

ФГОУ ВПО Алтайский государственный аграрный университет
Институт природообустройства

Учреждение Российской академии наук
Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения РАН

Алтайское отделение Гидробиологического общества РАН

Д.М. Безматерных

***ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ:
СОСТАВ, СТРУКТУРА, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ***

Учебное пособие

Рекомендовано УМО по образованию в области природообустройства
и водопользования в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
320600 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов»



Барнаул

Издательство Алтайского
государственного университета
2009

УДК 574.5
Б 398

Рецензенты:

доктор биологических наук *Г.Н. Мисейко*;
кандидат сельскохозяйственных наук *В.И. Заносова*

Б 398 **Безматерных, Д.М.**

Водные экосистемы: состав, структура, функционирование и использование : учебное пособие / Д.М. Безматерных. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2009. – 97 с.
ISBN 978-5-7904-0889-2

В пособии раскрыты основные понятия и термины водной экологии, содержатся сведения по составу, структуре и функционированию водных экосистем, приведена краткая информация по водным биоресурсам и аквакультуре. Рассмотрены основные типы континентальных водных экосистем на примере водных объектов Алтайского края.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности 320600 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», при изучении курсов «Экология» и «Гидробиология», преподавателей вузов, а также специалистов в области охраны и комплексного использования водных ресурсов.

Библ.: 96 наим., табл. 7, рис. 43, прил. 1.

УДК 574.5

Печатается по решению учебно-методической комиссии Института природообустройства АГАУ и ученого совета Института водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН

ISBN 978-5-7904-0889-2

© Д.М. Безматерных, 2009
© Оформление. Издательство
Алтайского государственного
университета, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	16
Основные абиотические факторы водных экосистем	22
Биотические компоненты водных экосистем	29
2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ..	41
Реки	41
Каналы	46
Водохранилища	46
Озера и пруды	49
Болота	55
3. ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ	56
Реки	56
Озера	61
4. АКВАКУЛЬТУРА И ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ	70
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	80
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	82
ПРИЛОЖЕНИЕ. Систематическое положение организмов, обитающих в континентальных водах	86
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	94

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие подготовлено в соответствии с программой спецкурса «Водные экосистемы», который разработан в Институте природообустройства Алтайского государственного аграрного университета и предназначен для студентов 2-го курса, обучающихся по специальности 320600 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов». Кроме того, пособие может быть полезным при изучении курсов «Экология» и «Гидробиология». В пособии раскрыты основные понятия и термины водной экологии, содержатся сведения по составу, структуре и функционированию водных экосистем, приведена краткая информация по водным биоресурсам и аквакультуре. Даны примеры основных водных экосистем, кратко описаны ведущие промысловые гидробионты.

При составлении учебного пособия большая часть определений терминов приведена по «Большой советской энциклопедии» (БСЭ, 1969–1978), «Биологическому энциклопедическому словарю» (БЭС, 1995) и «Большой энциклопедии Кирилла и Мефодия» (БЭКМ, 2005). Значительная часть фактической информации и иллюстраций заимствованы из ставших классическими пособий В.И. Жадина, С.В. Герда «Реки, озера и водохранилища СССР, их флора и фауна» (1961), Ю. Одума «Основы экологии» (1975) и «Экология» (1986), А.С. Константинова «Общая гидробиология» (1979, 1986), Н.А. Березиной «Гидробиология» (1984), а также других научных изданий и учебников для вузов.

Выражаю искреннюю благодарность всем сотрудникам Лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН и Института природообустройства Алтайского государственного аграрного университета, оказавшим неоценимую помощь в подготовке этого пособия, и особенно кандидату биологических наук, доценту В.В. Кириллову за внимательное прочтение рукописи, ценные замечания и предложения.

Автор также будет благодарен за все замечания и пожелания, которые можно присылать по e-mail: bezmater@iwep.asu.ru.

Д.М. Безматерных,
кандидат биол. наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ

Экология (от греч. *oikos* – дом, жилище, местопребывание и *логос* – слово, учение) – наука об отношениях живых организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей средой (БЭС, 1995). Объектами экологии могут быть популяции организмов, виды, сообщества, экосистемы и биосфера в целом (рис. 1, 2).

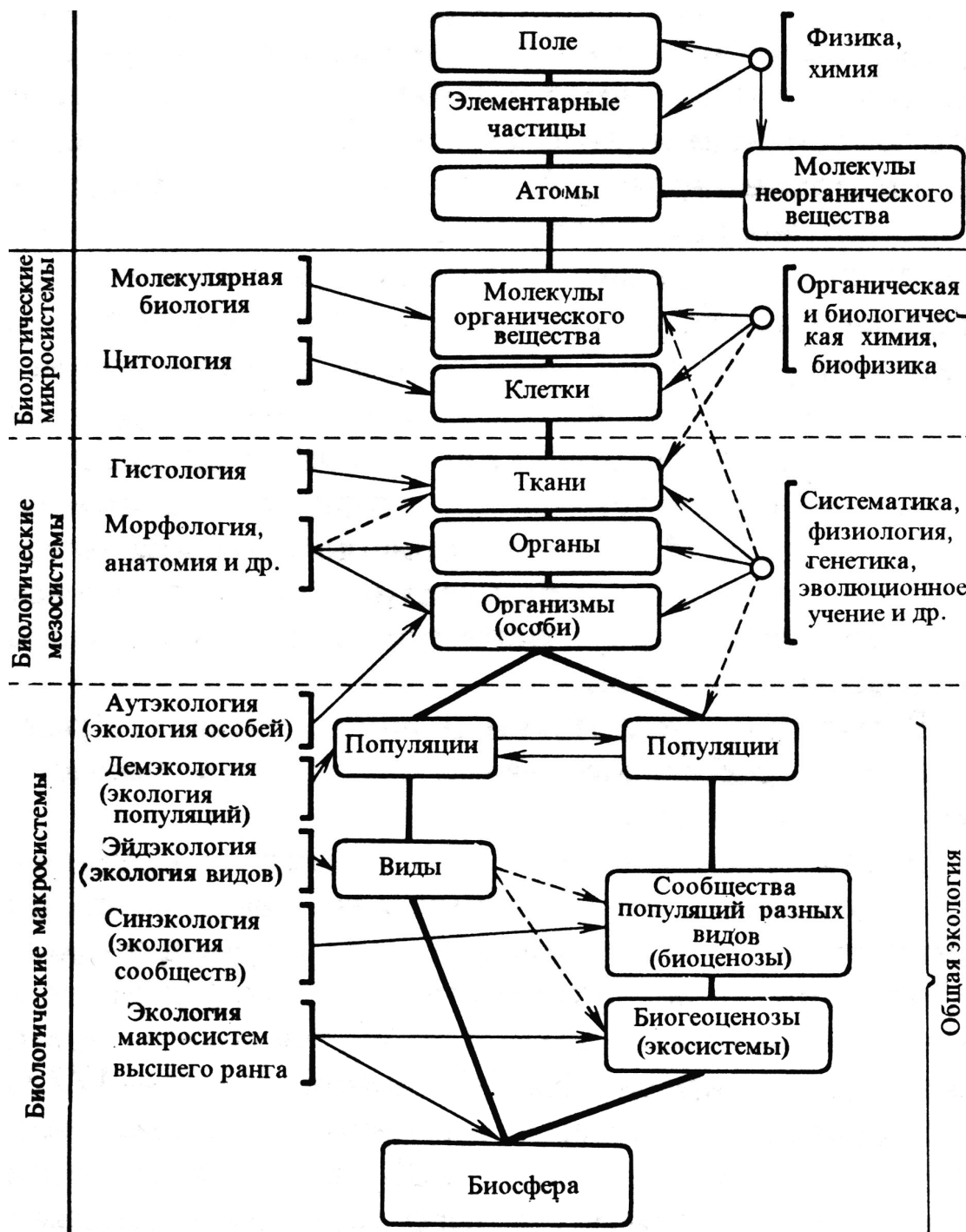


Рис. 1. Строение мира и положение биологических наук, изучающих различные уровни его организации (по: Радкевич, 1998)

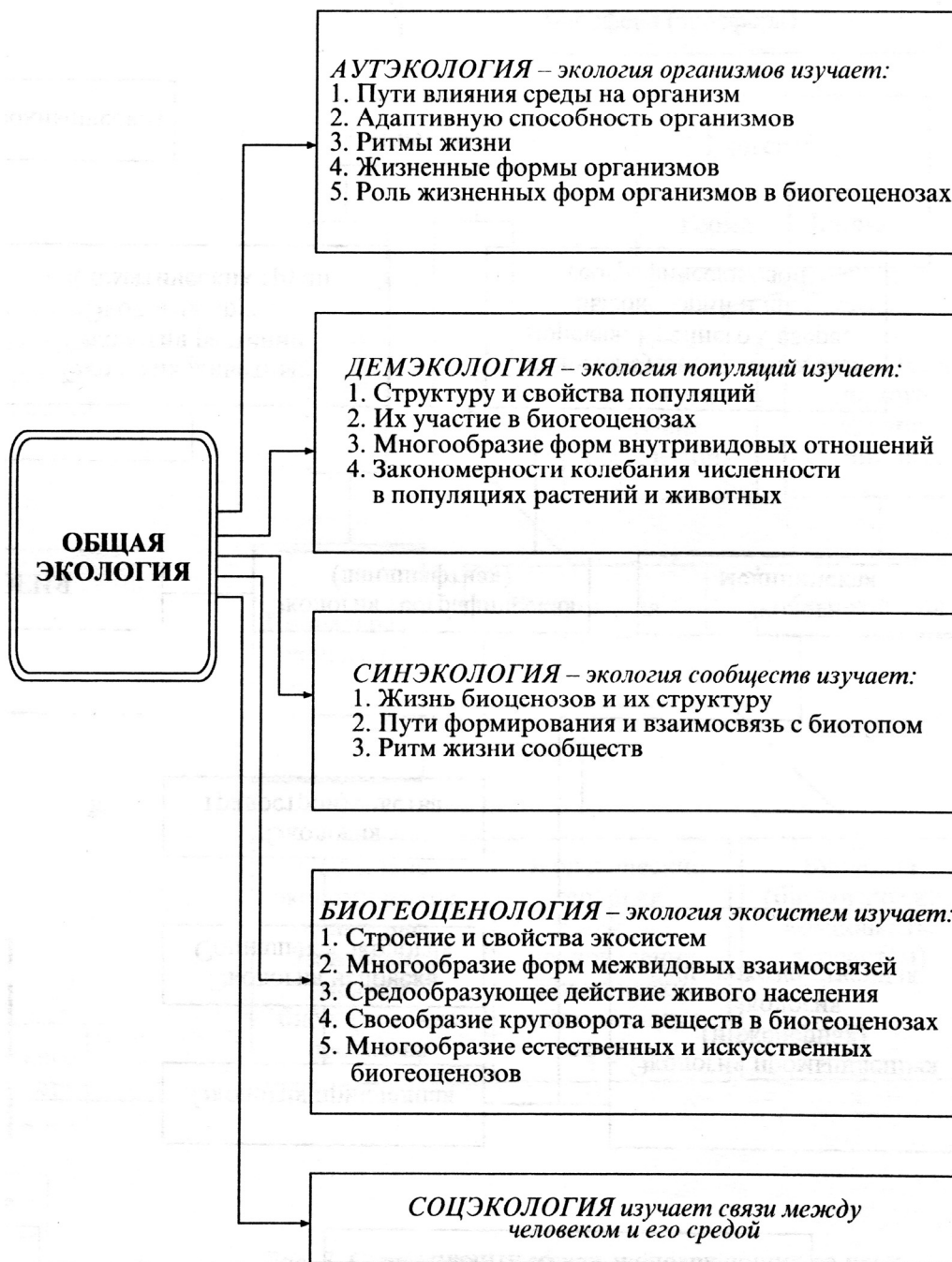


Рис. 2. Предмет, методы и задачи экологии (по: Булатов, 2000)

Первый период развития экологии можно выделить от древнейших времен до 1866 г., в это время происходило накопление эмпирических экологических знаний (Розенберг и др., 2000). Это был подготовительный период, период «наивной экологии», когда ее элементы появляются в трудах ботаников, зоологов и других естествоиспытателей (определение экологии и обоснование ее в качестве самостоятельной научной дисциплины). Характерная черта этого периода – отсутствие собственного понятийного аппарата. Этот период завершается определением экологии, которое дал в 1866 г. немецкий ученый Эрнст Геккель. Несколько позже Э. Геккель конкретизировал это понятие: «...Под экологией мы подразумеваем науку об экономии, о домашнем быте животных организмов. Она исследует общие отношения животных как

к их неорганической, так и к органической среде, их дружественные и враждебные отношения к другим животным и растениям, с которыми они вступают в прямые и не прямые контакты, или, одним словом, все те запутанные взаимоотношения, которые Дарвин условно обозначил как борьбу за существование. Эта экология... до сих пор представляла главную составную часть так называемой естественной истории в обычном смысле слова».

Второй период – с 1866 по 1935 г. (определение экосистемы). Это период формирования факториальной экологии, вскрытие закономерностей отношения животных или растений к разнообразным абиотическим факторам.

Третий период – с 1936 г. до начала 70-х гг. Это период синэкологических исследований, когда на передний план вышло изучение взаимоотношений популяций в экосистемах. Основой методологии становится системный подход, особенно бурно в экологии развиваются математические методы, появляются разнообразные аналитические и имитационные модели экосистем. Основу этого периода составляли семь положений:

- оформление экологии как фундаментально-теоретической дисциплины;
- представление о преимущественном нахождении природы в равновесии;
- синэкологический подход;
- примат конкурентных отношений;
- малый «вес» эволюционных факторов в развитии экосистем;
- стремление к их классификации (т.е. представление о дискретности экосистем);
- превалирование детерминированных (строго функциональных) представлений о взаимосвязях компонент в экосистемах.

С середины XX в. в связи с усилившимся воздействием человека на природу экология приобрела особое значение как научная основа рационального природопользования и охраны живых организмов, а сам термин «экология» – более широкий смысл. По мнению Р. Риклефса (1979), «...экология стала настолько популярной, что под ее рубрику подводят все что угодно: строительство очистных сооружений, региональное планирование землепользования, вторичную переработку бумаги и выращивание овощей на одних лишь органических удобрениях. Вся эта деятельность, пусть необходимая, по большей части представляет собой просто попытки смягчить тот удар, который нанесет нам Природа своим приговором за наше вопиющее нарушение ее законов...».

Четвертый период развития классической биологической экологии – с начала 70-х до середины 80-х гг. В это время семи «тезам» третьего периода были противопоставлены соответствующие «антитезы»:

- трудности в выявлении каких-то общих законов развития сообществ;
- постоянные нарушения равновесных состояний;
- вновь возросший интерес к популяционным исследованиям;
- отказ от конкуренции как основного фактора формирования сообщества;
- изучение экосистем в их развитии (включая и эволюционные факторы);
- превалирование концепции континуума над концепцией дискретности экосистем;

- возросшая роль случайных факторов в объяснении структуры и динамики экосистем.

Наконец, *пятый период* – последние 15–20 лет, когда наметилась тенденция объединения представлений детерминированно-популяционного второго периода, детерминированно-синэкологического третьего и стохастическо-популяционного четвертого, что позволяет говорить о начале становления истинно системного подхода к изучению экологических объектов. Наиболее удачным примером такого подхода может служить вышедшая в 1986 г. и переведенная у нас в 1989 г. книга М. Бигона с соавторами «Экология. Особи, популяции и сообщества».

Современная экология – это комплексная, быстро развивающаяся наука, характеризующаяся большим кругом проблем. Сложная структура экологии определяется тем, что объекты ее относятся к очень разным уровням организации: от целой биосферы и крупных экосистем до популяций, причем популяция нередко рассматривается как совокупность отдельных особей. Масштабы пространства и времени, в которых происходят изменения этих объектов, и которые должны быть охвачены исследованиями, также варьируют чрезвычайно широко: от тысяч километров до метров и сантиметров, от тысячелетий до недель и суток. В 1970-е гг. формируется экология человека. По мере давления на окружающую среду возрастает практическое значение экологии, ее проблемами широко интересуются инженеры, управленцы, философы, социологи и многие другие специалисты (рис. 3).



Рис. 3. Современные разделы экологии (по: Никаноров, Хоружая, 2001)

Гидробиология (от гидро... – вода и биология) как часть экологии изучает состав, структуру и функционирование водных экосистем, фокусируя свое внимание в значительной мере на их биотической составляющей, т.е.

водном биоценозе. Понятие «состав» шире понятия «видовой состав», так как включает в число взаимодействующих элементов системы помимо гидробионтов и расходуемые абиотические ресурсы, прежде всего биогенные элементы, все формы растворенного и взвешенного мертвого органического вещества, а также микроэлементы. Понятие «структура» рассматривает все виды взаимодействий (т.е. взаимоотношений) между элементами экосистемы независимо от физической природы связей. Результатом взаимодействия является «функционирование» системы, т. е. изменение свойств и количественных характеристик элементов во времени (Федоров, 2004). Основным объектом изучения гидробиологии являются водные экосистемы, в которых биотические и абиотические элементы связаны функционально в единое целое на базе круговорота веществ и трансформации потока энергии. Основным методом современной гидробиологии является системный анализ структуры, функции и связей популяций и биоценозов между собой и с факторами среды обитания (Кожова, 1987).

Условия жизни в водной среде определяются физико-географическими особенностями водоёма, многие из которых, например химический состав воды, в особенности состав биогенных элементов и растворённых газов и их количество, характер донных отложений, прозрачность воды и другое, находятся под влиянием водных организмов и часто определяются их жизнедеятельностью. Поэтому в той мере, в какой гидробиология изучает значение жизненных явлений в общей совокупности взаимообусловленных процессов в водной среде, она имеет общие задачи с комплексными географическими дисциплинами – лимнологией и океанологией. На этом уровне исследований решаются такие проблемы, как биологическая структура, биолимнологическая и биоокеанологическая типология водоёмов и водных масс, закономерности круговорота вещества, потока энергии и информации (Винберг, 1969–1978б).

Значительное место в гидробиологии занимает разработка научных основ рациональной эксплуатации биологических ресурсов водной среды, связанная с запросами морского и пресноводного рыбного хозяйства, прудового рыбоводства, промысла водных беспозвоночных животных и млекопитающих (рыбохозяйственная, или промысловая, гидробиология).

Другим направлением практического приложения гидробиологии и стимулом её развития служит комплекс биологических вопросов, связанных с использованием континентальных поверхностных пресных вод для питьевого и промышленного водоснабжения, охраной природных вод от загрязнений, изучением процессов самоочищения загрязнённых вод и методов биологической очистки сточных вод (санитарная гидробиология). Методы гидробиологии используются для оценки степени загрязнения воды по наличию определённых индикаторных организмов (биологический анализ качества вод).

Изучается значение водных организмов как агентов процесса самоочищения. Смежные вопросы, касающиеся главным образом биологических помех водоснабжению и эксплуатации судов (обрастание микроорганизмами и прикрепленными животными корпусов судов, различных аппаратов и гидротехнических устройств, труб и водоводов тепловых электростанций, зараста-

ние водохранилищ водными растениями, повреждение судов и портовых сооружений древоточцами и камнеточцами), относят к технической гидробиологии. Возникают и новые задачи; например, выявление влияния планктона на поглощение и рассеивание звука – сведения, необходимые гидроакустикам. Иногда выделяют навигационную гидробиологию, изучающую биологические помехи эксплуатации флота, включая биолюминесценцию, и сельскохозяйственную гидробиологию, к которой относят, например, изучение роли гидробионтов в удобрении рисовых полей и разведении рыб в этих водах.

Природные сообщества водных организмов, составляющие население водной среды, стали систематически исследоваться только со второй половины XIX в., что и привело в дальнейшем к обособлению гидробиологии от ботаники и зоологии, издавна занятых изучением как наземных, так и водных организмов. Для формирования гидробиологии как науки, имеющей свой объект изучения, свои методы и задачи, большое значение имели первые количественные исследования специфичной для водной среды жизненной формы – планктона, начатые в 80-е гг. XIX в. немецким ученым В. Ганзеном. На примере Кильской бухты он показал необходимость количественных сведений о планктоне как источнике пищи для промысловых рыб и основы биологической продуктивности моря. Позднее, но также главным образом в интересах развития рыбного хозяйства, было начато количественное изучение организмов, обитающих на дне водоёмов, – бентоса. Количественные исследования бентоса получили общее распространение после того, как были применены приборы для взятия проб – дночерпатели, впервые предложенные в 1911 г. для морских исследований датским учёным К. Петерсеном и для пресноводных – шведским учёным С. Экманом.

Самое широкое распространение в гидробиологии получили количественные методы исследования природных сообществ водных организмов, служащие для определения численности (плотности) особей отдельных видов и их биомассы. Для этой цели применяют многие специальные гидробиологические приборы: планктонные сети, планктоноуловители, планктоночерпатели, дночерпатели различных конструкций и др. (рис. 4).

Первый преимущественно флористический, фаунистический и биогеографический этап исследований по гидробиологии связан с необходимостью изучения видового состава и распределения населения морей и внутренних вод. Эта задача, в особенности по отношению к менее изученным районам и систематическим группам организмов, до сих пор не потеряла своего значения. Выполнена огромная работа по изучению состава населения пресных вод и морей. Материалы собирались главным образом во время экспедиций. Выдающееся значение имела английская морская экспедиция на судне Челленджер (1872–1876 гг.), положившая начало изучению жизни на больших глубинах. Начиная с последней четверти XIX в., во многих странах учреждались морские и пресноводные биологические станции, что создало новые возможности для углублённых круглогодичных гидробиологических исследований. Современная гидробиология широко использует как экспедиционные, так и углублённые стационарные исследования.

