балл; ИЗВ – индекс загрязнения вод, балл), 2000, 2005гг. (Табл. 38).

Показатель	Верхний район		Средний район		Нижний район	
	2000	2005	2000	2005	2000	2005
S_{ϕ} , класс	1,7 III	1,6 III	1,5 III	1,5 III	1,5 III	1,5 III
$S_{\text{тф}}$, класс	3,1 IV	3,5 IV - V	3,1 IV	3,6 V	3,2 IV	3,6 V
S_3 , класс	1,7 III	1,6 III	1,6 III	1,5 III	1,7 III	1,6 III
$S_{\text{тз}}$, класс	2,6 IV	3,3 IV	2,8 IV	3,5 IV - V	2,8 IV	2,8 IV
ИЗВ, класс	2,3 IV	2,1 IV	1,7 III	2,5 IV	3,6 IV - V	2,8 IV

Разработан комплексный унифицированный классификатор оценки качества воды по химическим и биологическим показателям для водных объектов бассейна р. Енисей (Табл. 39).

3.2. Разработка подходов и систем, обеспечивающих автоматизацию информационного обеспечения, достаточного для принятия решений по минимизации экологического риска, опасности для биоты и здоровья человека.

Раздел №4 обеспечивает кадровый состав исполнителей.

Ведущие тесты, требования к подбору исполнителей мониторинговых программ:

- профессионализм;
- высокая ответственность при выполнении всех видов работ;
- коммуникабельность, отзывчивость, умение создавать атмосферу доброжелательности, избегать конфликтных ситуаций;
- дисциплинированность и преемственность, в маршрутной съемке должны участвовать от одного до трех специалистов, работающих в предыдущих съемках.

Унифицированный классификатор качества воды Красноярского водохранилища по гидрохимическим и биологическим показателям (1 – по ГОСТ 17.1.3.07-82; * - предложения авторов) (Табл. 39).

Класс качества воды ¹	Степень загрязнения воды	Индекс сапротности ¹ , S, балл	Общее кол-во бактерий ¹ , 10 ⁶ , кл/мл	Биоти-ческий индекс Вудивисса [*] , ВJ, балл	Индекс загрязнения вод, ИЗВ [*] , балл	Индекс сапроток собности, St, балл	Зона сапроток-собности [*]	Степень токсичности вод [*]
I	очень чистые	< 1,0	< 0,5	(9-10]	< 0,5]	-	-	нетоксичные
II	чистые	(1,0–1,5]	(0,5-1,5]	(7-9]	(0,5-1,5]	< 1,0]	олиго-сапроток собные воды, o-St	нетоксичные
III	умеренно-загрязненные	(1,5-2,5]	(1,5-2,5]	(5-7]	(1,5-2,5]	(1,0-2,0]	β-мезо-сапроток-собные воды, β-mSt	слаботоксичные

IV	загрязненные	(2,5-3,5]	(2,5-4,5]	(3-5]	(2,5-4,0]	(2,0-3,0]	α-мезо-сапроток-собные воды, α-mSt	среднетоксичные
V	грязные	(3,5-4,0]	(4,5-6,0]	(1-3]	(4,0-6,0]	(3,0-4,0]	Поли-сапроток-собные воды, p-St	высоко-токсичные
VI	очень грязные	> 4,0	> 6,0	< 1]	> 6,0	> 4,0	Гипер-сапроток-собные воды, h-St	гипертоксичные

Самостоятельная подготовка

По экологическому мониторингу см. литературу: 6, 26, 38; работы авторов Абакумова В.А., Баренбойма Г.М., Цветкова Г.М. в сборнике по материалам I-й региональной школы-семинара «Мониторинг водных объектов», Дубна, август 1996г.; «Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов»: Постановление Правительства РФ от 10.04.2007г. №219.

По региональным подходам в оценке качества вод см.:

1. Брызгало В.А., Соколова В.П. Динамика показателей экологического состояния рек бассейнов р.Енисей и оз.Байкал // Ежегодник качества поверхностных вод Российской Федерации. - СПб.: Гидрометеиздат, 2001. - С.199 – 230;
2. Волков И.В., Заличева И.Н и др. Региональные особенности токсикорезистентности гидробионтов // Водная токсикология, 1990, №14;
3. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И. и др. Анализ качества воды системы «Ручей Черёмушный - река Енисей» по унифицированному классификатору химических и биологических дескрипторов // Проблемы использования и охраны природных ресурсов центр. Сибири. Вып.3.- Красноярск, КНИИГиМС, 2001;
4. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И. и др. Оценка качества вод по химическим и биологическим показателям: пример классификации

показателей для водной системы «Ручей Черёмушный - Енисей».- Водные ресурсы, 2003.- Т.30, №3;

5. Гольд З.Г., Глущенко Л.А. и др. Технологии биологического контроля качества вод с учётом региональных принципов (на примере бассейна Енисея).- Научные записки Тернопольского педагог. ун-та им. В. Гнатюка.-Т.3, 26, 2005;

6. Гольд З.Г., Шулепина С.П. К оценке качества вод глубоководных водоемов по структуре донных сообществ (на примере Красноярского водохранилища)// Производственно-технический и научно-практический журнал «Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение».- 2008, №12;

7. Гольд З.Г. Качество воды и трофический статус Красноярского водохранилища. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод: монография.- Красноярск, Сибир.федеральный ун-т, 2008;

8. Пшеницина В.Н. Региональный подход к биоиндикации загрязнённых вод // Водные ресурсы, 1986, №1;

9. Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации).- Апатиты, Изд. Кольского фил.АН СССР, 1988.