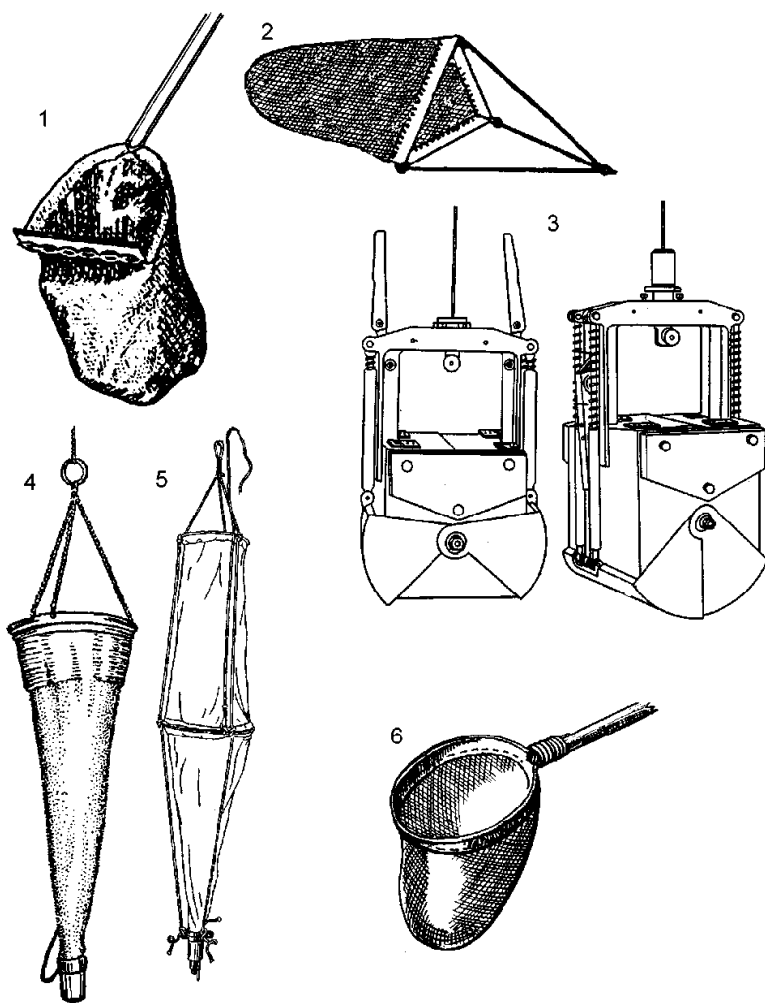
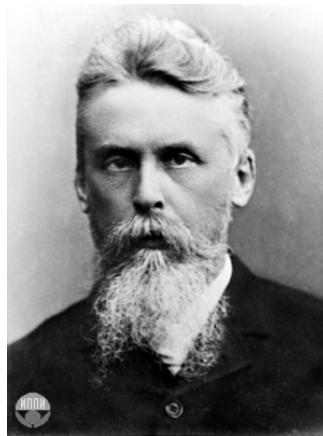


Рис. 4. Орудия сбора бентоса и планктона (по: Чертопруд, Чертопруд, 2003):
 1 – скребок;
 2 – закидная треугольная драга;
 3 – дночерпатель Экмана-Берджа в раскрытом и закрытом виде;
 4 – качественная планктонная сеть Апштейна;
 5 – количественная планктонная сеть Джеди;
 6 – планктонный сачок

Для развития пресноводной гидробиологии большое значение имели работы В.М. Арнольди, А.Л. Бенинга, Г.Ю. Верещагина, В.Н. Воронкова, В.И. Жадина, С.Г. Лепневой, В.М. Рылова, Д.О. Свиренко и многих других, а также исследования, проведённые в 20–30-х гг. XX в. на Косинской и Глубокоозёрской биостанциях под Москвой (Л.Л. Россолимо, С.И. Кузнецов, Г.Г. Винберг, Е.В. Боруцкий, Г.С. Карзинкин и др.), байкальской биостанции Иркутского университета (М.М. Кожов). Ещё в начале XX в. в морских научно-промысловых экспедициях Н.М. Книповича, в работах С.А. Зернова и К.М. Дерюгина были заложены основы российских морских гидробиологических исследований. В советское время они получили самое широкое развитие, начиная с работ по изучению Баренцева моря, проведённых под руководством И.И. Месяцева и Л.А. Зенкевича в 20-е гг. Плавающим морским научным институтом, созданным в 1921 г. Большие достижения российских морских гидробиологических исследований (с участием В.Г. Богорова, В.А. Водяницкого, Е.Ф. Гурьяновой, П.И. Усачёва, А.А. Шорыгина, В.А. Яшнова и др.), обобщённые в книге Л.А. Зенкевича (1963), пользуются мировым признанием (рис. 5).



Академик БЭР
Карл Максимович
(Карл Эрнст), фон
(1792–1876 гг.)



Академик КНИПОВИЧ
Николай Михайлович
(1862–1939 гг.)



Член-корреспондент АН
АРНОЛЬДИ Владимир
Митрофанович
(1871–1924 гг.)



Академик ЗЕРНОВ
Сергей Алексеевич
(1871–1945 гг.)



Академик ЗЕНКЕВИЧ
Лев Александрович
(1889–1970 гг.)



Член-корреспондент АН
БОГОРОВ Вениамин
Григорьевич (1904–1971 гг.)



Член-корреспондент АН
НИКОЛЬСКИЙ
Георгий Васильевич
(1910–1977 гг.)



Член-корреспондент АН
ВИНБЕРГ
Георгий Георгиевич
(1905–1987 гг.)



Академик АЛИМОВ
Александр Федорович
(г.р. 1933)

Рис. 5. Отечественные ученые – действительные (академики), почетные члены и члены-корреспонденты Академий наук России и СССР, внесшие наибольший вклад в исследование водных экосистем России (фото по: www.ras.ru)

По мере накопления сведений о составе населения разных водоёмов внимание было направлено на выяснение экологических условий формирования определённых биоценозов и обитания отдельных видов водных организмов.

В гидробиологии много внимания уделяется развитию представлений о значении биологических явлений для классификации природных вод, теории биологической продуктивности, закономерностям биотического круговорота веществ и потока энергии в водных сообществах.

На очереди гидробиологических исследований стоит выяснение функционального значения водных организмов в протекающих в водной среде процессах, что необходимо для управления биологической продуктивностью и процессами самоочищения и для рационального использования биологических ресурсов. Функциональные особенности водных организмов могут быть выяснены только с помощью экспериментальных исследований обмена веществ, роста, питания и химического состава водных организмов. Для развития этого направления исследований большое значение имели работы Н.С. Гаевской, В.С. Ивлева, С.Н. Скадовского.

Решение ряда гидробиологических вопросов нередко требует исследований на самых разных уровнях – от молекулярного, клеточного и организменного до популяционного и биоценотического. Например, при выяснении причин чрезмерного развития фитопланктона («цветения воды») необходимо принимать во внимание, с одной стороны, взаимодействие разных видов водорослей и микробов через выделяемые в воду специфические метаболиты, с другой – круговорот биогенных элементов (азот, фосфор и др.), зависящий от свойств водоёма в целом и от стока с его водосборной площади.

Закономерная взаимозависимость всех явлений в водоёме, являющемся целостным природным объектом, была подчёркнута в конце XIX – начале XX в. в классических работах швейцарского лимнолога Ф. Фореля. В 20-х гг. XX в. А. Тинеман (Германия) и Э. Науман (Швеция) показали возможность подразделения озёр, как и других водоёмов, на биолимнологические типы (олиготрофный, мезотрофный, эвтрофный, дистрофный и др.). Проблема типологии и классификации природных вод продолжает разрабатываться.

Большая сложность и разнородность природных явлений, с которыми имеет дело гидробиология, привели к использованию многих методов исследования, например: радиоуглеродный метод измерения интенсивности фотосинтеза планктона, предложенный датским учёным Е. Стеман-Нильсоном, с помощью которого уже получены данные, позволяющие судить о первичной продукции океана и гидросферы в целом; спектрофотометрические методы определения содержания хлорофилла в планктоне; методы изучения роли водных бактерий (Э.Л. Исаченко, В.С. Буткевич, А.С. Разумов, С.И. Кузнецов, Ю.И. Сорокин). При морских и некоторых пресноводных исследованиях отбор проб и наблюдения ведутся с помощью аквалангистов, на больших глубинах применяется подводное телевидение и фотографирование, с помощью эхолотов прослеживается распределение водных организмов; новейшие физические методы используются для изучения биолюминесценции в глубинах мо-

ря, для понимания взаимосвязи процессов, идущих в водных экосистемах, привлекается метод математического моделирования, применяются ЭВМ.

Для гидробиологии, особенно в России, характерно возрастающее влияние теоретических исследований на решение вопросов непосредственно практического значения. Гидробиологические знания и методы широко используются для оценки кормовой базы водоёмов как основы их рыбопродуктивности, при промысловой разведке, при рыборазведении.

Успехи гидробиологии позволили применять активные методы воздействия на биологическую продуктивность водоёмов. В предвоенные годы под руководством Л.А. Зенкевича проведён эксперимент по обогащению донной фауны Каспийского моря, куда был вселён многощетинковый червь nereis, который играет важную роль в питании осетровых рыб. Успешно проведена акклиматизация кормовых организмов, главным образом ракообразных, во многих водохранилищах и некоторых озёрах, например в оз. Балхаш. В результате гидробиологических исследований предложены новые методы повышения рыбопродуктивности прудов путём внесения минеральных удобрений, которые вошли в практику прудового рыбоводства и существенно способствовали повышению его производительности. В области санитарной гидробиологии развёртывается изучение влияния на водные организмы и их сообщества токсических веществ промышленных стоков, механизма биологического самоочищения вод и других вопросов, относящихся к актуальной проблеме обеспечения растущих потребностей человечества в чистой воде (Винберг, 1969–1978б).

На внутренних водоёмах России гидробиологические исследования ведутся Институтом биологии внутренних вод РАН, Лимнологическим институтом СО РАН, Государственным научно-исследовательским институтом озёрно-речного хозяйства (ГосНИОРХ), Зоологическим институтом РАН, университетами (Московским, Саратовским, Иркутским и др.) и другими учреждениями. Исследованиями по морской гидробиологии в широких масштабах занимаются Институт океанологии РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) и его бассейновые институты: Тихоокеанский (ТИНРО) во Владивостоке, Полярный (ПИНРО) в Мурманске, Атлантический (АтлантНИРО) в Калининграде, Зоологический институт РАН, университеты (например Московский, Ленинградский) и др.

В Алтайском крае гидробиологические исследования постоянно проводятся в Лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Алтайском НИИ водных биоресурсов и аквакультуры (Алтайский филиал «ФГУП Госрыбцентр») и на биологическом факультете Алтайского госуниверситета.

Из международных организаций наибольшее значение для гидробиологии имеют: созданный в 1902 г. Постоянный международный совет по изучению моря (г. Копенгаген), издающий *Journal du Conseil* (с 1926 г.), Международная ассоциация лимнологов, существующая с 1922 г. и регулярно созывающая конгрессы лимнологов.

Старейший международный гидробиологический журнал *Archiv für Hydrobiologie* издается с 1906 г. Выходит также *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographies* (с 1908 г.). С 1956 г. в США издаётся международный журнал *Limnology and Oceanography*. Большой авторитет имеет журнал *Hydrobiologia*, выпускаемый издательством Springer.

В России основным журналом по гидробиологии континентальных вод является «Биология внутренних вод», издаваемый Российской академией наук, ранее, в СССР, таким считался издаваемый на Украине «Гидробиологический журнал».

1. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Экосистема (от греч. *oikos* – жилище, местопребывание и система) – единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания (атмосфера, почва, водоем и т.п.), в котором живые и косные компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии. Понятие экосистема применяется к природным объектам различной сложности и размеров: океан или небольшой пруд, тайга или участок березовой рощи (рис. 6). В русскоязычной и немецкой литературе распространен термин «**биогеоценоз**» (от греч. *bios* – жизнь и *koinos* – общий) – однородный участок земной поверхности с определенным составом живых (биоценоз) и косных (приземный слой атмосферы, солнечная энергия, почва и др.) компонентов и динамическим взаимодействием между ними (обмен веществом и энергией). Термин «биогеоценоз», который предложил В.Н. Сукачев, часто употребляется как синоним термина «экосистема». Некоторые ученые рассматривают биогеоценоз в качестве мельчайшей единицы ландшафта – элементарного ландшафта, или фации (Перельман, 1977).

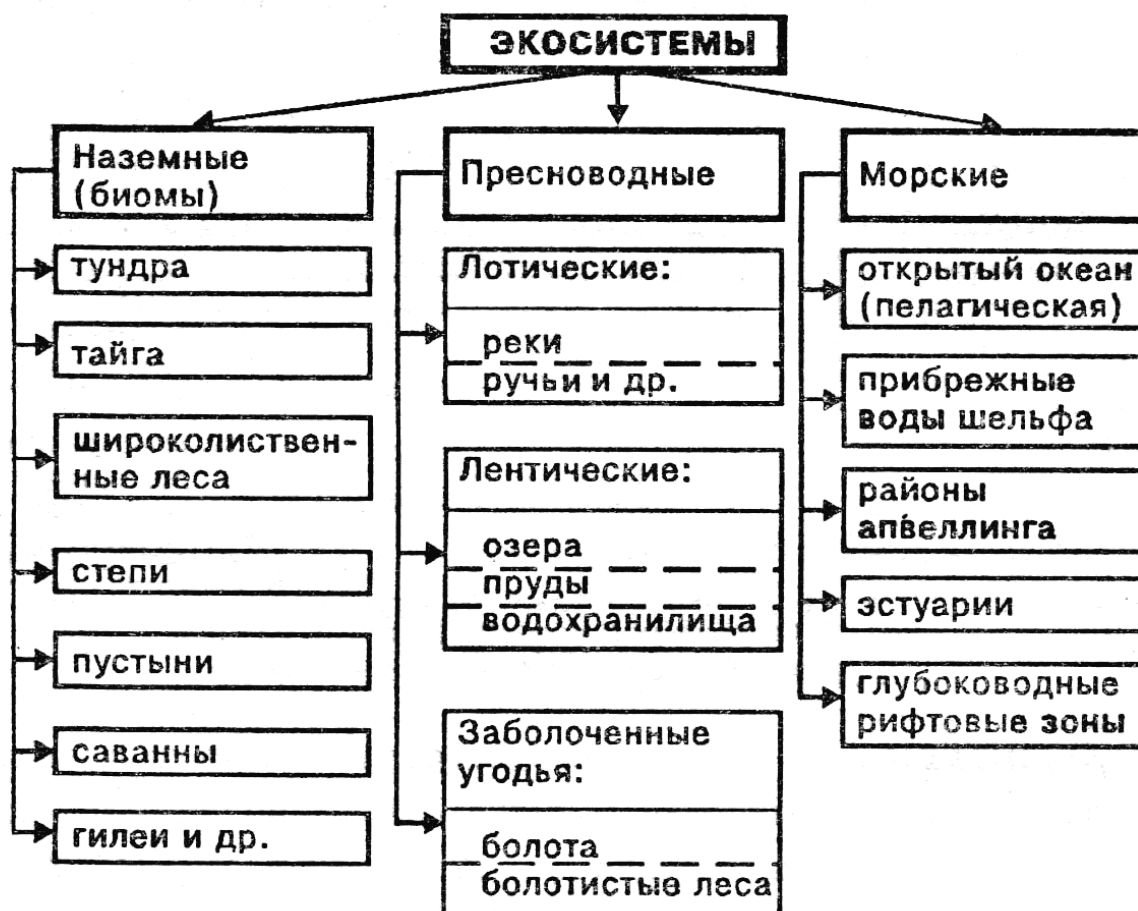


Рис. 6. Основные типы природных экосистем (по: Вронский, 1996)

Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. видным английским экологом-ботаником А. Тенсли для обозначения естественного комплекса живых организмов и физической среды, в которой они обитают. Однако исследования, которые с полным основанием можно назвать экосистемными, начали проводиться значительно раньше, и бесспорными лидерами здесь были гидробиологи. Гидробиология, а особенно лимнология с самого начала были комплексными науками, имевшими дело сразу со многими живыми организмами и с их средой обитания. Изучались при этом не только взаимодействия организмов, не только их зависимость от среды, но и, что не менее важно, — влияние самих организмов на физическую среду (рис. 7).

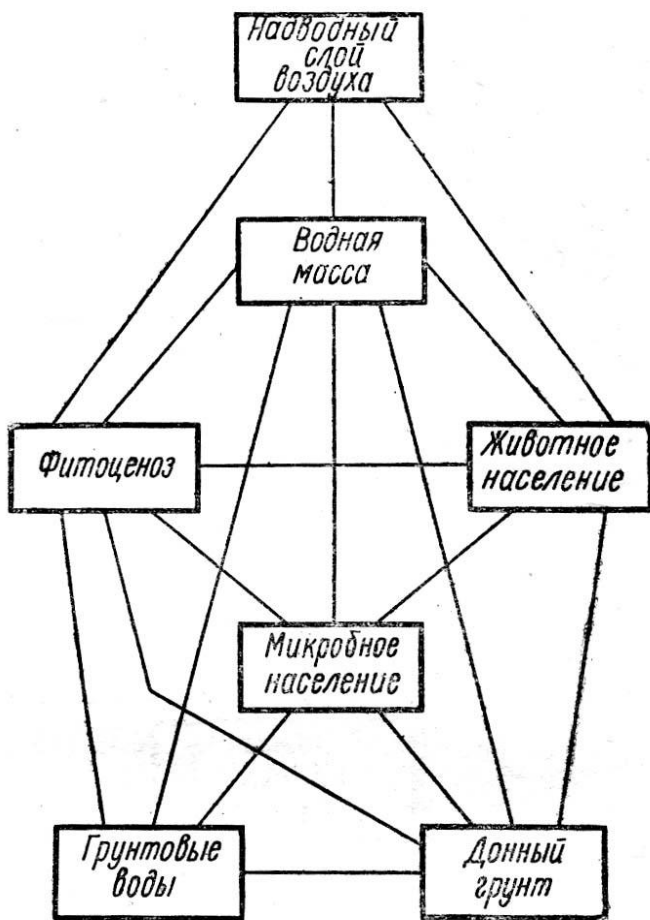


Рис. 7. Принципиальная схема состава и внутренней структуры типовой водной экосистемы (по: Федоров, Гильманов, 1980)

Нередко объектом исследований для лимнологов был целый водоем, в котором физические, химические и биологические процессы теснейшим образом взаимосвязаны. Уже в самом начале XX в. американский лимнолог Э. Бердж с помощью строгих количественных методов изучает «дыхание озер» — сезонную динамику содержания в воде растворенного кислорода, которая зависит как от процессов перемешивания водной массы и диффузии кислорода из воздуха, так и от жизнедеятельности организмов. Существенно, что среди последних как производители кислорода (планктонные водоросли), так и его потребители (большинство бактерий и все животные). В 1930-х гг. большие успехи в изучении круговорота вещества и трансформации энергии были достигнуты в России на Косинской лимнологической станции под Мо-

ской. Возглавлял станцию в это время Л.Л. Россолимо, предложивший так называемый «балансовый подход», уделяющий основное внимание круговороту веществ и трансформации энергии. В рамках этого подхода начал свои исследования первичной продукции (т.е. создания автотрофами органического вещества) и Г.Г. Винберг, используя метод «темных и светлых склянок». Суть его в том, что о количестве образовавшегося при фотосинтезе органического вещества судят по количеству выделившегося кислорода.

Спустя три года аналогичные измерения были осуществлены в США Г.А. Райли. Инициатором этих работ был Дж. Хатчинсон, который своими собственными исследованиями, а также горячей поддержкой начинаний многих талантливых молодых ученых оказал значительное влияние на развитие экологии (особенно лимнологии) не только в США, но и во всем мире. К сожалению, в настоящее время этот подход на практике используется крайне редко. Главная причина свертывания балансово-энергетических исследований обусловлена крайней сложностью объединения в рамках одного проекта усилий большого числа специалистов разного профиля, а также длительностью и трудоемкостью таких исследований (Крылов, 2002). Эти исследования имели большое значение в понимании процесса антропогенного эвтрофирования озер и разработке методов восстановления их экосистем (Хендерсон-Селлерс, Маркленд, 1990; Эдмондсон, 1998).

В качестве примера рассмотрим экосистему пруда, которую можно представить в виде следующих основных компонентов (Одум, 1975, рис. 8).

- **Абиотические компоненты** (окружающая среда). Это основные органические и неорганические соединения (вода, углекислота, кислород, кальций, азотные и фосфорные соли, аминокислоты, гуминовые кислоты и т.д.), а также различные виды энергий и излучений (тепловое, световое, ультрафиолетовое, радиационное и др.). Небольшая часть необходимых для жизни элементов питания находится в растворе и непосредственно доступна организмам, но значительно большее количество их заключено в продуктах разрушения (особенно в донных отложениях), а также в самих организмах. Скорость перехода питательных веществ в раствор, поступление солнечной энергии, а также температурные циклы, длина дня и другие климатические режимы – таковы важнейшие процессы, регулирующие интенсивность функционирования экосистемы.
- **Продуценты** (автотрофы, в основном фототрофы). В пруду могут быть продуценты двух главных типов: а) укореняющиеся или крупные плавающие растения, обычно обитающие только на мелководье (макрофиты), и б) мелкие плавающие растения, обычно водоросли, называемые фитопланктоном, которые распространены в толще воды на глубине проникновения света. При избытке фитопланктона в воде она принимает зеленоватый цвет; в других случаях продуценты не заметны случайному наблюдателю, и неспециалист не подозревает об их присутствии. Тем не менее в относительно больших глубоких прудах и озерах (как и в океане) фитопланктон играет большую роль в обеспечении экосистемы пищей, чем прикрепленные растения.

- **Консументы, или фаготрофы** (гетеротрофы). К этой группе относятся животные (личинки насекомых, ракообразные, рыбы). Первичные консументы (растительноядные) питаются непосредственно живыми растениями или растительными остатками и подразделяются на два типа: зоопланктон (животный планктон) и зообентос (донные формы). Вторичные консументы (плотоядные), такие как хищные насекомые и хищные рыбы, питаются первичными консументами, друг другом или другими вторичными консументами (становясь при этом третичными консументами). Еще один важный тип консументов – детритофаги, которые существуют за счет «дождя» органического детрита, падающего вниз из автотрофных ярусов.
- **Редуценты, или сапротрофы** (гетеротрофы). Водные бактерии, жгутиковые и грибы распространены в пруду повсеместно, но особенно они обильны на дне, на границе между водой и илом, где накапливаются мертвые растения и животные. Некоторые бактерии и грибы являются патогенными, т.е. поражают живые организмы, вызывая болезни, но огромное большинство их поселяется на организмах лишь после их смерти. При благоприятных температурных условиях разложение в водной массе идет быстро; мертвые организмы сохраняются недолго и вскоре расчлняются на части, потребляемые животными-детритофагами и микроорганизмами, а содержащиеся в них питательные вещества высвобождаются для нового использования.

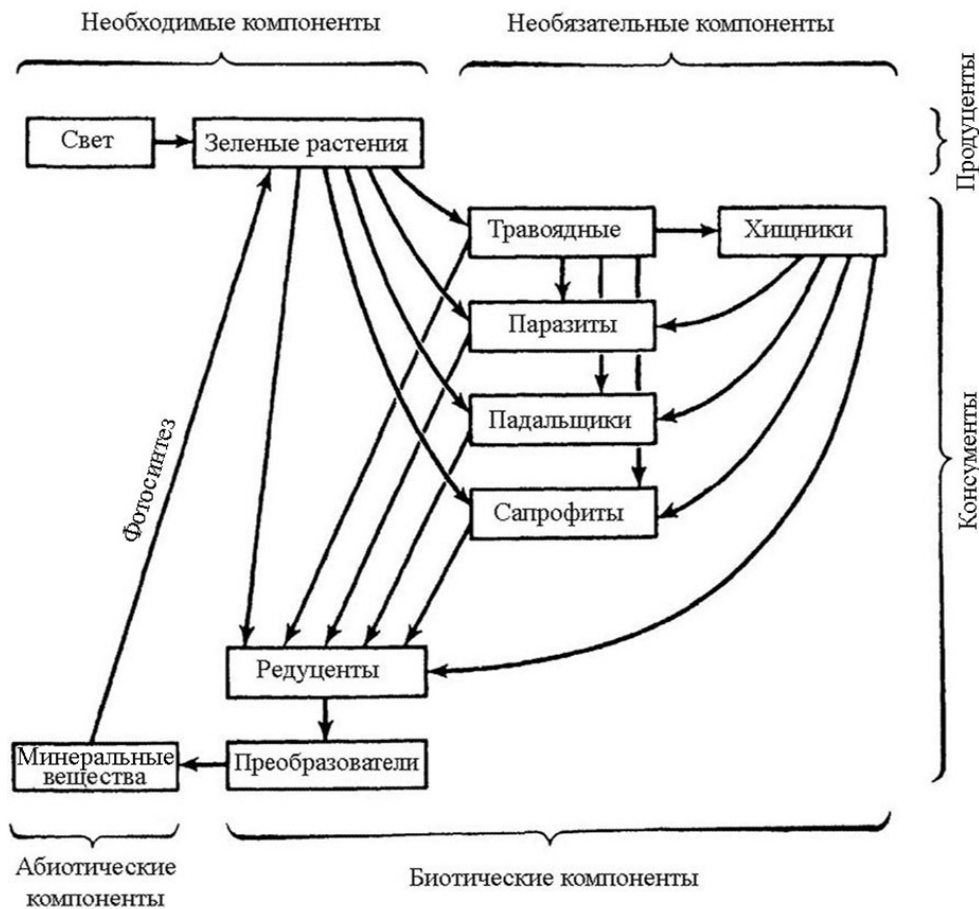


Рис. 8. Принципиальные уровни и компоненты самодостаточной экосистемы (по: Clarke, 1954)

Важной функцией любой экосистемы является участие в круговороте веществ и энергии. **Круговорот веществ** – это повторяющиеся процессы превращения и перемещения вещества в природе, имеющие более или менее циклический характер (Виноградов, 1969–1978). Общий круговорот веществ складывается из отдельных процессов (круговорот воды, газов, химических элементов), которые не являются полностью обратимыми, так как происходит рассеяние вещества, изменение его состава. С появлением жизни на Земле огромную роль в круговороте веществ играют живые организмы (круговорот кислорода, углерода, водорода, кальция и других биогенных элементов).

Глобальное, сравнимое с геологическими процессами влияние на круговорот веществ и энергии оказывает деятельность человека, в результате которой возникают новые и изменяются сложившиеся в природе пути миграции веществ, появляются новые вещества. Глубокое изучение превращений вещества и энергии в природе и учет последствий, связанных с воздействием на эти процессы деятельности человека, – необходимое условие сохранения окружающей среды в пригодном для жизни состоянии.

На рисунке 9 дана упрощенная схема круговорота веществ и энергии в водоеме; на рисунках 10 и 12 показаны схемы круговорота наиболее важных биогенных химических элементов. Как видно из схем, круговорот веществ в водных экосистемах тесно связан с атмосферой и водосборным бассейном, а также может сильно зависеть от антропогенного воздействия.

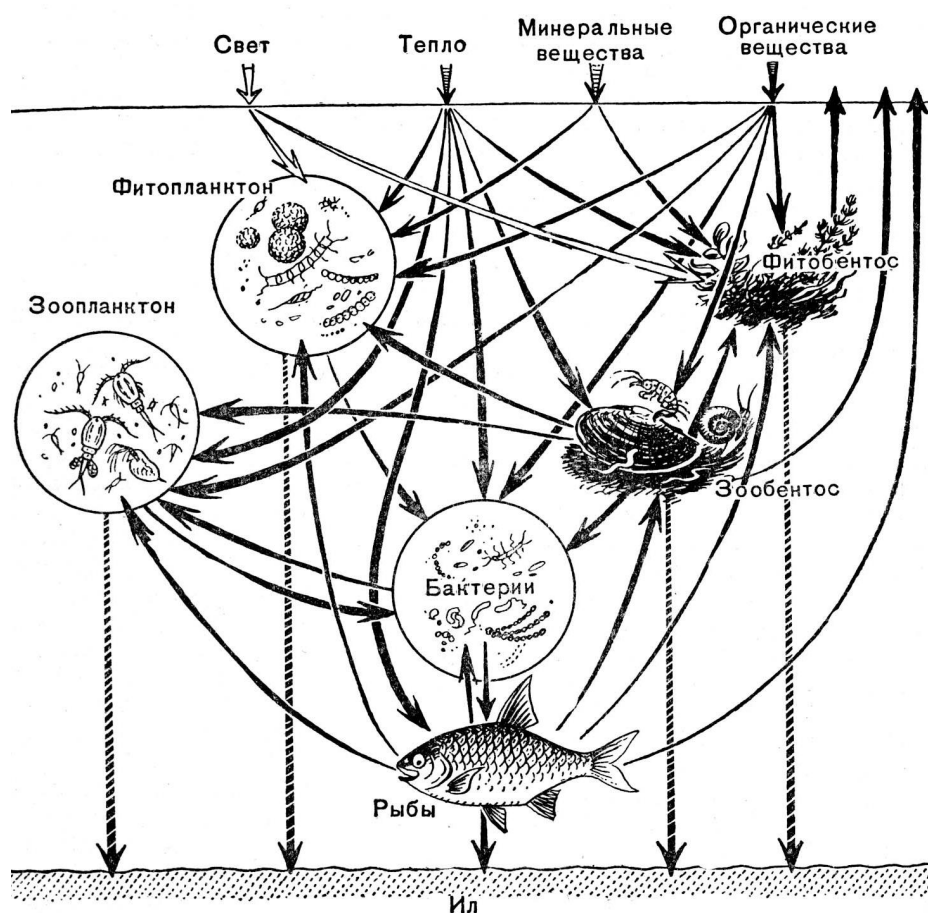


Рис. 9. Круговорот веществ в водоеме (по: Жадин, Герд, 1961)

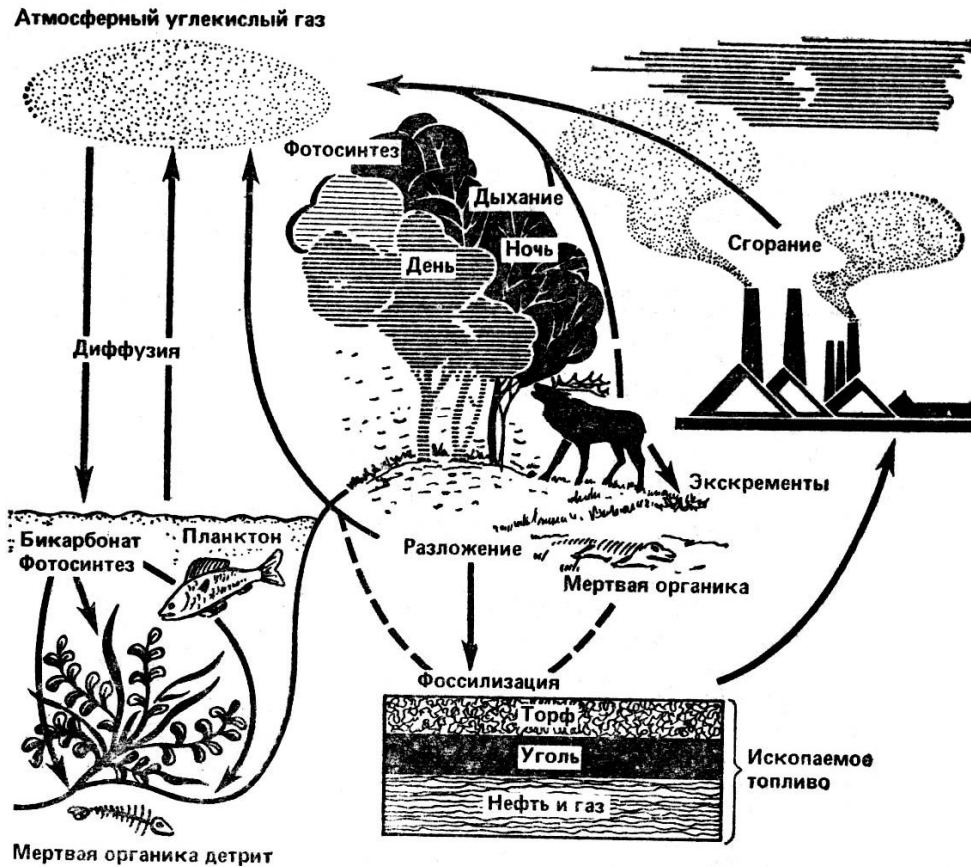


Рис. 10. Круговорот углерода (по: Криволицкий, Покаржевский, 1986)

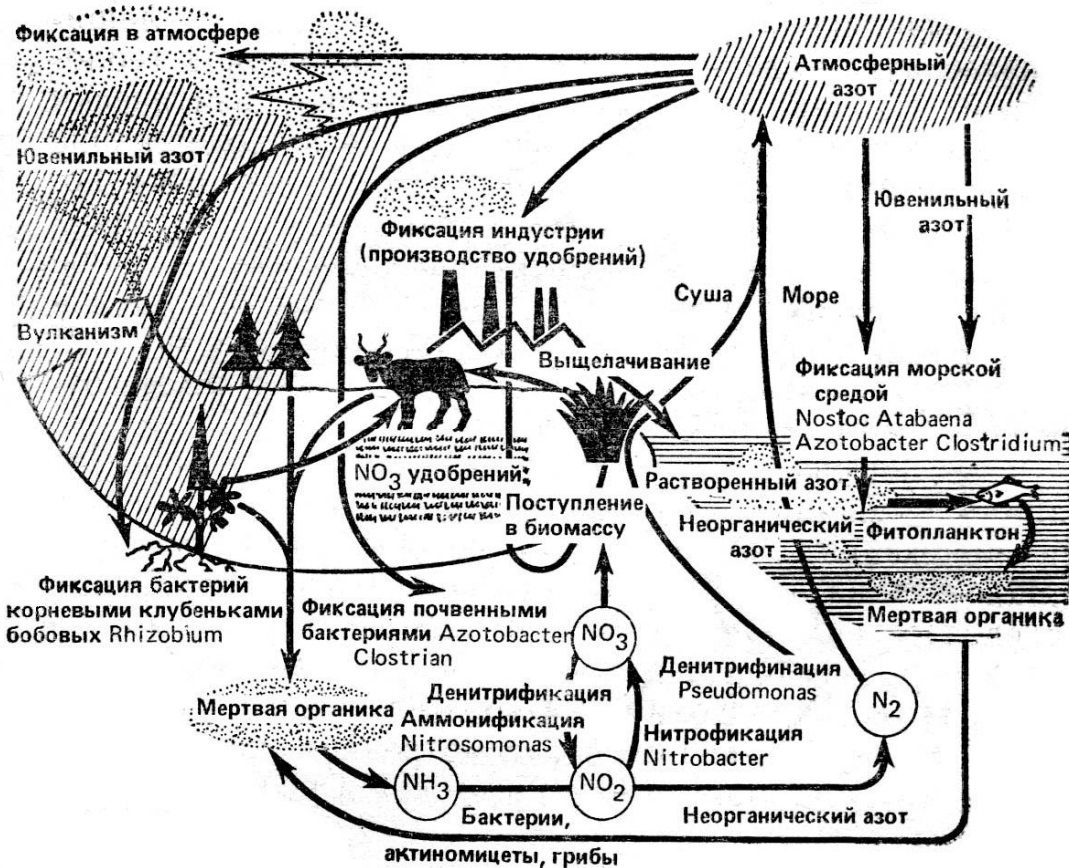


Рис. 11. Круговорот азота (по: Криволицкий, Покаржевский, 1986)

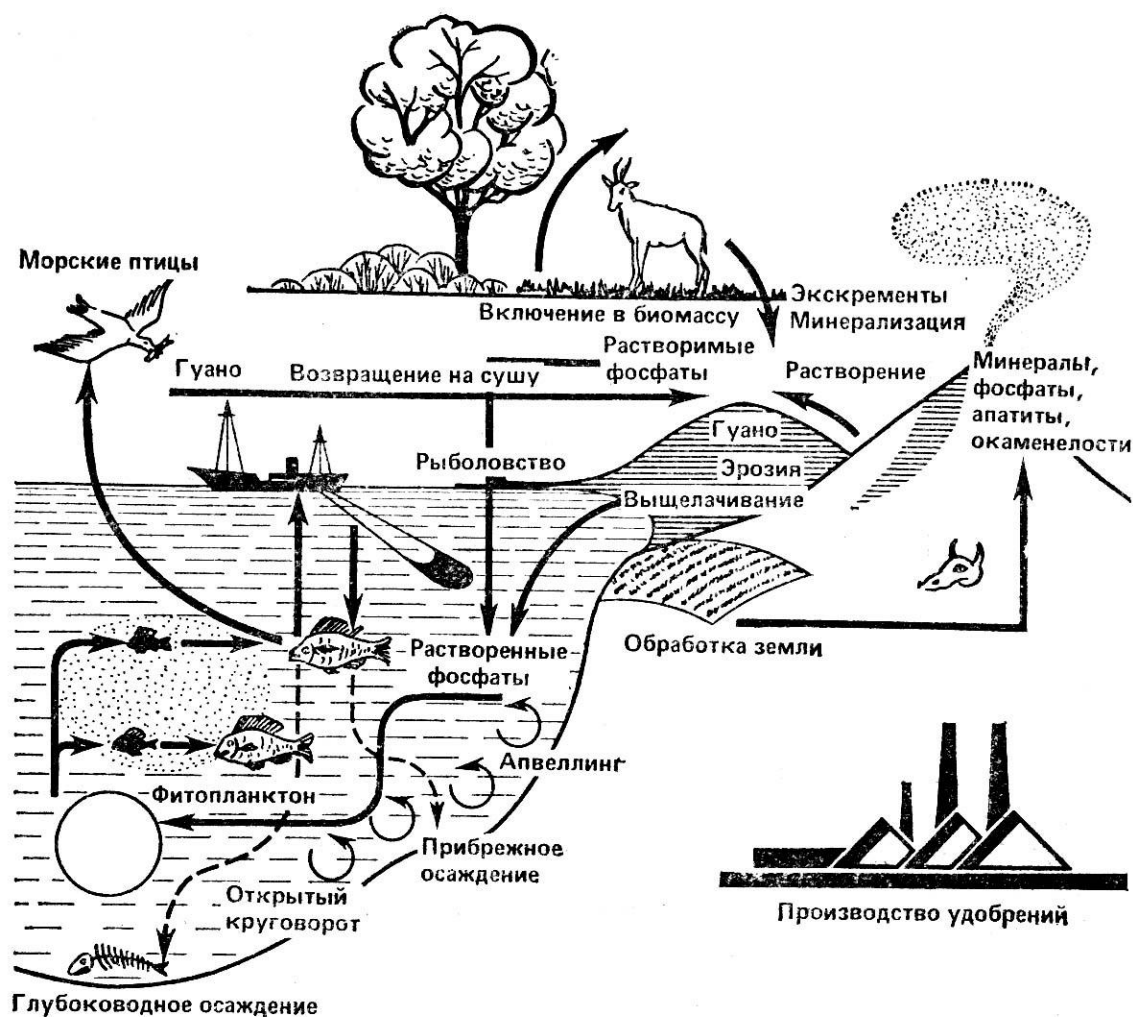


Рис. 12. Круговорот фосфора (по: Криволицкий, Покаржевский, 1986)

Основные абиотические факторы водных экосистем

Вода, окись водорода, H_2O , простейшее устойчивое в обычных условиях химическое соединение водорода с кислородом (11,19% водорода и 88,81% кислорода по массе), молекулярная масса 18,0160; бесцветная жидкость без запаха и вкуса (в толстых слоях имеет голубоватый цвет). Плотность воды $1,000 \text{ г/см}^3$ ($3,98 \text{ }^\circ\text{C}$), температура плавления $0 \text{ }^\circ\text{C}$, температура кипения $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Вода – одно из самых распространенных веществ в природе (гидросфера занимает 71% поверхности Земли). Воде принадлежит важнейшая роль в геологической истории Земли и возникновении жизни, в формировании физической и химической среды, климата и погоды на нашей планете. Без воды невозможно существование живых организмов. Она – обязательный компонент практически всех технологических процессов – как сельскохозяйственного, так и промышленного производства (Черкинский, 1969–1978).

Вода обладает рядом свойств, отличающих ее от других химических веществ, и имеет огромное значение для жизни организмов (Березина, 1984). Таковы прежде всего тепловые свойства воды: ее высокая удельная теплоемкость, малая теплопроводность и способность к расширению при замерзании. Теплоемкость воды равна $4190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$. Вследствие большой удельной те-

теплоемкости вода поглощает очень большое количество тепла, но, имея малую теплопроводность, отдает его в окружающую среду очень медленно. Важнейшим следствием этих свойств воды является сравнительное постоянство температуры бассейнов, и изменение условий среды происходит очень медленно и постепенно. Это имеет большое значение для гидробионтов, которые в большинстве своем являются холоднокровными. Высокая удельная теплоемкость воды обуславливает и очень большой запас тепла гидросферы по сравнению с сушей и тем более с атмосферой. Насколько велик запас тепла в гидросфере, показывает следующий пример: при понижении температуры 1 л воды на 1 °С выделяется такое количество тепла, которого достаточно для того, чтобы повысить на 1 °С температуру более 3000 таких же объемов воздуха. Поэтому понятно, что теплые океанические течения оказывают огромное влияние на климат прилегающих к морю областей.

Низкая теплопроводность способствует слабому распространению изменений температуры в глубь водоемов. В результате возникает температурная стратификация, препятствующая прогреванию до дна даже мелководных бассейнов. Очень велика скрытая удельная теплота плавления льда, равная $3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Замечательна способность воды расширяться при замерзании, в противоположность большинству других веществ, которые, охлаждаясь, сжимаются и достигают наибольшей плотности при температуре замерзания. Благодаря этому свойству воды лед имеет меньший удельный вес, чем вода, и держится на ее поверхности, защищая нижележащие слои воды от дальнейшего охлаждения. Вода имеет значительно большую плотность (10^3 кг/м³), чем воздух (1,3 кг/м³). Это обстоятельство имеет важное значение для жизни гидробионтов. Огромное число растений и животных пребывает во взвешенном состоянии в течение всей своей жизни. Большая плотность воды определяет и ряд особенностей строения гидробионтов: среди них встречается много форм, лишенных как внутреннего, так и внешнего скелета, имеющих мягкое, студенистое тело (сифонофоры, медузы, гребневики и др.).

На функционирование водных экосистем большое влияние оказывают различные перемещения водных масс: поверхностные и глубинные течения, вертикальная циркуляция и другие, определяемые многими факторами. Практически всегда и везде, но с разной скоростью водные массы подвержены различным перемещениям и превращениям (круговороту). Круговорот воды на Земле (влагооборот) – это непрерывный замкнутый процесс перемещения воды в атмосфере, гидросфере и земной коре, состоящий из испарения, переноса водяного пара в атмосфере, конденсации пара, выпадения осадков, стока. В этом едином процессе происходит непрерывный переход воды с земной поверхности в атмосферу и обратно (рис. 13).