3. Литература.

3.1. Литература к теоретической части

1. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. – Л.: Гидрометеиздат, 1989;
2. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб.: Наука, 2001;
3. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и их сообщества: в 2-х т. М.: Мир, 1989.
4. Биккулова А.Т., Ишмуратова Г.М. Биоэлементология s-, p-, d-элементов.– СПб: Наука, 1999.
5. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. – СПб.: Наука, 1994;
6. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1985;
7. Вернадский В.И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967;
8. Водохранилища мира. – М.: Наука, 1979;
9. Гладышев М.И. Основы экологической биофизики водных систем. - Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1999;
10. Гольд В.М., Гаевский Н.А., Григорьев Ю.С., Попельницкий В.А., Гехман А.В. Теоретические основы и методы изучения флуоресценции хлорофилла: учебное пособие. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1984;
11. Гольд З.Г., Морозова И.И. Словарь терминов и понятий по водным экосистемам (биологическая структура, качество вод, охрана): учебно-методическое пособие. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 2004;
12. Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. – М.: Высшая школа, 1960.
13. Жизнь пресных вод / под ред. В.И. Жадина. Т. 1-4. – М.: Изд-во АН СССР, 1950-1956;
14. Зернов С.А. Общая гидробиология. – М.: Биомедгиз, 1934;
15. Зилов Е.А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем): учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-та, 2009;
16. Зданович В.В., Криксунов Е.А. Гидробиология и общая экология: словарь терминов. – М.: Дрофа, 2004;
17. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Т.1-2.– М.: Наука, 1969, 1982;
18. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007;
19. Кожова О.М. Введение в гидробиологию. – Красноярск: Изд-во КрасГУ, 1987;

20. Константинов А.С. Общая гидробиология: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1986;
21. Ламперт К. Жизнь пресных вод (животные и растения пресных вод, их жизнь, распространение и значение для человека). – Санкт-Петербург, 1900. (оригинал - у авторов, электр. версия - у авторов, в библиотеке СФУ).
22. Метелёв В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. – М.: Колос, 1971;
23. Протасов А.А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. – Киев: Академперіодика, 2011;
24. Протасов А.А. Пресноводный перифитон.– Киев: Наукова думка, 1994;
25. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоёмах. – М.: Наука, 1985;
26. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992;
27. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и эвтрофирование.– Киев: Наукова думка, 1978;
28. Семерной В.П. Санитарная гидробиология: учебное пособие.– Ярославль: Ярославский государственный университет, 2005;
Семерной В.П. Общая гидробиология: Текст лекций. – Ярославль: Ярославский государственный университет, 2008;
29. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. – М.: Наука, 2005;
30. Филенко О.Ф. Водная токсикология. – М.: Черноголовка, 1988;
31. Хендерсон - Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1990.

3.2. Литература к практической части

32. Бактериопланктон и его продукция: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов гидробиологических исследований на пресных водоёмах. – Л.: ЗИН АН СССР, ГОСНИОРХ, 1984;
33. Белавская А.П. Водные растения России и сопредельных государств. – СПб.: Труды Ботан. ин-та им. Комарова, вып.11, 1994;
34. Бубнов А.Г., Буймов С.А., Гущин А.А., Извекова Т.В. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие. – Иваново: Химико-технический ун-т, 2007;
35. Гладышев М.И. Биоманипуляция как инструмент управления качеством воды в континентальных водоёмах (обзор литературы): методическое пособие. – Красноярск, КрасГУ, НОЦ «Енисей», 2000;
36. Зоопланктон и его продукция: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов гидробиологических исследований на пресных водоёмах. – Л.: ЗИН АН СССР, ГОСНИОРХ, 1984;

37. Зообентос и его продукция: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов гидробиологических исследований на пресных водоемах. – Л.: ЗИН АН СССР, ГОСНИОРХ, 1983;
38. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / под ред. акад. А.Ф. Алимова, д-ра биол. наук М.Б. Ивановой; отв. за вып. проф. З.Г. Гольд. – Красноярск: СФУ, 2008;
39. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975;
40. Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю. Методы изучения пресноводного зоопланктона: учебно-метод. разработка. – Казань, 2002;
41. Определение продукции популяций водных сообществ: учеб.-метод. пособие / Под ред. А.Ф. Алимова, З.Г. Гольд. – Новосибирск: Наука, 2000;
42. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982.
43. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – М.: Гидрометеиздат, 1983;
44. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. – М.: Изд-во «Университет и школа», 2003;
45. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности: Учебное пособие. – М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004;
46. Строганов Н.С., Бузинова. Н.С. Гидрохимия: практическое руководство. – М.: МГУ, 1969;
47. Телитченко М.М., Кокин К.А. Санитарная гидробиология: руководство к практикуму, 1968.
48. Фитопланктон и его продукция: Методические рекомендации по сбору и обработке материалов гидробиологических исследований на пресных водоемах. – Л.: ЗИН АН СССР, ГОСНИОРХ, 1984;
49. Шарاپова Т.А. Зооперифитон внутренних водоёмов Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 2007;
50. Яшнов В.А. Практикум по гидробиологии. – М.: Высшая школа, 1969.

Часть литературных источников по отдельным темам указана в соответствующих разделах пособия.