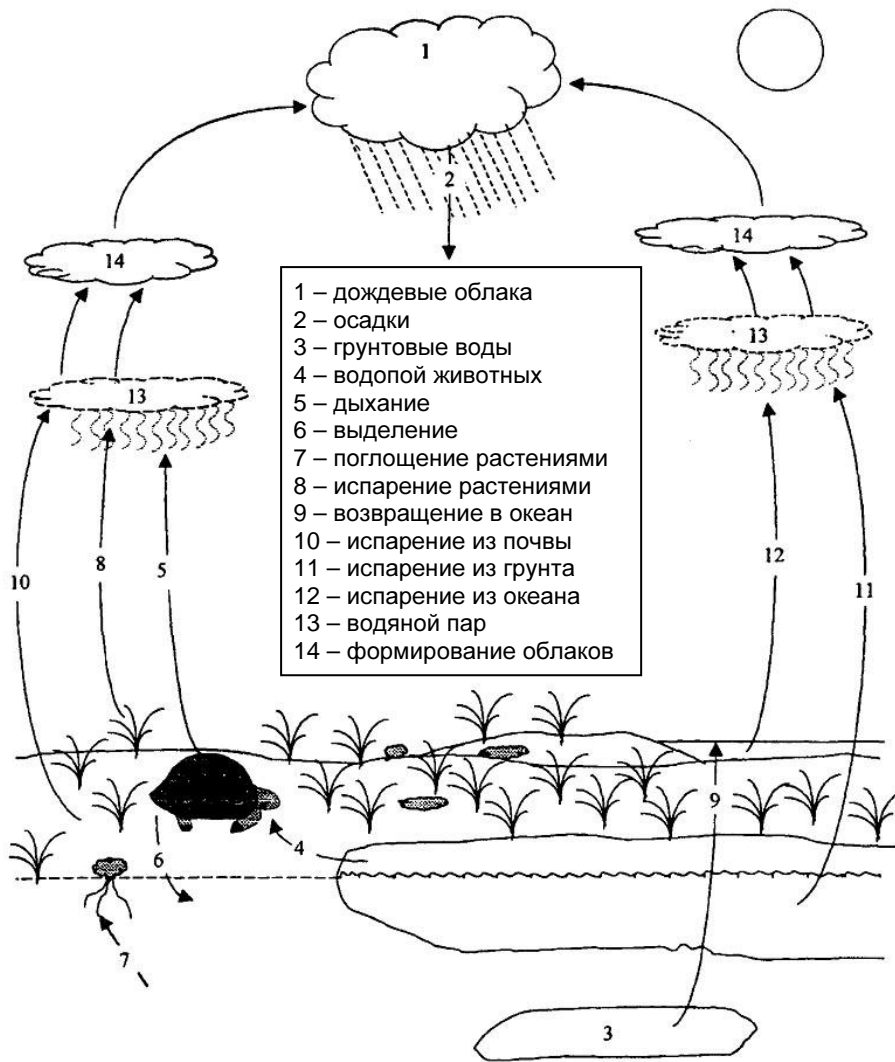


Рис. 13. Схема круговорота воды (по: Spellman, Drinan, 2001)

Вода диссоциирует на ионы H^+ и OH^- . Концентрацию водородных ионов выражают ее отрицательным десятичным логарифмом и обозначают **pH**. Организмы, обитающие в узком диапазоне кислотности, называют стеноионными, а переносящие большие колебания pH (5–6 единиц) – эвриионными (индефферентами). Стеноионные, предпочитающие кислую реакцию ($pH < 7$), называются ацидофилами, щелочную ($pH > 7$) – алкалифилами, нейтральную ($pH \approx 7$) – нейтрофилами. Значение pH может меняться в водоеме в течение суток на 2 и более единицы. Ночью pH ниже в связи с увеличением содержания CO_2 в результате дыхания растений, днем – выше за счет использования CO_2 на фотосинтез (Константинов, 1986).

Соленость воды влияет на ее плотность и создает определенный уровень осмотического давления в организмах. По степени солености природные водоемы и преимущественно обитающие в них организмы делятся (Реймерс, 1990) на:

- пресные (олигогалинные) – концентрация солей до 1 г/л;
- солоноватые (мезогалинные) – концентрация солей 1–10 г/л;
- соленые (уэгалинные) – концентрация солей 10–50 г/л;
- рассолы (гипергалинные) – концентрация солей более 50 г/л.

В пресных водоемах преобладают соли: карбонаты (до 80%), сульфаты и хлориды. Содержание солей щелочноземельных металлов кальция и магния определяет **жесткость воды**. Причем карбонаты и гидрокарбонаты этих металлов образуют временную, а сульфаты – постоянную жесткость воды. Временная и постоянная жесткости вместе составляют общую жесткость воды. В зависимости от концентрации этих солей выделяют воду:

- мягкую – до 2 ммоль/л;
- средней жесткости – 2–6 ммоль/л;
- жесткую – 6–10 ммоль/л;
- очень жесткую – свыше 10 ммоль/л.

По отношению к фактору минерализации выделяют (аналогично, как и к другим экологическим факторам, например к кислотности) эвригалинные, стеногалинные, галофильные, галофобные и другие экологические формы организмов.

Как правило, организмы, населяющие внутренние воды, подразделяют на четыре группы: 1) пресноводные виды, обитающие при минерализации менее 3 г/л, среда их обитания – пресные, или олигогалинные, (до 0,5 г/л) и солоноватые, или субгалинные, (0,5–3 г/л) воды; 2) пресноводные соленосливые виды, которые обитают при минерализации до 15(20) г/л (гипогалинные воды); 3) галофильные виды, встречающиеся главным образом в соленой воде до 50 г/л (мезогалинные воды), но иногда и в пресных водах; 4) галобионтные виды, ограниченные соленостью 50–300 г/л (гипрегалинные воды) (Hammer, 1986).

Уровень минерализации является важным экологическим фактором, во многом определяющим разнообразие и количественное развитие гидробионтов континентальных водоемов, особенно засушливых зон. Разнообразие гидробионтов максимально в пресных водах, затем значительно снижается (со сдвигом в составе сообщества) при повышении минерализации в гипогалинном диапазоне. При минерализации от 15 г/л и выше таксономическое разнообразие уменьшается уже меньшими темпами (рис. 14). Причем наибольшая обратная корреляция видового разнообразия наблюдается в диапазоне 0,3–10 г/л. Однако для более высоких диапазонов минерализации (10–30, 30–50, 50–100, и 100–200 г/л) достоверность корреляции значительно снижается. Несмотря на отчетливую общую тенденцию к уменьшению таксономического разнообразия, при увеличении минерализации в каждом конкретном случае и особенно в узком диапазоне солености велика роль других экологических факторов (Williams, 1998).

В озерах юга Западной Сибири при увеличении уровня минерализации воды в зообентосе озер наблюдается тенденция к увеличению доли вторичноводных видов из эволюционно более продвинутых таксонов и уменьшению доли первичноводных видов из древних таксонов. При этом часть таксонов зообентоса элиминирует, а оставшиеся эвригалинные таксоны приспосабливаются к новым условиям среды. К эвригалинным организмам относятся личинки мух-береговушек, хирономид и частично мокрецов. К стеногалинным организмам относятся ракообразные, стрекозы, брюхоногие и дву-

створчатые моллюски, пиявки и личинки ручейников, встречающиеся в олигогалинных и частью в мезогалинных озерах. Подобным образом происходит изменение численности и биомассы зообентоса на градиенте минерализации. При увеличении минерализации >3 г/л уровень развития донных беспозвоночных, как правило, падает (Безматерных, 2007).

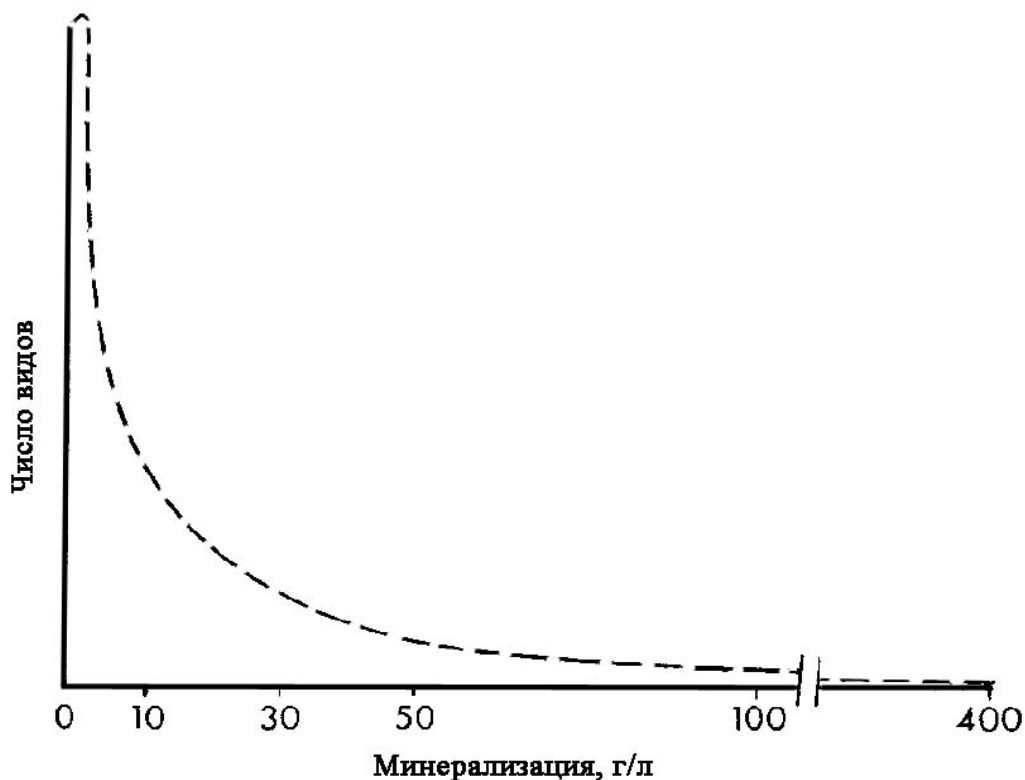


Рис. 14. Зависимость таксономического разнообразия от солености континентальных водоемов (по: Hammer, 1986).

Растворенные газы. Существенно отличаются условия дыхания водных и наземных организмов. На суше в 1 л воздуха содержится около 210 мл кислорода, т.е. в 20–30 раз больше, чем в 1 л воды, но количество его не постоянно и зависит от температуры. *Кислород* постоянно расходуется на дыхание и окисление. Если его расход значительно превышает поступление, то наступает дефицит, приводящий к замору животных. В связи с малым содержанием кислорода большая часть гидробионтов – холоднокровные формы, у которых процессы обмена веществ происходят менее интенсивно, чем у теплокровных животных (Березина, 1984).

В поверхностных водах содержание растворенного кислорода варьирует в широких пределах – от 0 до 14 мг/л – и подвержено сезонным и суточным колебаниям. Суточные колебания зависят от интенсивности процессов его продуцирования и потребления и могут достигать 2,5 мг/л растворенного кислорода. В зимний и летний периоды распределение кислорода носит характер стратификации. Дефицит кислорода чаще наблюдается в водных объектах с высокими концентрациями загрязняющих органических веществ и в эв-

трофированных водоемах, содержащих большое количество биогенных и гумусовых веществ (Гусева и др., 2000).

Концентрация кислорода определяет величину окислительно-восстановительного потенциала и в значительной мере направление и скорость процессов химического и биохимического окисления органических и неорганических соединений. Кислородный режим оказывает глубокое влияние на жизнь водоема. Минимальное содержание растворенного кислорода, обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/л. Понижение его до 2 мг/л может вызывать массовую гибель (замор) рыбы. Неблагоприятно сказывается на состоянии водного населения и пересыщение воды кислородом в результате процессов фотосинтеза при недостаточно интенсивном перемешивании слоев воды.

Углекислый газ образуется при дыхании живых существ и разложении органических веществ. Он хорошо растворяется в воде и содержится здесь в большем количестве, чем в атмосферном воздухе. *Сероводород* образуется при гниении белковых веществ, поэтому вода, загрязненная органическими остатками, пахнет сероводородом. Этот газ очень ядовит и даже в небольших количествах опасен для всех животных. При 20 °С в 1 л воды растворяется 2500 мл сероводорода. *Метан* образуется при разложении клетчатки и содержится в пузырьках, поднимающихся со дна стоячих водоемов, ядовит.

Биогенные элементы – химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Для функционирования водных экосистем наиболее важными (часто лимитирующими развитие водорослей и фотосинтез) биогенными элементами являются азот и фосфор (Гусева и др., 2000).

Азот находится в поверхностных водах (в составе органических и неорганических соединений) в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии и может под влиянием многих физико-химических и биохимических факторов переходить из одного состояния в другое. Средняя концентрация общего азота в природных водах колеблется в значительных пределах и зависит от трофности водного объекта: для олиготрофных изменяется обычно в пределах 0,3–0,7 мг/л, для мезотрофных – 0,7–1,3 мг/л, для эвтрофных – 0,8–2,0 мг/л.

Фосфор – важнейший биогенный элемент, чаще всего лимитирующий развитие водорослей и продуктивность водоемов. Поэтому поступление избытка соединений фосфора с водосбора в виде минеральных удобрений с поверхностным стоком с полей (с гектара орошаемых земель выносятся 0,4–0,6 кг фосфора), со стоками с ферм (0,01–0,05 кг/сут. на одно животное), с недоочищенными или неочищенными бытовыми сточными водами (0,003–0,006 кг/сут. на одного жителя), а также с некоторыми производственными отходами приводит к резкому неконтролируемому приросту растительной биомассы водного объекта (это особенно характерно для непроточных и малопроточных водоемов). Происходит так называемое эвтрофирование – изменение трофического статуса водоема, сопровождающееся перестройкой всего водного сообщества и ведущее к преобладанию гнилостных процессов (и, соответственно, возрастанию мутности, солености, концентрации бактерий). Один из

вероятных аспектов процесса эвтрофикации – рост синезеленых водорослей (цианобактерий), многие из которых токсичны. Выделяемые этими организмами вещества относятся к группе фосфор- и серосодержащих органических соединений (нервно-паралитических ядов). Действие токсинов синезеленых водорослей может проявляться в возникновении дерматозов, желудочно-кишечных заболеваний; в особенно тяжелых случаях – при попадании большой массы водорослей внутрь организма – может развиваться паралич.

Донные отложения (грунты) в большей степени влияют на развитие донных организмов. Состав и количество бентоса сильно изменяется вместе с изменением характера грунта, причем при переходе к грунтам совершенно иного типа, например от мягких илистых к каменистым или плотным искусственным субстратам, может произойти почти полная смена всего состава населения беспозвоночных. Эта зависимость бентоса от грунта привела к особой терминологии биоценоза, и отдельные бентические виды делятся по предпочитаемому ими грунту на литофильные (обитатели камней и других твердых субстратов), гипнофильные (обитающие на торфянистых грунтах), фитофильные (живущие на макрофитах), псаммофильные (обитатели песков), пелофильные (обитатели илов) и промежуточные между ними псаммопелофильные (Митропольский, Мордухай-Болтовской, 1975).

Илы – это биокосные системы, аналогичные почвам. По геохимической классификации илы можно разделить на три ряда (Перельман, 1977):

- окислительные илы – образуются в озерах и реках, где воды хорошо перемешиваются и до дна насыщены кислородом; имеют преимущественно желтую, бурую, красную окраску, обусловленную гидроокислами трехвалентного железа;
- глеевые илы – характерны для озер, расположенных во влажном климате, например в тундре, тайге, влажных тропиках, где много органических веществ и мало сульфатов; отличаются восстановительной реакцией среды без сероводорода; имеют преимущественно сизую, зеленую, охристую окраску, обусловленную восстановленными формами железа и марганца; богаты органикой (сапрпель);
- сероводородные илы – распространены в озерах степей и пустынь, где преобладают сульфатные воды; имеют серый, черный и синеватый цвет, обусловленный сульфидом железа; используются как лечебные грязи.

Существует значительное количество классификаций грунтов по гранулометрическому составу. Ниже приведена одна из наиболее дробных распространенных классификаций (табл. 1).

Среди прочих экологических факторов наибольшее значение имеют радиационный режим (сильно зависит от оптических свойств воды и географической широты), температурный режим (зависит от типа водоема и географической широты), давление (особенно на больших глубинах) и течение.

Таблица 1

Классификация донных отложений по размеру составляющих их частиц (Guy, 1969; цит. по: Папина, 2001)

Класс		Размер частиц
Валуны		> 256 мм
Булыжники	большие	256–128 мм
	маленькие	128–64 мм
Гравий	очень грубый	64–32 мм
	грубый	32–16 мм
	средний	16–8 мм
	мелкий	8–4 мм
	очень мелкий	4–2 мм
Песок	очень грубый	2000–1000 мкм
	грубый	1000–500 мкм
	средний	500–250 мкм
	мелкий	250–125 мкм
	очень мелкий	125–62 мкм
Ил	грубый	62–31 мкм
	средний	31–16 мкм
	мелкий	16–8 мкм
	очень мелкий	8–4 мкм
Глина	грубая	4–2 мкм
	средняя	2–1 мкм
	мелкая	1–0,5 мкм
	очень мелкая	0,5–0,25 мкм

Биотические компоненты водных экосистем

Водные растения – это растения, произрастающие в воде (Поплавская, 1969–1978). Среди них различают гидрофиты – растения, погружённые в воду только нижней частью, и гидатофиты – растения, полностью или большей своей частью погружённые в воду. Обитание в водной среде обусловило особые черты организации водных растений: значительное увеличение поверхности тела в сравнении с его массой, что облегчает поглощение необходимых количеств кислорода и других газов, которых в воде содержится меньше, чем в воздухе. Увеличение поверхности тела достигается развитием больших тонких листьев (некоторые рдесты), расчленением листовой пластинки на тонкие нитевидные участки (уруть, роголистники, водные лютики), продырявливанием листьев или сильным развитием воздухоносных полостей и больших межклетников. У водных растений сильно развита разнолистность (гетерофиллия): подводные, плавающие и воздушные листья на одном и том же растении значительно различаются как по внутреннему, так и по внешнему строению. Так, подводные листья не имеют устьиц, у плавающих на поверхности воды листьев устьица находятся только на верхней стороне, у воз-

душных листьев устьица на обеих сторонах. Большая плотность водной среды обуславливает слабое развитие механических элементов в листьях и стеблях гидатофитов; немногочисленные механические элементы, имеющиеся в стеблях, расположены ближе к центру, что придаёт им большую гибкость. Так как интенсивность света в воде резко снижается, у многих растений в клетках эпидермиса имеются хлорофилловые зёрна. У многих слабо развиты или даже отсутствуют сосуды в проводящих пучках. Слабо развита и корневая система, а корневые волоски отсутствуют. Почти все водные растения – многолетники, размножающиеся вегетативно.

Некоторые водные растения (наяда, роголистник) опыляются под водой; у других цветки поднимаются над водой, где и происходит опыление. Ряд растений приспособились к периодическому высыханию водоёмов (например частуха, стрелолист).

Во флоре бывшего СССР насчитывалось свыше 260 видов цветковых водных растений, преимущественно однодольных. Семена и плоды распространяются птицами либо водными течениями. Среди них есть съедобные: семена водяного ореха, корневища сусака, зерновки злака манника. Семена и плоды многих из них служат кормом для птиц, а отмершими остатками часто питаются беспозвоночные животные, служащие пищей рыбам. Растения играют роль в самоочищении бассейнов, хотя иногда (элодея, некоторые виды рдестов) и сами могут быть факторами загрязнения при сильном разрастании их в водоёмах и особенно в водохранилищах. Для предупреждения быстрого и нежелательного распространения заросли выкашивают специальными водными косилками; скошенные растения иногда употребляют на корм скоту. Иногда для очищения каналов и других водоёмов разводят растительоядные виды рыб (белый амур и белый толстолобик). Для уничтожения водных растений используют также гербициды.

К водным растениям относятся также многие водоросли – группа низших водных растений, обычно содержащих хлорофилл и вырабатывающих органические вещества в процессе фотосинтеза. Тело водоросли – таллом, не имеющий настоящих корней, стеблей и листьев, размером от долей микрона до 60 м. Водоросли – одноклеточные, многоклеточные и колониальные организмы. Размножение бесполое, вегетативное и половое. Отделы (или типы) водорослей: зеленые, бурые, красные, золотистые, желто-зеленые, диатомовые, динофитовые. Более 30 тыс. видов. Синезеленые водоросли чаще рассматривают как цианобактерии и относят к прокариотам. Водоросли – основные продуценты органического вещества в пресных водоемах и морях. Входят в состав планктона и бентоса. Некоторые съедобны (ламинария, порфира), другие – сырье для получения кормовой массы, агара, йода и пр. (многие из них – объект аквакультуры). Ряд водорослей испытывают как компоненты биоконцепсов, входящих в систему жизнеобеспечения космических кораблей. Некоторые одноклеточные водоросли в симбиозе с грибами образуют лишайники.

Водные животные – животные, жизнь которых в основном проходит в воде (Никитин, 1969–1978). Водная среда в среднем в 800 раз плотнее возду-

ха; этим объясняется возможность существования в воде животных с прозрачным, студенистым телом, которое лишено прочных покровов или поддерживающего скелетного аппарата (медузы, сифонофоры, гребневики, сальпы и др.). Плотностью воды обусловлены и характерные для многих водных животных способы движения посредством ресничек или жгутиков (у большинства простейших и некоторых червей, кишечнополостных, а также у личиночных форм губок, кишечнополостных, червей, моллюсков, иглокожих). Большая плотность воды позволяет очень мелким животным (зоопланктон), способным лишь к слабым активным движениям, держаться в толще воды при помощи несложных приспособлений в виде крошечных пузырьков воздуха или капелек жира в их теле или длинных тонких выростов, увеличивающих поверхность тела. Только среди водных животных встречаются неподвижные прикреплённые формы, что обусловлено подвижностью воды и, следовательно, постоянным приносом находящейся в ней пищи в виде живых и отмерших планктонных организмов, так же как и разносом оплодотворённых яиц и личинок, что обеспечивает расселение прикреплённых форм.

У огромного большинства водных животных (беспозвоночных и рыб) оплодотворение наружное, при этом встреча выброшенных в воду яиц и сперматозоидов обеспечивается подвижностью воды. Размножение делением и почкованием свойственно только водным животным. Дыхание осуществляется, как правило, через особые наружные выросты тела – жабры или всей поверхностью тела.

Данные палеонтологии, показывающие, что в древнейших отложениях земной коры остатки животных представлены морскими формами, как и данные сравнительной анатомии и эмбриологии, служат доказательством того, что жизнь на Земле получила своё начало и развитие в водной среде. Однако прогрессивное развитие животных в водной среде не пошло дальше класса рыб. Отсутствие высших групп позвоночных среди первичноводных животных можно объяснить прежде всего тем, что водная среда, содержащая в среднем в 30 раз меньше растворённого кислорода, чем воздух, не может обеспечить сильно возрастающую потребность организма в кислороде при повышении обмена веществ, характерном для высших классов животного мира.

Некоторые представители высших наземных классов животных, произошедших от водных предков, в процессе эволюции вторично перешли к водному образу жизни. К таким вторичноводным животным принадлежат: из млекопитающих – ластоногие, киты и сирены, из пресмыкающихся – некоторые черепахи и змеи, из насекомых – ряд жуков, клопов и др., из мягкотелых – многие лёгочные моллюски. Несмотря на высокую приспособленность этих форм, как в морфологическом, так и физиологическом отношении к жизни в воде, они сохранили воздушное дыхание.

Водные животные делятся на две основные группы: морские и пресноводные. Данные палеонтологии и физиологии показывают, что современная пресноводная фауна происходит от морских форм. Именно в пресных водоёмах жили исходные формы позвоночных и насекомых, которые стали выходить на сушу и дали начало развитию наземной фауны.

Экологические группировки в водных экосистемах (жизненные формы гидробионтов). Жизненные формы – это конвергентно возникшие совокупности организмов разного систематического положения, обладающие принципиально сходными приспособлениями, позволяющими им существовать и удерживаться в определенных биотопах (рис. 15). В пелагиали жизненные формы представлены планктоном и nekтоном, на твердых субстратах – бентосом и перифитоном, в зоне контакта бентали и пелагиали – пелагобентосом, в поверхностном слое воды – нейстоном и плейстоном (Константинов, 1986).

В пределах каждой жизненной формы обычно различают совокупности организмов, выделяемые по тем или иным признакам в зависимости от особенностей самих гидробионтов и условий их существования (рис. 16). Например, планктон можно подразделять по типу водоемов (морской, пресноводный, речной, озерный), их географическому положению (тропический, бореальный, высокогорный), экологическим зонам (поверхностный, глубоководный, неритический, литоральный), сезонам года (весенний, летний, осенний, зимний), качеству воды (ацидо-алкалифильный, холодо- и теплолюбивый и др.), степени привязанности к биотопу (истинный, временный, случайный, облигатный, факультативный), таксономическому составу (зоо- и фитопланктон, бактериопланктон, рачковый планктон, ихтиопланктон и т.п.), размерному признаку (нано-, микро-, макропланктон). Аналогично классифицируют бентос и другие жизненные формы гидробионтов.

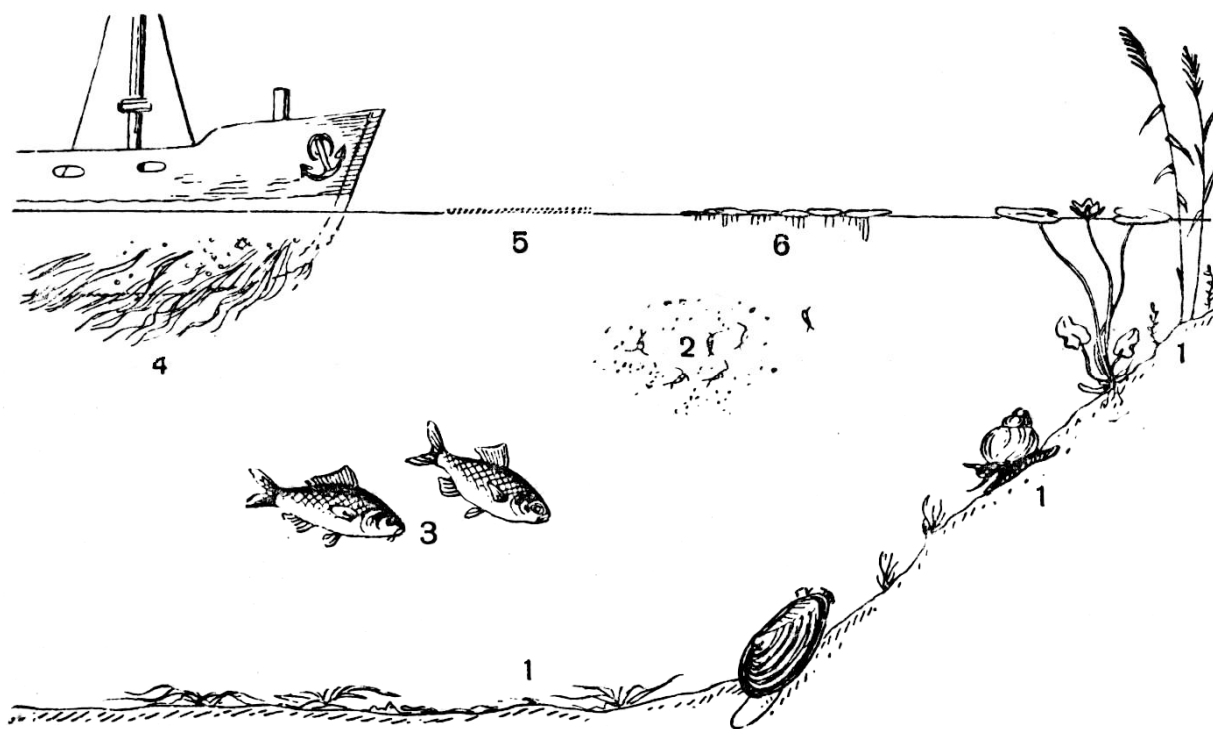


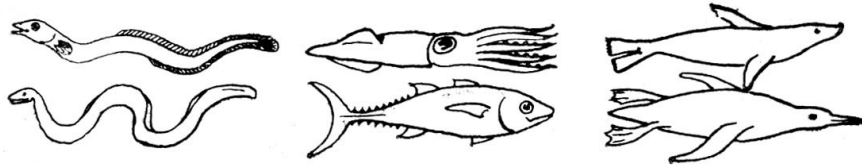
Рис. 15. Схема экологических группировок в водоеме (по: Жадин, Герд, 1961):

1 – бентос; 2 – планктон; 3 – nekтон; 4 – перифитон; 5 – нейстон; 6 – плейстон

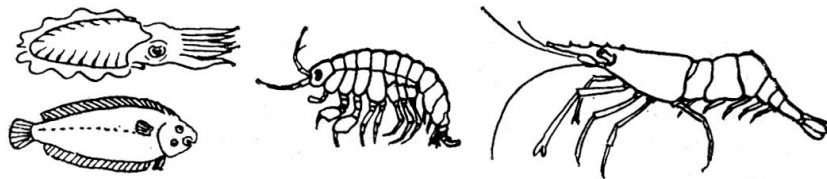
ПЛАНКТОН



НЕКТОН



НЕКТОБЕНТОС



БЕНТОС



Рис. 16. Экологические группировки морских животных (по: Шарова, Свешников, 1988)

Планктон (от греч. *planktos* – блуждающий) – совокупность организмов, населяющих толщу воды континентальных и морских водоёмов и не способных противостоять переносу течениями (Беляев, 1969–1978б). В состав планктона входят как растения – фитопланктон, так и животные – зоопланктон, также выделяют бактериопланктон. Планктон противопоставляют населению дна – бентосу и активно плавающим животным – нектону. В отличие от последних, организмы планктона не способны к самостоятельному движению или подвижность их ограничена. В пресных водах различают озёрный планктон – лимнопланктон и речной – потамопланктон.

Растительные фотосинтезирующие планктонные организмы нуждаются в солнечном свете и населяют поверхностные воды, в основном до глубины 50–100 м. Бактерии и зоопланктон населяют всю толщу вод до максимальных глубин. Морской фитопланктон состоит в основном из диатомовых водорослей, перидиней и кокколитофорид; в пресных водах – из диатомовых, сине-зеленых и некоторых групп зелёных водорослей. В пресноводном зоопланктоне наиболее многочисленны веслоногие и ветвистоусые рачки и коловратки; в морском доминируют ракообразные (главным образом веслоногие, а также мизиды, эвфаузиевые, креветки и др.), многочисленны простейшие (радиолярии, фораминиферы, инфузории тинтинниды), кишечнополостные (медузы, сифонофоры, гребневики), крылоногие моллюски, оболочники (ап-

пендикулярии, сальпы, боченочники, пирсомы), яйца и личинки рыб, личинки разных беспозвоночных, в том числе многих донных. Видовое разнообразие планктона наибольшее в тропических водах океана.

Размеры организмов планктона колеблются от микрометров до нескольких метров. Поэтому обычно различают: наннопланктон (бактерии, наиболее мелкие одноклеточные водоросли), микропланктон (большинство водорослей, простейшие, коловратки, многие личинки), мезопланктон (веслоногие и ветвистоусые рачки и другие животные менее 1 см), макропланктон (многие мизиды, креветки, медузы и другие сравнительно крупные животные) и мегалопланктон, к которому относятся немногие наиболее крупные планктонные животные (например, гребневик венерин пояс длиной до 1,5 м, медуза цианея диаметром до 2 м со щупальцами до 30 м, колонии пирсомом длиной до 30 м и более 1 м в поперечнике и др.). Однако границы этих размерных групп не общеприняты. У многих организмов планктона выработались приспособления, облегчающие парение в воде: уменьшающие удельную массу тела (газовые и жировые включения, насыщенность водой и студенистость тканей, истонченность и пористость скелета) и увеличивающие его удельную поверхность (сложные, часто сильно разветвлённые выросты, уплощенное тело).

Организмы фитопланктона – основные продуценты органического вещества в водоёмах, за счёт которого существует большинство водных животных. В мелководных прибрежных частях водоёмов органическое вещество продуцируется также донными растениями – фитобентосом. Обилие фитопланктона в различных частях водоёмов зависит от количества в поверхностных слоях необходимых для него питательных веществ. Лимитируют в этом отношении главным образом фосфаты, соединения азота, а для некоторых организмов (диатомовые, кремнежгутиковые) и соединения кремния. За длительную историю океана эти вещества накопились в больших количествах в его глубинах, в основном в результате разложения и минерализации органических частиц, оседающих из верхних слоев. Поэтому обильное развитие фитопланктона происходит в районах апвеллинга (подъёма глубинных вод), например, в районе стыка тёплых вод Гольфстрима и северных холодных течений, в зоне экваториальной дивергенции вод, в районах сгонных ветров вблизи берегов и т.д. Поскольку фитопланктоном питаются мелкие планктонные животные, служащие пищей более крупным, районы наибольшего развития фитопланктона характеризуются и обилием зоопланктона и nektona. Значительно меньшее и лишь локальное значение в обогащении поверхностных вод питательными веществами имеет речной сток. Развитие фитопланктона зависит также от интенсивности освещения, что в холодных и умеренных водах обуславливает сезонность в его развитии. Зимой, несмотря на обилие питательных веществ, выносимых в поверхностные слои в результате зимнего перемешивания вод, фитопланктона мало из-за недостатка света. Весной начинается быстрое развитие фито-, а вслед за ним и зоопланктона. По мере использования фитопланктоном питательных веществ, а также вследствие выедания его животными количество фитопланктона снова уменьшается. В тропиках состав и количество планктона более или менее по-

стоянны в течение года. Обильное развитие фитопланктона приводит к «цветению» воды, изменяющему её цвет и уменьшающему прозрачность. При цветении некоторых перидиней в воду выделяются токсические вещества, которые могут вызвать массовую гибель планктонных и nektonных животных.

Биомасса планктона варьирует в разных водоёмах и их районах, а также в различные сезоны. В поверхностном слое океана биомасса фитопланктона обычно колеблется от нескольких миллиграммов до нескольких граммов на метр кубический, зоопланктона (мезопланктона) – от десятков миллиграммов до 1 г/м^3 и более. С глубиной он становится менее разнообразным и его количество быстро убывает. В Мировом океане бедные планктоном акватории преобладают по площади над богатыми. Беднее всего им центральные тропические районы по обе стороны от экваториальной зоны, наиболее богаты – прибрежные районы умеренных и субтропических широт. Годовая продукция фитопланктона в Мировом океане составляет 550 млрд т, по оценке В.Г. Богорова, что почти в 10 раз превышает суммарную продукцию всего животного населения океана.

Многие планктонные животные совершают регулярные вертикальные миграции с амплитудой в сотни метров, иногда свыше 1 км, способствующие переносу пищевых ресурсов из богатых ими поверхностных слоев в глубины и обеспечению пищей глубоководного планктона. Вследствие способности к миграциям его вертикальная зональность выражена менее чётко, чем бентоса. Многие планктонные организмы обладают способностью к свечению (биолюминесценция). Некоторые могут служить индикаторами степени загрязнённости водоёма, так как в разной степени чувствительны к загрязнению.

Нектон (от греч. *nektos* – плавающий, плывущий) – совокупность активно плавающих пелагических животных, способных противостоять силе течения и перемещаться на значительные расстояния (БЭС, 1995). К нектону относятся рыбы, кальмары, китообразные, ластоногие, водные змеи, черепахи, пингвины. Для nektonных животных характерны обтекаемая форма тела и хорошо развитые органы движения. Нектон противопоставляют планктону, промежуточное положение между ними занимает микронектон, представленный животными, способными к ограниченному активному перемещению: молодёжь и мелкие виды рыб и кальмаров, крупные креветки, эвфаузиевые рачки и др.

Нейстон (от греч. *neustos* – плавающий) – совокупность организмов, прикрепляющихся к поверхностной плёнке воды, передвигающихся по ней сверху – эпинеuston или снизу – гипонейстон. Нейстон составляют: простейшие, одноклеточные водоросли, клопы-водомерки, жуки-вертячки, личинки комаров, некоторые ветвистоусые рачки, лёгочные моллюски и другие мелкие, в основном пресноводные организмы (рис. 17). К морскому гипонейстону относят также обитателей самого верхнего слоя воды (0–5 см), которые живут там круглосуточно или только ночью (мелкие рачки, мальки рыб и др.).

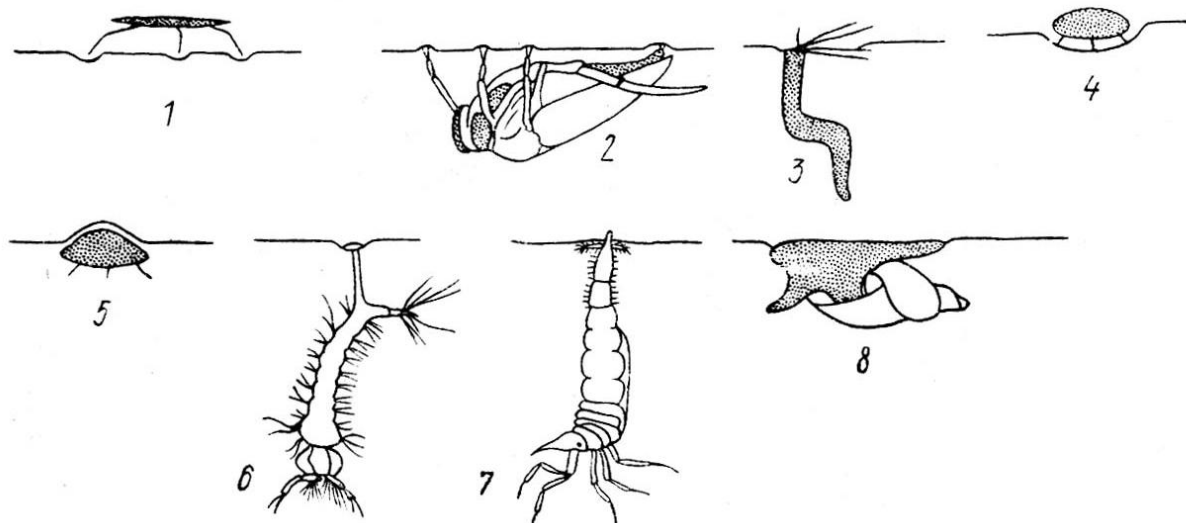


Рис. 17. Представители пресноводного нейстона:

1 – клоп водомерка; 2 – клоп гладыш; 3 – водная личинка мухи; 4 – жук вертячка; 5 – жук водолюб; 6 – личинка кровососущего комара; 7 – личинка жука плавунца; 8 – брюхоногий моллюск прудовик (по: Зернов, 1934)

Плейстон (от греч. *pleusis* – плавание, *pleo* – плыву) – совокупность водных организмов, держащихся на поверхности воды или полупогружённых в неё (БЭС, 1995). Наиболее разнообразны представители морского плейстона. Для многих организмов плейстона характерно образование газовых камер (сифонофора физалия) или выделение пенистых поплавок (актиния минияс, моллюск янтина); другие используют как опору поверхностную плёнку воды (моллюск глаукус). Из растений к нему относятся, например, саргассовые водоросли. В континентальных водах организмы плейстона практически отсутствуют.

Бентос (от греч. *benthos* – глубина) – по определению В.И. Жадина (1950), представляет собой экологическую группу организмов, характеризующихся связью с дном водных объектов как субстратом, на котором (эпибентос) или внутри которого (эндобентос) организмы проводят свою жизнь. В противоположность бентосу, организмы, живущие в толще воды и не связанные с дном, называют пелагическими организмами (нейстон, плейстон, планктон и нектон). Бентос делят на животный (зообентос) и растительный (фитобентос). По способу обитания на дне водоёма в зообентосе различают животных, живущих в грунте и на грунте, подвижных, малоподвижных и неподвижных, внедрившихся частично в грунт или прикреплённых. По способу питания представители зообентоса подразделяются на хищных (плотоядных), растительноядных, детритоидных (питающихся органическими частицами) и т.д. Многих животных, обитающих на дне водоёма, трудно отнести к пелагическим или бентосным и их называют: планктобентос и нектобентос. По размерам бентосные организмы делят на крупные (макробентос), средние (мезобентос) и мелкие (микробентос). Применяется также термин мейобентос – мелкий бентос без бактерий (Зенкевич, Щапова, 1969–1978).

В морях зообентос представлен главным образом фораминиферами, губками, кишечнополостными, немертинами, многощетинковыми червями, си-

пункулидами, мшанками, плеченогими, моллюсками, ракообразными, иглокожими, асцидиями и рыбами. Основная масса зообентоса приурочена к мелководным районам. На литорали и в верхнем горизонте сублиторали масса животных организмов на площади в 1 м^2 может достигать многих десятков килограммов. На глубинах до 100–150 м его биомасса составляет сотни и десятки граммов; на глубине 500–1000 м биомасса иногда исчисляется граммами, глубже – долями грамма, на больших глубинах (абиссаль) – миллиграммами. Наблюдается вертикальная зональность и в распределении бентоса: в верхних горизонтах преобладают моллюски и ракообразные, в средних – моллюски, полихеты и иглокожие, в более глубоких – полихеты, ракообразные и иглокожие.

Кроме животных большое значение в бентосе морей имеют бактерии и водоросли (диатомовые, зелёные, бурые и красные). У побережий обычны и некоторые цветковые растения: zostера, филлоспадикс, руппия и др. Наиболее богат и разнообразен фитобентос на скалистых и каменистых участках дна, которые служат прочным субстратом для прикрепления водорослей. У Мурманского, Беломорского и Дальневосточного побережий водоросли из ламинариевых и фукусовых (из бурых) дают нередко массу 15–30 кг на 1 м^2 дна в литорали и верхнем горизонте сублиторали. Заросли красной водоросли филлофоры известны в Чёрном море на глубине 20–60 м, где масса её составляет в среднем $1,7 \text{ кг/м}^2$ дна, а в целом – миллионы тонн. На мягких грунтах фитобентос развивается только в более или менее защищённых от действия волн мелководных участках. Здесь он состоит в основном из цветковых растений (zостера), корневая система которых позволяет им укорениться в песчаных и илистых грунтах. Вертикальное распределение водорослей зависит от состава солнечного спектра, доходящего до различной глубины в связи с неодинаковой поглощаемостью лучей с разной длиной волны; в верхнем горизонте обычно сосредоточены зелёные водоросли, ниже – бурые, а ещё ниже – преимущественно красные.

В пресных водоёмах количество зообентоса значительно меньше, чем в морских, и состав его однообразнее; в него входят простейшие, губки, ресничные и малощетинковые черви, пиявки, мшанки, моллюски и личинки насекомых. Иногда он состоит в основном из личинок хирономид и олигохет, дающих на 1 м^2 массу в несколько десятков граммов и представляющих очень большую кормовую ценность для рыб. В состав бентоса пресных водоёмов входят также бактерии, диатомовые и зелёные (харовые и нитчатки) водоросли, а также многочисленные макрофиты, располагающиеся в направлении от берега ясно выраженными поясами. Первый пояс состоит из полупогружённых растений (тростника, камыша, рогоза, осок и др.); второй – из погружённых растений с плавающими на поверхности воды листьями (кувшинки, кубышки и др.); третий пояс – из погружённых растений, у которых обычно только цветки поднимаются над водой (большая часть рдестов, элодеи и др.).

Некоторые донные животные приносят вред. В первую очередь это морские древоточцы (двустворчатые моллюски). Многие морские организмы в больших количествах поселяются на днище кораблей, снижая скорость су-

дов. Увеличение количества пресноводного фитобентоса иногда оказывается вредным, так как ведёт к зарастанию бассейна; средством борьбы служит скашивание.

Перифитон (от пери... и греч. *phyton* – растение) – это совокупность организмов, поселяющихся на различных предметах и живых телах, находящихся в толще воды (Константинов, 1986). Термин предложен А.Л. Бенингом в 1924 г. Рассматривается как синоним термина «обрастания».

Обрастания – это поселения водных организмов на скалах и камнях, подводных частях судов, буев, портовых и других гидротехнических сооружений, внутри водозаборных труб, на подводных кабелях и т.п. Основу обрастаний составляют прикрепленные животные и растения: усонogie ракообразные (морские жёлуди и морские уточки), двустворчатые моллюски (мидии и др.), гидроиды, мшанки, губки, асцидии, трубчатые многощетинковые черви, водоросли. Среди них селятся подвижные животные, главным образом черви и ракообразные. Один из важных компонентов обрастаний – бактерии, обычно первыми поселяющиеся на свободных поверхностях. Большинство организмов, участвующих в обрастаниях, размножаясь, образуют споры или свободноподвижные планктонные личинки, которые разносятся течениями, а затем оседают на субстрат и переходят к прикрепленному образу жизни. Морские обрастания разнообразнее и достигают более мощного развития (до 100 и более кг/м²), чем пресноводные. Составляющие его животные большей частью питаются, отфильтровывая или улавливая из воды мелкие пищевые частицы. Известны многие случаи широкого расселения организмов этой экологической группировки с помощью судов. Например, после постройки Волго-Донского канала свыше 20 видов беспозвоночных и водорослей проникли на днища судов из Азовского моря в Каспийское море и расселились в нём (Беляев, 1969–1978а).

Обрастания снижают скорость хода судов, уменьшают ток воды в водоводах, подающих воду на промышленные предприятия, снижают эффективность охлаждающих устройств, увеличивают подвергающуюся действию волн поверхность свай, причалов и т.п., способствуют коррозии металлических и бетонных подводных сооружений. Борьба с ними включает регулярную очистку обросших поверхностей, промывку водоводов горячей водой или растворами ядовитых химических веществ, покрытие подверженных обрастанию поверхностей ядовитыми красками.

Биологическая продуктивность (продукция) – воспроизведение биомассы растений, микроорганизмов и животных, входящих в состав экосистемы. Продукция реализуется в каждом отдельном случае через воспроизведение видовых популяций растений и животных, идущее с некоторой скоростью, что может быть выражено определённой величиной – продукцией за год (или в иную единицу времени) на единицу площади (для наземных и донных водных организмов) или на единицу объёма (для организмов, обитающих в толще воды). Продукция определённой видовой популяции может быть отнесена также к её численности или биомассе (Винберг, 1969–1978а).

Биомасса отдельных видов или всего биоценоза в целом может служить для оценки продукции и продуктивности только при сравнении экосистем одинаковой или сходной структуры и видового состава, но совершенно непригодна в качестве общей меры продукции. Например, в результате высокой интенсивности фотосинтеза одноклеточных водорослей планктона в наиболее продуктивных участках океана за год синтезируется на единицу площади примерно столько же органических веществ, сколько и в высокопродуктивных лесах, хотя их биомасса в сотни тысяч раз больше биомассы фитопланктона.

Продукция каждой популяции за определённое время представляет собой сумму приростов всех особей, включающую прирост отделившихся от организмов образований и прирост особей, устранённых (элиминированных) по тем или иным причинам из состава популяции за рассматриваемое время. В предельном случае, если нет элиминации и все особи доживают до конца изучаемого периода, продукция равна приросту биомассы. Если же начальная (B_1) и конечная (B_2) биомассы равны, то это означает, что прирост компенсирован элиминацией, т.е. при этом условии продукция (P) равна элиминации (E). В общем случае $P = |B_2 - B_1| + E$.

Иногда определённую таким образом продукцию называют «чистой продукцией», противопоставляя ей «валовую продукцию», в которую включают не только приросты, но и затраты на энергетический обмен. Термины «чистая» и «валовая продукция» укрепились по отношению к растениям. В приложении к животным валовая продукция представляет собой усвоенную пищу, или ассимиляцию, а термин «продукция» употребляется в смысле чистой продукции.

Продукцию автотрофных организмов, способных к фото- или хемосинтезу, называют первичной продукцией. Основная роль в создании первичной продукции в водной среде принадлежит низшим растениям. Продукцию гетеротрофных организмов обычно относят к вторичной продукции. Все виды вторичной продукции возникают на основе утилизации вещества и энергии первичной продукции: при этом энергия, в отличие от вещества, многократно возвращающегося в круговорот, может быть использована для выполнения работы только один раз. Каждый последующий трофический уровень потребляет продукцию предыдущего, причём часть энергии потреблённой и ассимилированной пищи идёт на нужды энергетического обмена и рассеивается. Поэтому продукция каждого последующего трофического уровня меньше продукции предыдущего. Часто при переходе от низших трофических уровней к высшим снижается не только продукция, но и биомасса. Однако, в отличие от продукции, биомасса последующего уровня может быть и выше биомассы предыдущего, например, биомасса фитопланктона меньше суммарной биомассы всего живущего за его счёт животного населения водоема (Зенкевич, 1951).

По другому принципу продукцию делят на промежуточную и конечную. К промежуточной относят продукцию, потребляемую другими членами экосистемы, вещество которой вновь возвращается в осуществляемый в её пре-

делах круговорот; к конечной – продукцию, в той или иной форме отчуждаемую от экосистемы, т.е. выходящую за её пределы. К конечной продукции относятся и используемые человеком виды продукции, которые могут принадлежать к любому трофическому уровню, включая первый, занятый растениями.

Возрастающие потребности и растущая техническая мощь человечества быстро увеличивают возможности его влияния на живую природу. Возникает необходимость управления экосистемами. Все средства влияния на продуктивность экосистем и управления ею направлены либо на повышение полезной первичной продукции (разные формы удобрения, мелиорации, регулирования численности и состава потребителей первичной продукции и пр.), либо на повышение эффективности утилизации первичной продукции на последующих трофических уровнях в нужном для человека направлении. Это требует хорошего знания видового состава и структуры экосистем и экологии отдельных видов. Наибольшие перспективы имеют такие формы хозяйственной эксплуатации живой природы и управления ею, которые основаны на знании особенностей местных экосистем и характерных для них форм биологической продуктивности.

2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Реки

Реки – это естественные водотоки, текущие в выработанном ими русле и питающиеся за счет поверхностного и подземного стока с их бассейнов. Всякая река имеет исток и устье, или дельту. Реки с притоками образуют речную систему, характер и развитие которой обусловлены главным образом климатом, рельефом, геологическим строением и размерами бассейна, т.е. той прилегающей местности, откуда идет сток. Между речными бассейнами проходит граница – водораздел (Львович, 1969–1978).

К важнейшим характеристикам рек относятся: водоносность, структура стока по источникам питания, тип водного режима, длина реки, площадь водосбора, уклон водной поверхности, ширина и глубина русла, скорость течения воды, ее температура, химический состав вод.

Флора и фауна рек включает растительные и животные организмы бентоса, планктона и нектона. Заросли высшей водной растительности и фитобентос встречаются преимущественно на участках рек с медленным течением. Эти заросли, а также камни, обрастающие водорослями (а иногда и мхами), служат местом обитания и пищей многочисленных мелких животных. В зависимости от характера дна в них обитают различные донные животные, состав которых зависит от характера дна и особенно разнообразен на плотных грунтах. Планктон рек в основном представлен бактериями, водорослями, инфузориями, рачками и коловратками. Нектон состоит, как правило, только из рыб. Наиболее богаты рыбой низовья рек и их дельты.

По эколого-гидрологическим характеристикам все текущие воды принято делить на креналь, ритраль и потамаль. Креналь – самый верхний участок водотока, область родника. К ритрالي чаще всего относят примыкающую к роднику часть водотока с каменистым или гравийно-галечным грунтом, высокой скоростью течения, насыщенной кислородом водой и амплитудой среднемесячных температур до 20°. К потамали относят примыкающую к ритрالي нижнюю часть водотока с песчаным, заиленным или илистым грунтом, сравнительно небольшой скоростью течения, амплитудой среднемесячных температур выше 20° (в тропиках с летним максимумом среднемесячной температуры выше 20°) и с частыми проявлениями дефицита кислорода. Иногда выше ритрали выделяют родник и область родникового ручья, называемые соответственно эукреналью и гипокреналью (Illies, Votosaneanu, 1963; Яныгина, 2006). В свою очередь, ритраль и потамаль могут разделять на части, каждая из которых соответствует определенным участкам рек, к которым приурочено местообитание определенных групп рыб: эпиритраль (верхний форелевый участок), метаритраль (нижний форелевый участок), гипоритраль (хариусовый участок), эпипотамаль (усачевый участок), метапотамаль (лещевый участок) и гипопотамаль (ершово-камбальный участок). Границы между ритралью и потамалью зависят от климата региона и находятся над уровнем моря тем выше, чем ниже расположена географическая широта местности (рис. 18).

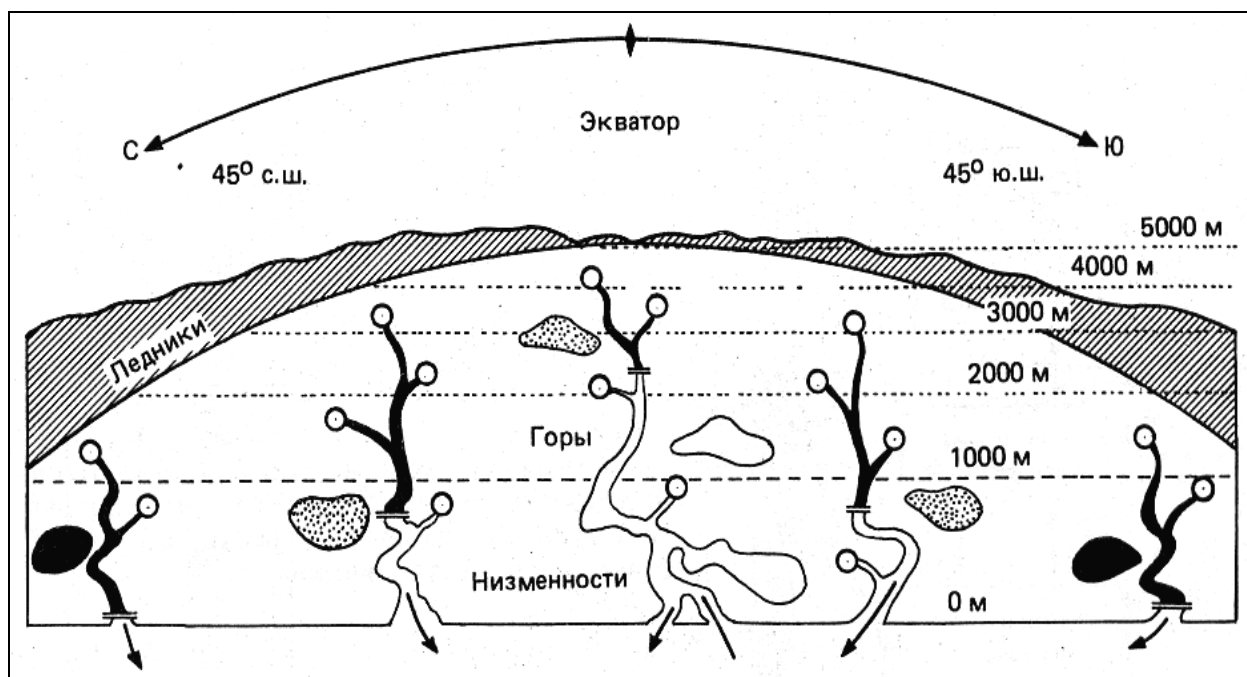


Рис. 18. Схема распространения на Земле биоценозов ритрали (черный цвет) и потамали (белый цвет) в зависимости от географической широты и высоты над уровнем моря (по: Иллиес, 1988)

По отношению к продольному распределению организмов все население рек условно делится на ритрон и потамон, что соответствует делению водотоков на зоны ритрали и потамали. Ритрон обычно представлен фито- и зообентосными организмами, занимающими в речных системах донные биогеоризонты, а также сообществом рыб, большинство из которых лососевые. Зообентос в зоне ритрали преимущественно состоит из организмов эпифауны, среди которых важную роль играют личинки амфибиотических насекомых: поденок, ручейников, веснянок и двукрылых (Богатов, 1994).

Наиболее признанной теорией, объясняющей причины смены сообществ вдоль по течению рек, является концепция речного континуума (Vannote et al., 1980), которая рассматривает реку как целостную систему, каждый участок которой обусловлен взаимодействием вышележащих, а вся система представляет собой цепь непрерывных взаимообусловленных изменений. Основными факторами, определяющими структуру речного сообщества, по этой теории является затенение и мутность воды, с увеличением которых существенно снижается фотосинтез, и сообщества консументов используют преимущественно аллохтонное¹ органическое вещество. Эти показатели и определяют гетеротрофность системы в верховьях и равнинных участках реки и ее автотрофность в среднем течении (рис. 19, 20).

¹ Аллохтонный (греч. *allos* – другой, иной, *chthōn* – земля) – геол., биол. О горных породах, организмах: возникший не на месте современного местонахождения.

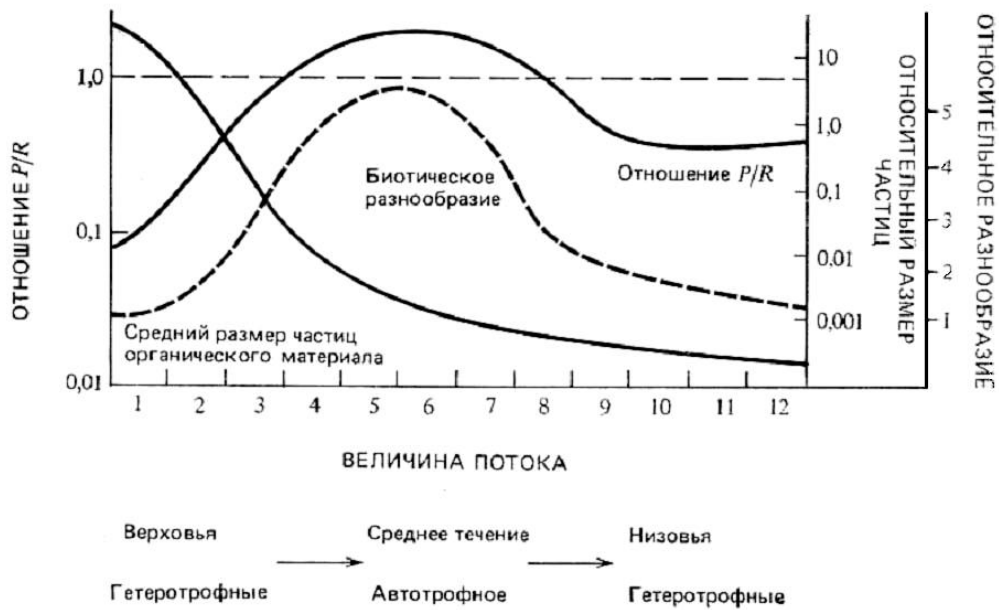


Рис. 19. Речной континуум. Изменение в метаболизме сообщества, в разнообразии размеров частиц органического вещества от ручьев в верховьях до крупных рек (по: Одум, 1986)

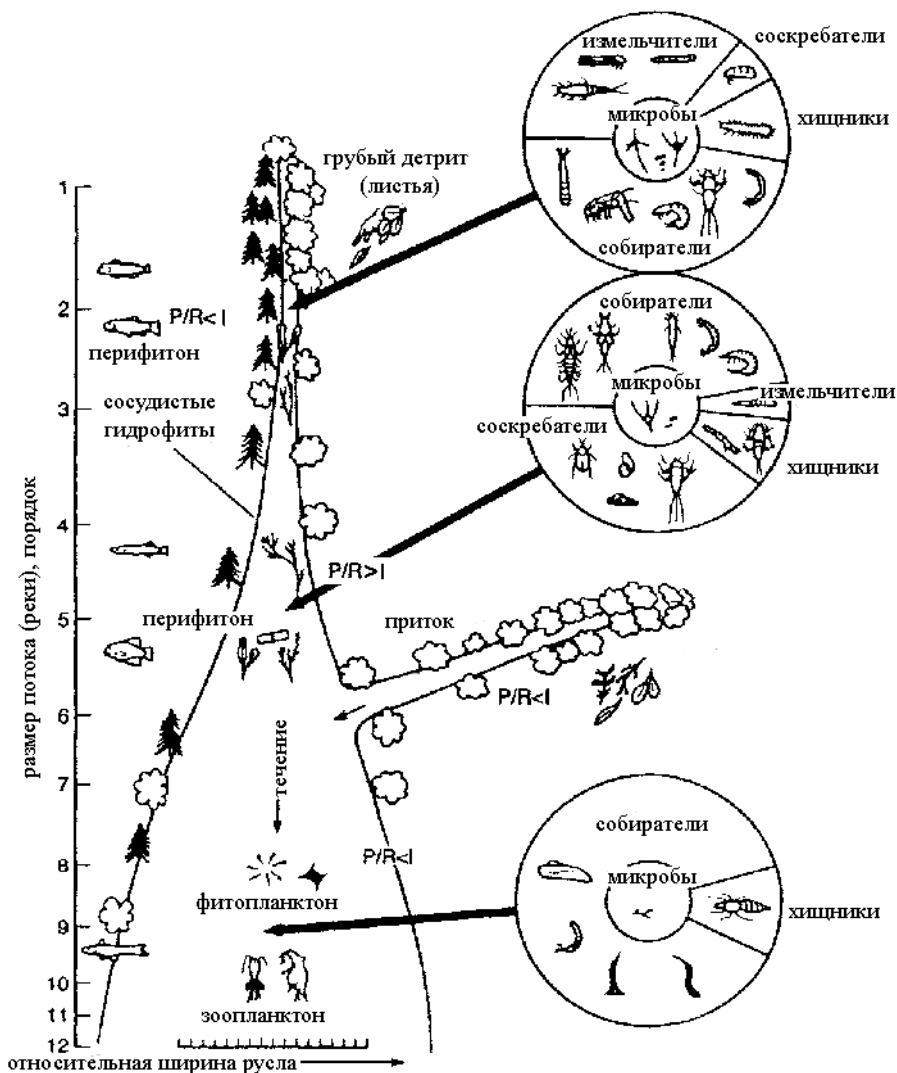


Рис. 20. Диаграммное представление концепции речного континуума (по: Allan, Castillo, 2007):

P – продукция органического вещества;
R – деструкция (редукция)

Противоположная теория функционирования речной экосистемы представлена в концепции «динамики пятен» (рефугиумов), по которой рефугиумы располагаются в речной системе случайно и структура сообществ каждого участка реки формируется случайным образом (Townsend, 1989). На практике, как правило, наблюдается сочетание континуальных и дискретных свойств речных экосистем, описанных в этих двух концепциях (рис. 21).

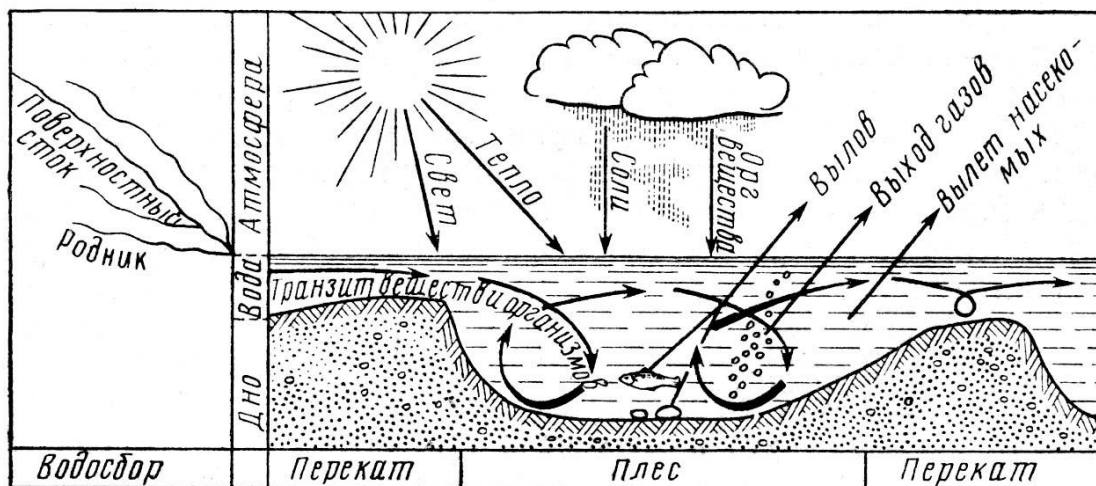


Рис. 21. Схема круговорота веществ в реке (по: Жадин, Герд, 1961)

Наибольшее влияние на таксономический состав гидробионтов водотоков имеют два фактора: скорость течения и стабильность грунта (Жадин, Герд, 1961; Константинов, 1986). Текущая вода содержит больше растворенного кислорода, чем стоячая, но и обитатели текущих вод нуждаются в большем содержании кислорода, чем обитатели стоячих или медленно текущих вод, так как им требуется большая энергия для удержания в потоке, если их снесет вниз, в стоячие воды, они погибнут от недостатка кислорода.

Реофильные организмы, реофилы (от греч. *rheos* – течение, поток и *phileo* – люблю) – животные, приспособившиеся к обитанию в текущих водах (реках, ручьях и на морских мелководьях, омываемых приливно-отливными или постоянными течениями). Одни из них проводят в текущих водах всю жизнь, другие – связаны с ними лишь в определённые периоды (например, личинки ручейников, подёнок и других насекомых, проходные рыбы). Реофилы – оксифильны (кислородолюбивы) и нуждаются в постоянном притоке свежей воды (рис. 22).

Некоторые реофильные организмы хорошие пловцы, способные преодолевать сильное течение (например лососёвые рыбы). Многие реофилы – сидячие или малоподвижные формы; противостоят сносу течением, прирастая к субстрату (губки, мшанки и др.), прикрепляясь к нему с помощью выростов тела или присасываясь, прячась в норках или среди камней и т.п. Для ряда из них характерны приспособления для фильтрации воды и улавливания приносимых течением пищевых частиц.

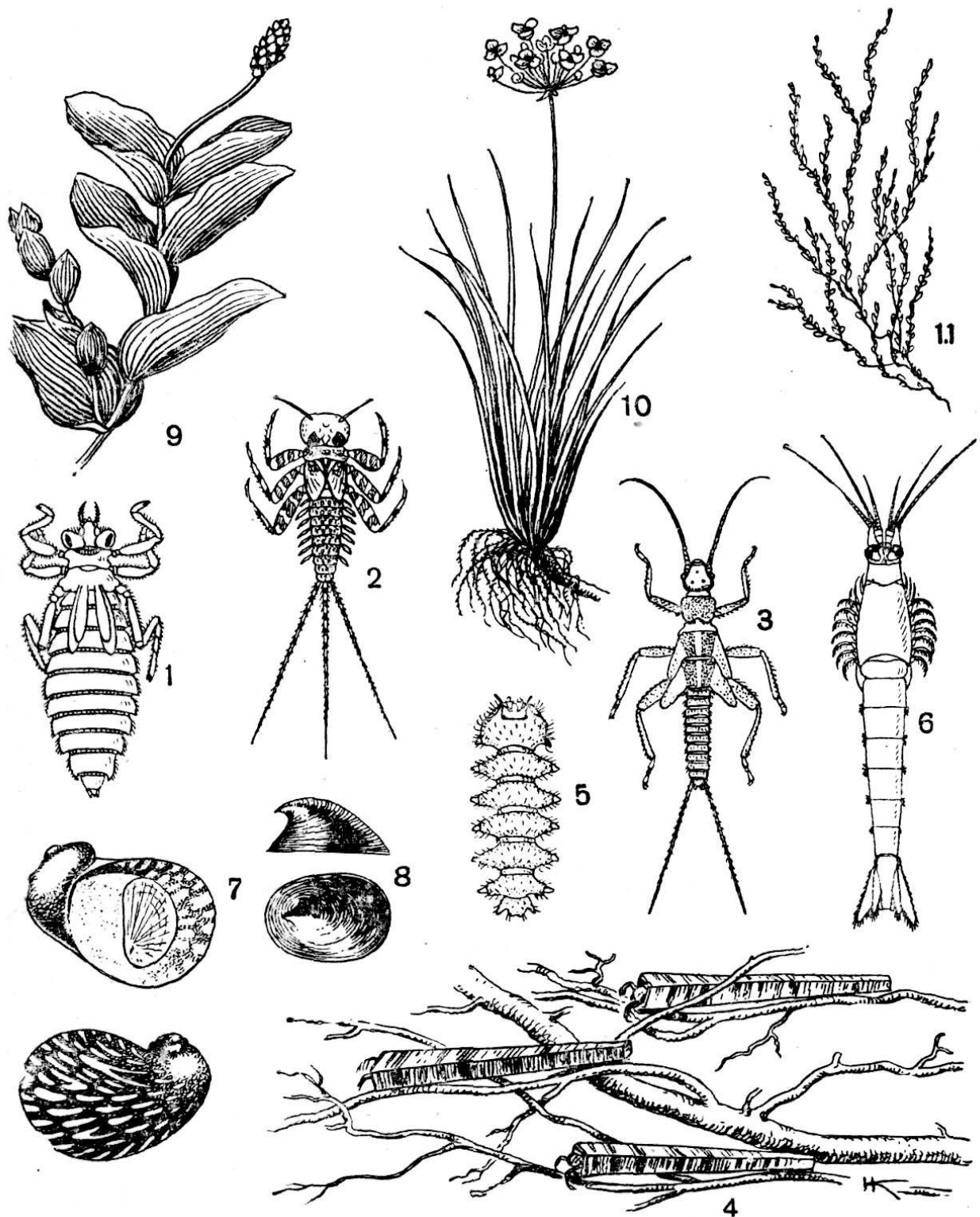


Рис. 22. Животные и растения, обитающие в текущих водах
(по: Жадин, Герд, 1961):

1 – личинка стрекозы дедки; 2 – личинка поденки гептагении; 3 – личинка веснянки немюра; 4 – личинки ручейника брахицентра; 5 – личинка двукрылого блефароцера; 6 – мизиды Ульского; 7 – речная лунка; 8 – речная чашечка; 9 – рдест пронзеннолистный; 10 – полушник; 11 – мох фонтиналис

Каналы

Канал (от лат. *canalis* – труба, жёлоб) – в гидротехнике, искусственное русло (водовод, водоток) правильной формы с безнапорным движением воды, устроенное в грунте. Каналы сооружают в открытой выемке или в насыпи (при пересечении балок, оврагов и др.), иногда – в полувыемке-полунасыпи (на косогоре). По назначению различают следующие виды каналов: судоходные (искусственные водные пути), энергетические (деривационные), оросительные (ирригационные), обводнительные, осушительные, водопроводные, лесосплавные, рыбоводные, комплексного назначения (Кораблинов, 1969–1978). В каналах обычно формируются водные сообщества, сходные с речными. Отличительной особенностью многих каналов является наличие большого количества искусственного субстрата (бетонные плиты), на которых формируются специфические сообщества перифитона. Другие особенности экосистем каналов связаны с характером их хозяйственного использования.

Водохранилища

Водохранилища – это искусственные водоёмы, образованные, как правило, в долине реки водоподпорными сооружениями для накопления и хранения воды в целях её использования в народном хозяйстве. Для всех водохранилищ характерны: возрастание глубин по направлению к плотине (исключая те из них, в состав которых вошли глубокие озёра), весьма замедленные по сравнению с рекой водообмен и скорости течения, неустойчивость летней термической и газовой стратификации и некоторые другие особенности гидрологического режима (Авакян, 1969–1978).

По видовому составу и уровню развития сообщества водохранилищ занимают как бы промежуточное положение между речным и озерным. В водохранилищах речного типа в верхнем участке сохраняются речные условия и речное население, в средней части флора и фауна носят промежуточный характер, а в приплотинной зоне приобретают озерные черты. В водохранилищах озерного типа население по своему составу приближается к озерному. На первых стадиях существования водохранилищ их население близко к обитателям исходного водоема. В дальнейшем оно приобретает специфический облик, зависящий главным образом от географического положения водоема (Константинов, 1986).

Планктон сформировавшихся водохранилищ состоит в основном из бактерий, синезеленых, диатомовых и зеленых водорослей, инфузорий, коловраток и ракообразных. Бактерий содержится несколько больше, чем в реках. Так, в Куйбышевском водохранилище в 1 мл воды 1–2 млн бактерий, в Волгоградском – 0,17–3,3 млн, в Рыбинском – 0,6–1,2 млн. Примерно такова же численность их в других больших водохранилищах.

Богатство фитопланктона в водохранилищах в сильной мере зависит от степени мутности поступающей воды и быстроты ее осветления. В верховьях водохранилищ, где мутность воды значительна, фитопланктона меньше, и он по своему видовому составу (преобладание диатомовых) ближе к речному, чем в средней части. В приплотинных участках фитопланктона тоже мало,

так как из-за больших глубин биогены, содержащиеся в опускающихся на дно водорослях и животных, выходят из круговорота, задерживаясь в грунте, и недостаток питательных солей ограничивает развитие водорослей. В холодное время года возрастает роль диатомовых, летом – синезеленых.

Зоопланктон водохранилищ преимущественно представлен бесцветными жгутиковыми, инфузориями, коловратками, ветвистоусыми и веслоногими рачками (Константинов, 1986).

Зообентос водохранилищ, в отличие от речного, характеризуется значительно большей ролью вторичноводных организмов, представленных главным образом личинками насекомых, в частности хирономид. Преобладают пелофилы, менее требовательные к кислороду, и только в верховьях водохранилищ встречаются настоящие реофильные формы. Соответственно этому, с продвижением из верховьев к приплотинному участку, видовое разнообразие донного населения снижается вследствие выпадения реофильных форм, однако в связи с возрастающим заилением грунтов биомасса бентоса не только не уменьшается, но даже заметно повышается.

На примере крупных равнинных водохранилищ умеренного пояса европейской части СССР – волжских и днепровских – были показаны следующие стадии формирования их фауны (Водоохранилища мира, 1979):

1. Постепенное разрушение и отмирание терригенных и перестройка существовавших водных биоценозов в начале первого сезона: разрушение существовавших до затопления реофильных, фитофильных и других группировок организмов и заселение затопленной суши и толщи воды экологически разнородным населением.
2. Образование временных водных биоценозов в первое лето при массовом заселении нового ареала – затопленной суши. Донные сообщества отличаются довольно однообразной фауной хирономид; в массовом количестве она развивается в условиях первоначальной высокой обеспеченности пищей – детритом терригенного происхождения – вне зависимости от исходного состава затопленного ложа и характера приносимого течением зообентоса. В зоопланктоне – массовое появление в первое лето рачков и коловраток.
3. Стабилизация состава донных сообществ, сопровождавшаяся снижением его биомассы по сравнению с предыдущей стадией (спустя 3–5 лет после создания водохранилища). Для третьей стадии характерно уменьшение видового разнообразия зоопланктона.

Нектон водохранилищ практически представлен только рыбами. Из их состава после зарегулирования рек реофильные формы исчезают, лимнофильные, наоборот, становятся многочисленнее. Особенно благоприятные условия для многих лимнофильных рыб складываются в первые годы существования водохранилища, когда большое количество залитой растительности образует дополнительные нерестилища. В последующем в результате отмирания залитых наземных растений условия икрометания для фитофильных рыб ухудшаются, и их численность несколько снижается. Помимо

этого, неблагоприятно отражается на численности рыб обеднение их кормовой базы, наблюдающееся через 1–2 года после образования водохранилищ.

Создание водохранилищ увеличило площадь водного зеркала многих рек, изменило их режим и кормность (не только по составу кормовых организмов, но и по биомассе), увеличилось количество планктона, который в руслах рек обычно развит слабо. Таким образом, появляются новые рыбохозяйственные угодья, позволяющие получить дополнительную продукцию. Но с созданием плотин и гидроузлов ухудшаются условия миграции и размножения наиболее ценных проходных рыб (особенно лососёвых и осетровых). Отрицательно влияет на биологическую продуктивность загрязнение промышленными и бытовыми сточными водами, отходами лесосплава, а также за счёт выноса с полей удобрений и ядохимикатов. Для компенсации урона широко применяется искусственное разведение проходных и пресноводных рыб, проводятся опыты по акклиматизации отдельных видов, расширяется прудовое рыборазведение (рис. 23).

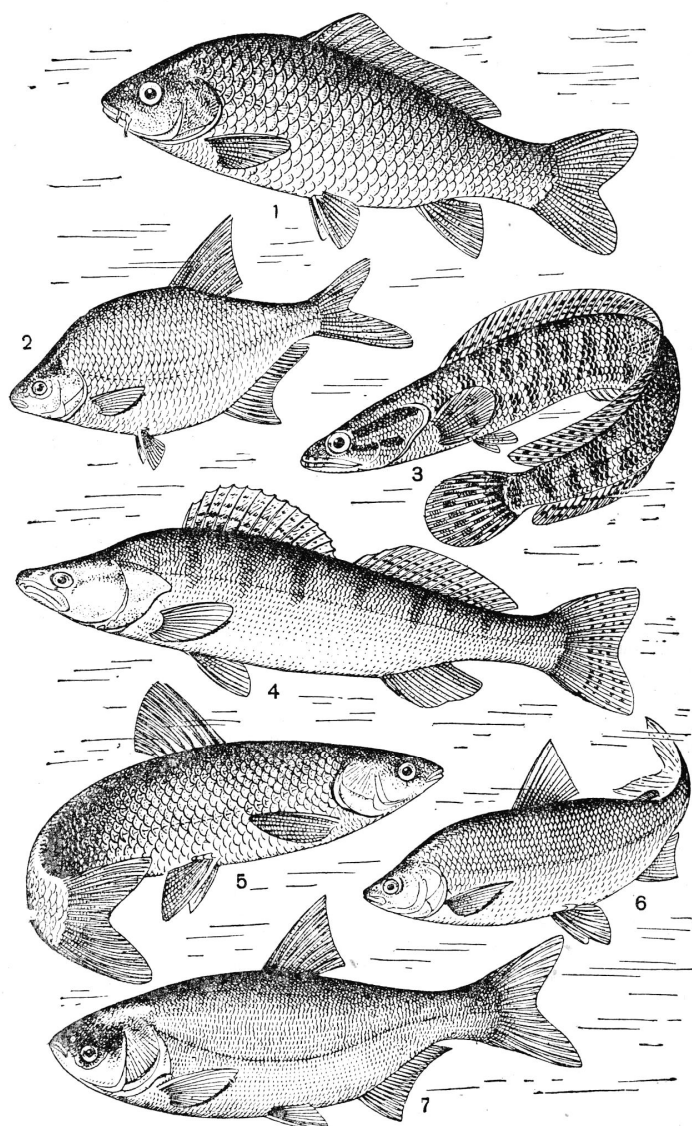


Рис. 23. Рыбы, которыми заселяют водохранилища (по: Жадин, Герд, 1961):

- 1 – сазан (каrp);
- 2 – лещ;
- 3 – змееголов;
- 4 – судак;
- 5 – белый амур;
- 6 – чудской сиг;
- 7 – толстолобик

Озера и пруды

Озера – это природные водоемы в углублениях суши (котловинах), заполненные в пределах озерной чаши (озерного ложа) разнородными водными массами и не имеющие одностороннего уклона (Коронкевич, 2005б). Для озер характерно отсутствие непосредственной связи с Мировым океаном. Озера занимают около 2,1 млн км², или почти 1,4% площади суши. Это примерно в 7 раз больше поверхности Каспийского моря – крупнейшего озера мира. Для озерных экосистем принято выделять определенные зоны водной толщи и дна (рис. 24). Существуют различные классификации озер по их морфологии, происхождению и размерным характеристикам (табл. 2).



Рис. 24. Экологические зоны озера (по: Константинов, 1986)

Таблица 2

Классификация озер по площади (по: Науменко, 2007)

Площадь озера, км ²	Размеры озер, по Иванову	Размеры озер, по Захаренкову
0,001–0,01	озерки	озерки
0,01–0,1		маленькие
0,1–1	очень малые	малые
1–10	малые	небольшие
10–100	средние	средние
100–1000	большие	большие
1000–10000	очень большие	весьма большие
10000–100000	великие озера мира	великие
100000–1000000	–	озера-моря

Пруд – искусственный водоем, выкопанный до глубины 3–5 м или созданный путём постройки плотины в долинах небольших рек, ручьёв, на территории балок либо оврагов. Обычно пруды представляет собой водоём площадью не более 1 км², которое должно иметь достаточной крутизны берега, слабый уклон дна и устойчивое к размыву ложе. Если питание будет происходить за счёт стока речных или грунтовых вод, то его заполнение рассчи-

тывают только на талые весенние воды. Для удаления избытка воды иногда устраивают водоспуски. В сельской местности пруды создаются с целью орошения, обводнения, разведения рыбы, водоплавающей птицы, а также хранения воды для различных хозяйственных целей. В городах и зонах отдыха они являются местами рыбной ловли, купания и проведения различных спортивных мероприятий. Экосистемы прудов схожи с таковыми малых озер и водохранилищ (БСЭ, 1969–1978).

Еще в 1915 г. Тинеманн предложил различать по трофности (от «трофе», гр. – питание) эвтрофные («хорошо питающиеся», «тучные») и олиготрофные («недостаточно питающиеся», «тощие») водоемы (Зилов, 2006). Первоначально классификация основывалась на соотношении объемов эпилимниона (верхнего, трофогенного – «питающего» слоя озера) и гиполимниона (нижнего, трофолитического – «питающегося» слоя). То есть по объему:

$[\text{Эпилимнион}]/[\text{Гиполимнион}] \geq 1 = \text{эвтрофный};$

$[\text{Эпилимнион}]/[\text{Гиполимнион}] \leq 1 = \text{олиготрофный}.$

Классификация оказалась очень удачной, естественной и применяется, в несколько модифицированном виде (добавлены гиперэвтрофные, мезотрофные, ультраолиготрофные, дистрофные водные объекты), по настоящее время (табл. 3).

Отличительным признаком *олиготрофных водоемов* является высокая прозрачность воды благодаря низкой численности планктонных водорослей, обусловленной низким содержанием биогенов. Содержание кислорода в воде в течение всего года близко к насыщению. Из-за малости биомассы первичных продуцентов биомассы на высших трофических уровнях также невысоки. Дно водоемов песчаное или каменистое. Это, как правило, относительно глубокие и узкие озера. При малых биомассах сообществ отличаются высоким разнообразием состава. Фауна и флора представлены видами, характерными для олигосапробных водоемов.

Для *эвтрофных водоемов* характерна низкая прозрачность воды, вызванная массовым развитием планктонных водорослей. Желто-зеленый цвет типичен для эвтрофных вод. Высокое содержание биогенов и варьирующее содержание кислорода. Концентрация кислорода в гиполимнионе значительно снижается как во время летней стратификации, так и подо льдом зимой. Во всех эвтрофных озерах вода в эвфотическом слое перенасыщена кислородом в дневное время суток благодаря фотосинтезу, а в ночное время уровень содержания кислорода падает из-за дыхания. Донные осадки эвтрофных озер чрезвычайно богаты биогенами, благодаря накоплению органического вещества, поступающего из фотической зоны. Поначалу это ведет к росту биомассы укорененных макрофитов. Затем рост фитопланктона затеняет погруженные растения. Плотные заросли полупогруженных макрофитов от этого не страдают и часто присутствуют вдоль берегов эвтрофных озер. Важной чертой эвтрофных озер является значительная продуктивность на всех уровнях пищевой цепи, включая рыб. Для эвтрофных вод характерны летние и зимние заморы.

Таблица 3

Уровень биогенов, биомассы и продуктивности озер разных трофических категорий (по Зилову, 2008)

Трофность	Ультра-олиготрофное	Олиготрофное	Мезотрофное	Эвтрофное	Гипертрофное
Общий фосфор (мг/м ³)	4	10	10–35	35–100	100
Среднегодовое содержание хлорофилла (мг/м ³)	1	2,5	2,5–8	8–25	25
Максимум хлорофилла (мг/м ³)	2,5	8,0	8–25	25–75	75
Среднегодовая прозрачность по диску Секи (м)	12	6	6–3	3–1,5	1,5
Минимальная прозрачность по диску Секи (м)	6	3	3–1,5	1,5–0,7	0,7
Насыщенность кислородом (%)	<90	<80	40–89	40–0	10–0
Доминирующие виды рыбы	форель, сиг	форель, сиг	сиг, окунь	окунь, плотва	плотва, лещ

Дистрофные водоемы исключительно бедны жизнью, с коричневым цветом воды. К ним относятся бедные кислородом озера в заболоченных районах.

Экосистемы озер характеризуются особыми условиями существования живых организмов. Общая стабильность водных масс, отсутствие течений, расслоение температурных, газовых и химических свойств воды по вертикали от поверхности дна создают иные условия существования обитания растений и животных в озерах (Жадин, Герд, 1961). Озера умеренной зоны (димиктические) характеризуются высокой годовой амплитудой колебания температуры воды (рис. 25). Перемешивание водных масс в таких озерах происходит весной и осенью, летом и зимой наблюдается температурная стратификация (летом температура у дна ниже, чем у поверхности, зимой – наоборот), холодный и теплый слой воды разделены термоклином (Хатчинсон, 1969). Подобные условия способствуют возникновению дефицита кислорода в придонных слоях воды особенно в период стагнации в озерах большой степени трофности. Организмы, обитающие в озерах, называют лимнобионтами (Константинов, 1986). Они характеризуются в целом большей теплолюбивостью и меньшей требовательностью к насыщению воды кислородом.

Лимнофильные организмы (от греч. *limne* – озеро, пруд и *phileo* – люблю) – обитатели стоячих вод (озёр, прудов). Могут жить на дне водоёма

(лимнобентос), парить в толще воды (лимнопланктон), активно передвигаться по водоёму (лимнонектон). Их противопоставляют реофилам. В отличие от последних, лимнофилы менее требовательны к количеству растворённого в воде кислорода, тело у них обычно не уплощено, органы прикрепления к субстрату отсутствуют (рис. 26–27).

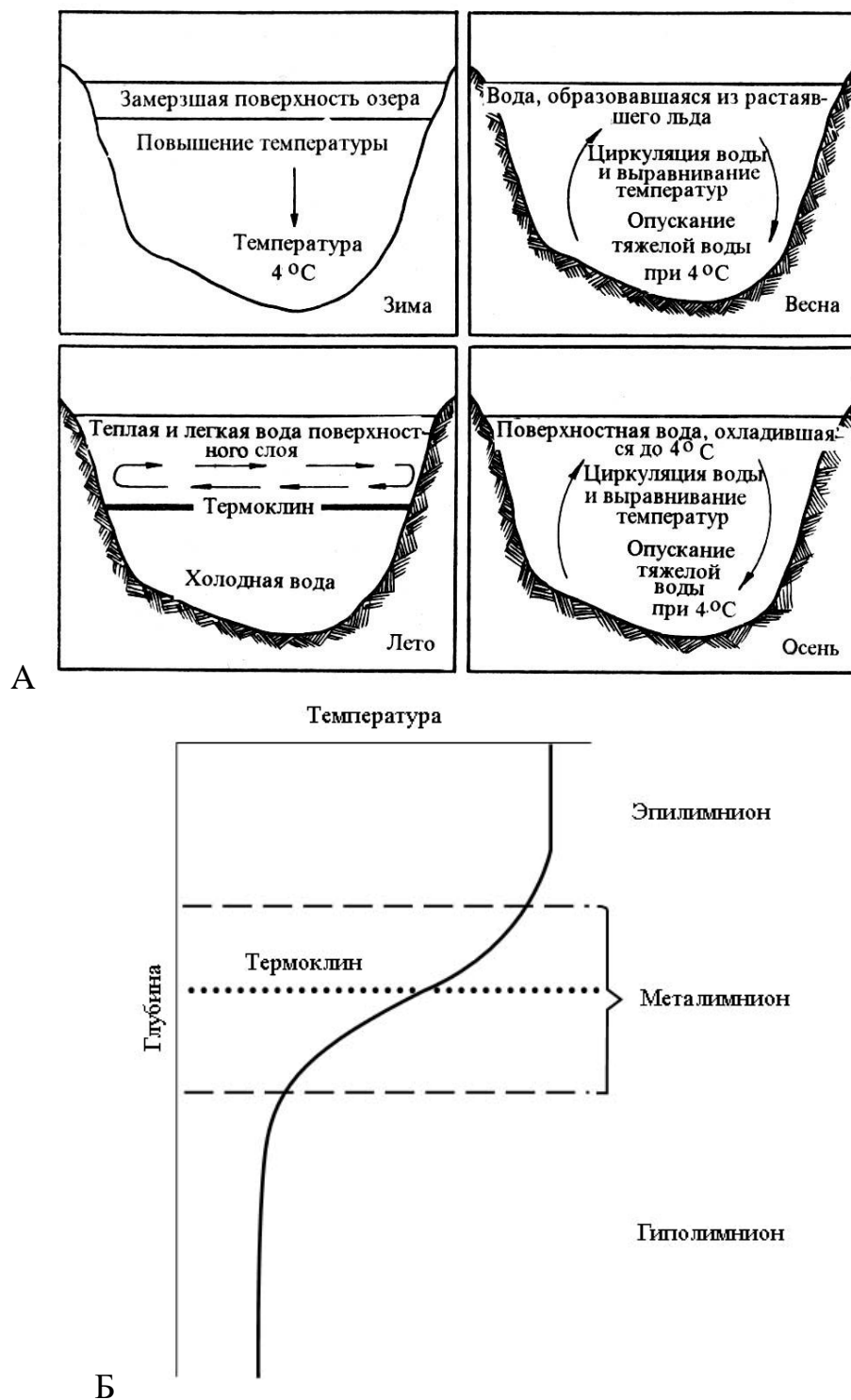


Рис. 25. Циркуляция воды и температурная стратификации в озерах умеренной зоны:

А – в течение года (по: Радкевич, 1998); Б – типичный температурный профиль летом (по: Lampert, Sommer, 2007)

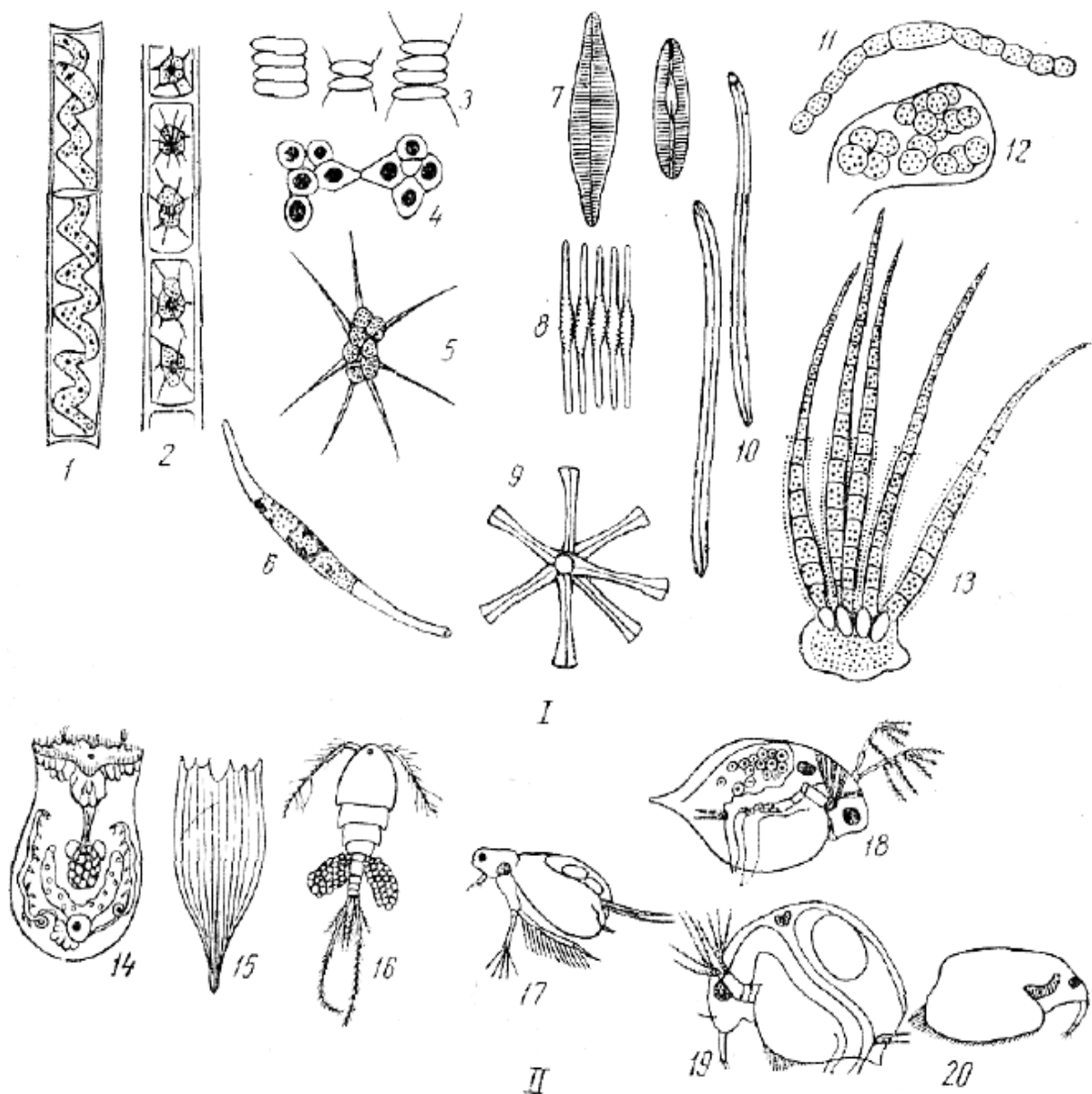


Рис. 26. Представители озерно-прудового планктона
(по: Константинов, 1986):

- I – фитопланктон: зеленые водоросли (1 – *Spirogyra*, 2 – *Zygnema*, 3 – *Scenedesmus*, 4 – *Coelastrum*, 5 – *Richtriella*, 6 – *Closterium*); диатомовые водоросли (7 – *Navicula*, 8 – *Fragilaria*, 9 – *Asterionella*, 10 – *Nitzschia*); синезеленые водоросли (11 – *Anabaena*, 12 – *Microcystis*, 13 – *Gloeothrichia*);
- II – зоопланктон: коловратки (14 – *Asplanchna*, 15 – *Notholca*); веслоногие рачки (16 – *Macroscyclops*); ветвистоусые рачки (17 – *Diaphanosoma*, 18 – *Daphnia*, 19 – *Bosmina*, 20 – *Acantholeberis*)

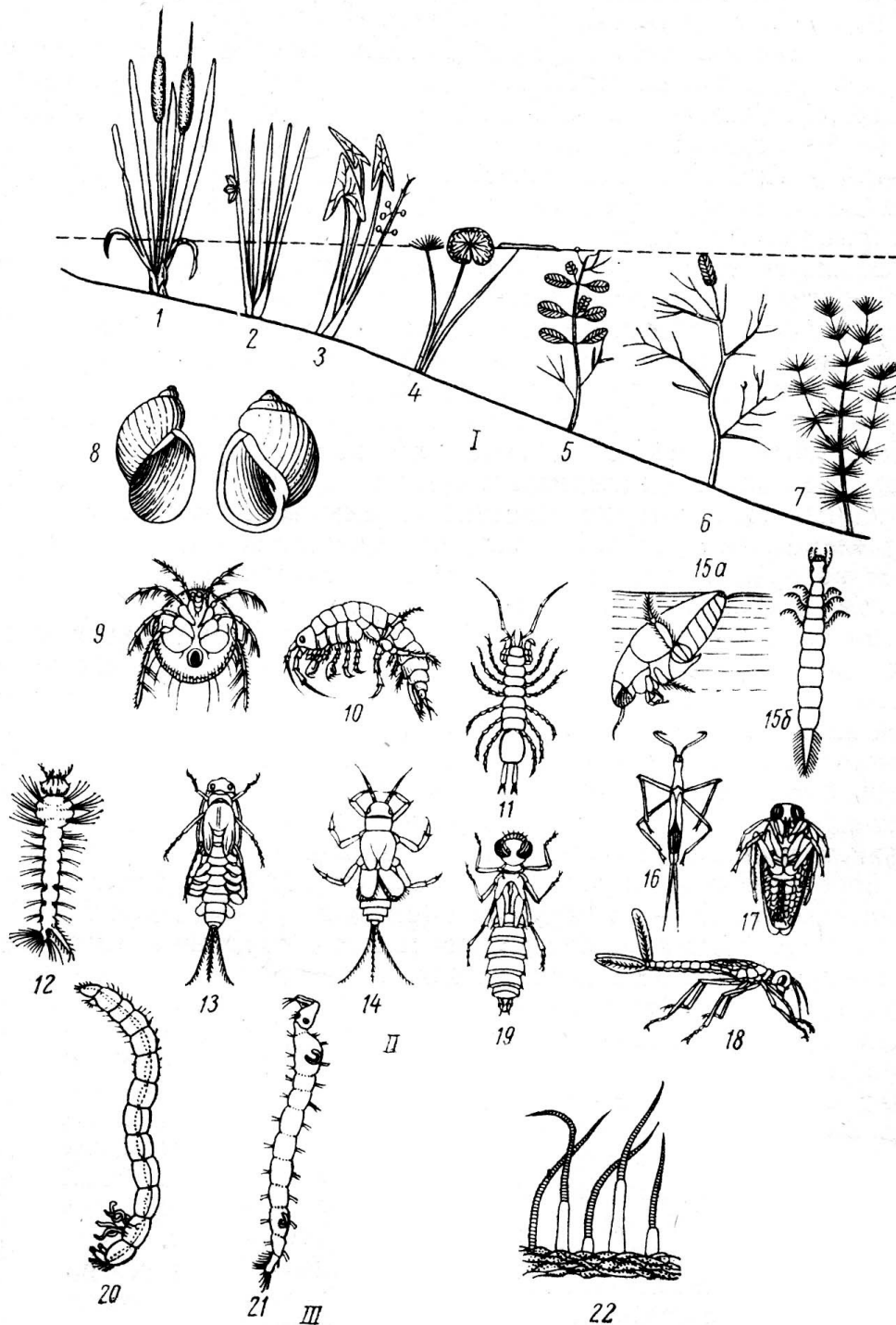


Рис. 27. Представители озерно-прудового бентоса (по: Константинов, 1986):
 I – фитобентос; II – зообентос; III – характерные формы бентоса профундали:
 1 – рогоз, 2 – камыш, 3 – стрелолист, 4 – кувшинка, 5, 6 – рдест, 7 – хара, 8 – прудовик, физа, 9 – водяной клещ, 10 – бокоплав, 11 – водяной ослик, 12 – личинка кровососущего комара, 13, 14 – личинки поденок, 15 – жук-плавунец (а – взрослый, б – личинка), 16 – водяной палочник (клоп), 17 – клоп-гладыш, 18, 19 – личинки стрекоз, 20 – личинка комара-звонца (хиرونмус), 21 – личинка хаоборуса (двукрылые, комары), 22 – червь-трубочник

Болота

Болото – это участок суши с избыточным застойным увлажнением грунта, заросший влаголюбивой растительностью. Для болот характерен процесс накопления неразложившихся растительных остатков и образования торфа. Болота распространены главным образом в Северном полушарии, особенно в равнинных районах, где развиты многолетнемерзлые грунты, и занимают площадь около 350 млн га (Коронкевич, 2005а).

Болота возникают в результате переувлажнения почвы и зарастания водоемов. Заболачиванию способствуют также плоский рельеф, наличие близкого стояния водоупора и грунтовых вод, а также подъем последних в результате гидротехнического строительства и нерационального орошения. Различают болота верховые, образующиеся в верхних частях водосборного бассейна, низинные (в поймах рек) и переходные.

По преобладающей растительности болота бывают лесными, кустарничковыми, травяными, моховыми; по микрорельефу – бугристыми, плоскими, выпуклыми. Самые переувлажненные участки болот носят название топи.

Уникальна заболоченность Западно-Сибирской равнины, где сосредоточены крупнейшие массивы болот, которые охватывают территорию в 1 млн км². Заболоченность доходит до 70%, а мощность торфяной залежи достигает 4–6 м, а местами 10 м и более. Это самый заболоченный район мира. Незаболоченными остаются только узкие пространства вдоль рек. Наступление болот на территории Западной Сибири носит прогрессирующий характер.

Болота – своеобразная среда обитания для ряда растений (осоки, рогоза, клюквы, голубики, морошки, багульника) и животных (ондатры, выдры и др.), птиц (гнездовья журавлей, цапель, уток, куликов), но истинных гидробионтов в них обитает меньше, чем в реках и озерах (рис. 28). В болотах сосредоточены богатые ресурсы торфа; только в Западной Сибири его запасы превышают 100 млрд т. Болота – важное звено круговорота воды на Земле, накопители и регуляторы пресной воды. Они, как губка, сохраняют влагу. Так, в болотах России сосредоточено более 1,5 тыс. км³ воды, в том числе не связанной воды почти 350 км³, что соизмеримо с суммарным объемом таких крупных озер, как Ладожское и Онежское.

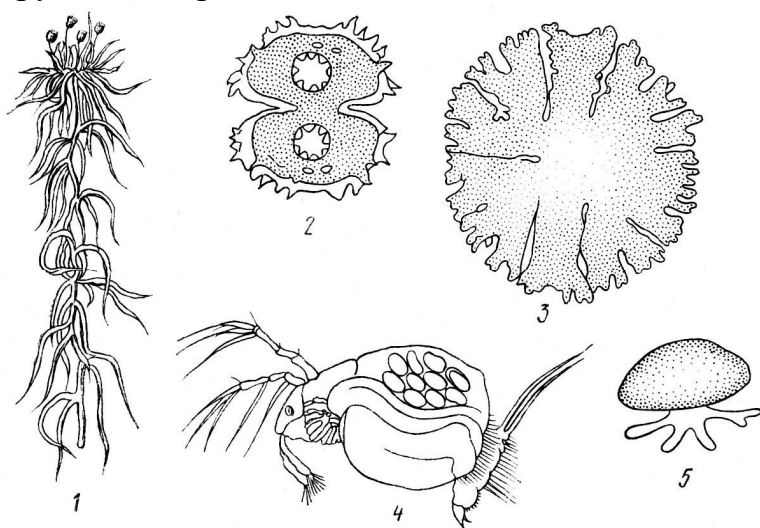


Рис. 28. Представители населения болот: 1 – мох сфагнум; 2, 3 – десмидиевые водоросли ксантидиум и макростериас; 4 – ветвистоусый рачок макротрикс; 5 – простейшее (одноклеточное животное) арцелла (по: Константинов, 1986)

3. ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Рассмотрим основные типы водных экосистем на примере водных объектов Алтайского края. Главная река края Обь образуется при слиянии Бии и Катуня, в 20 км юго-западнее г. Бийска. Вскрывается Обь в середине апреля, в период ее половодья случаются частые разливы. Осенний ледостав начинается в первой декаде ноября, наибольшая толщина льда к концу зимы достигает 80–130 см. Среди крупных притоков Оби – два левых – Алей и Чарыш и правый – Чумыш.

Большая часть территории Алтайского края находится в бассейне р. Оби и ее истоков – Бии и Катуня, часть рек находится в области замкнутого стока Кулундинской низменности. Вода озер Кулундинской низменности – Кулундинского, Кучукского, Большого Ярового, Мостового, Бурлинского – обладает горько-солончатым вкусом, эти озера известны лечебными и минеральными ресурсами. Довольно часто небольшие озера встречаются и на террасах древних долин и в поймах рек (Ревякин и др., 1995).

Реки

Река Обь с Катунью имеет протяженность 4338 км (в пределах края – 453 км), она пересекает всю Сибирь, принимая в себя около 2000 притоков и имеет площадь бассейна 2990 тыс. км² (активная – 2469). Ее средний расход – 12,7 тыс. м³/с, наибольший – 42,8 тыс. м³/с. В среднем течении ее глубина достигает 20 м, а ширина – 3–4 км. Это река почти непрерывного половодья, что объясняет постоянную мутность воды за счет взвеси, приводящей к снижению прозрачности до 30 см при малой минерализации вод (около 100 мг/л). Другое следствие долгого половодья состоит в длительном затоплении стариц и проток, образующих сору. В гидрологическом отношении Обской речной район делится на равнинную и горную часть. В горах Алтая аккумулируется влага, зарождается сток, отсюда текут многие реки, в том числе Обь и Иртыш. С восточных склонов Уральского хребта берут свое начало притоки Тобола и Нижней Оби. Через равнинную часть района транзитом проносятся воды, зародившиеся в горах. На севере избыточное увлажнение является причиной образования болот. Бассейн Оби принято делить на следующие участки: верховья (от истоков Бии и Катуня до их слияния), Верхняя Обь (от слияния Бии и Катуня до Новосибирского водохранилища), Средняя Обь (от Новосибирского водохранилища до устья Иртыша) и Нижняя Обь (от Иртыша до Обской Губы). До строительства Новосибирской ГЭС границей Верхней и Средней Оби считали устье Томи (Жадин, Герд, 1961; Доманицкий и др., 1971; Стебаев и др., 1993).

В соответствии с методикой классификации речных систем Сибири по их величине (Корытный, 2001) в Обь-Иртышском бассейне выделено: одна крупнейшая речная система IX порядка – весь бассейн Оби; 3 крупнейших системы VIII порядка – Иртыш, Чулым, Кеть; 13 больших систем VII порядка; 74 средние системы VI порядка; 354 малых систем V порядка и 1587 малых систем IV порядка (табл. 4).

Таблица 4

Классификация речных систем Сибири (по: Корытный, 2001)

Класс	Порядок	Площадь водосбора, тыс. км ²	Длина главной реки, км	Средний многолетний расход в устье, м ³ /с
Крупнейшие	IX	> 2000	> 3000	> 10000
	VIII	200–2000	1000–3000	1000–10000
Большие	VII	20–200	200–1000	100–1000
Средние	VI	2–20	50–200	От 10–20 до 100
Малые	IV, V	0,2–2	20–50	От 2–5 до 10–20
Очень малые	I, II, III	< 0,2	< 20	< 2–5

Все разнообразие рек бассейна Оби подразделяется на пять участков: горный, степной, болотный, тундровый, дельтовый (Жадин, Герд, 1961). Только в Алтайском крае насчитывает 16552 реки с общей длиной 47,5 тыс. км (Водоемы., 1999). Участок реки Оби выше Новосибирского водохранилища – типично равнинный, но его экосистема, являясь полной по составу биотических сообществ, находится под влиянием образующих ее горных рек. Особенности формирования и функционирования экосистем водотоков и водоемов бассейна Верхней Оби обусловлены значительным разнообразием природных условий и характера использования его обширной территории.

Обь в районе Барнаула. В верхнем течении Обь имеет хорошо разработанную долину с развитыми пойменными террасами (рис. 29). До устья Чарыша течёт в низких берегах, русло изобилует протоками, островами, перекатами. Далее, к Барнаулу, долина и пойма расширяются. От Барнаула до Камня-на-Оби долина широкая (5–10 км) и асимметричная с крутым левым склоном; широкая пойма изрезана старицами, протоками и озёрами. У Камня-на-Оби долина и пойма сужаются (соответственно до 3–5 км и 1,5–2 км), в русле встречаются участки с каменистыми выступами. В южной части Новосибирска река зарегулирована плотиной, образовавшей Новосибирское водохранилище (Обское море) (Малик, 1969–1978).

В фитопланктоне этого участка Оби в мае-сентябре 1993 г. было обнаружено 179 видов водорослей: на первом месте зеленые и диатомовые, на втором – синезеленые. Численность и биомасса водорослей в планктоне имела значительные колебания (9,4–501 тыс. кл./л и 0,03–1,1 мг/л соответственно) вдоль по реке. Содержание хлорофилла «а» в реке Оби в районе Барнаула – до 15,7 мкг/л – соответствует мезотрофному уровню. При некотором превышении содержания хлорофилла на участках реки ниже города по сравнению с пунктами выше него, значительного увеличения концентрации хлорофилла и, соответственно, количества водорослей непосредственно ниже города не происходит. В составе зоопланктона р. Оби обнаружено около 50 видов с преобладанием коловраток. Максимальная величина суммарной численности – до 91,4 тыс. экз./м³ и биомассы – до 1,817 г/м³ (Кириллов и др., 1997).

Водная флора рассматриваемого участка р. Оби представлена 59 видами из 30 семейств. Большое влияние на таксономический состав водной растительности этого участка оказывает деятельность человека. В районе Барнаула, а также ниже других населенных пунктов преобладают сообщества макрофитов с доминированием рдеста пронзеннолистного, рдеста гребенчатого и стрелолиста обыкновенного, являющихся индикаторами эвтрофирования водотока.

Зообентос типичен для равнинной реки. Вблизи Барнаула он представлен личинками хирономид, которые образуют 70–80% всей бентофауны. В заиленной части постоянного русла реки преобладают хирономиды и двустворчатые моллюски шаровки, биомасса составляет 5–8 г/м². Во временном русле, осыхающем в осенне-зимней период, илистые пески имеют наиболее разнообразную фауну: кроме хирономид отмечены олигохеты, шаровки и другие моллюски. Биоценоз на песках без ила, особенно в пойменных водоемах, представлен в основном рачками-бокоплавами, круглыми червями нематодами; биомасса в большинстве случаев не превышает 1–2 г/м². В притоках Оби, протоках, курьях и заливах основу биомассы образуют личинки хирономид.



Рис. 29. Космоснимок р. Оби в окрестностях Барнаула

Ихтиофауна русла р. Оби представлена сибирской миногой, сибирским осетром, стерлядью, тайменем, нельмой, щукой, плотвой, язем, лещем, серебряным карасем, сазаном, налимом, судаком, окунем и ершом. В пойме реки обитают щука, плотва, язь, озерный гольян, линь, лещ, верховка, золотой карась, серебряный карась, сазан, судак и окунь (Журавлев, 1999).

Экосистема равнинного участка р. Оби имеет высокую способность к самоочищению, происходящие в ней изменения по характеру обратимы, но

существует угроза перехода в кризисное состояние на наиболее загрязненных участках, особенно ниже по течению от крупных населенных пунктов, таких как Барнаул (Кириллов, 2001).

Притоки реки, как крупные, так и малые, имеют сформированные сообщества гидробионтов, а именно фито- и зоопланктона (микро-, мезо- и макро-), фито- и зообентоса, особенно в нижнем их течении, что позволяет им сохранять потенциал самоочищения на достаточном уровне. В отличие от Оби притоки сильнее подвержены дестабилизации экосистем при значительном антропогенном воздействии.

Нижнее течение р. Чумыша. Река Чумыш – правый приток Оби, площадь бассейна – 23 900 км², длина – 644 км (рис. 30). Нижнее течение реки приходится на территорию Усть-Чумышского заказника. В фитопланктоне нижнего течения р. Чумыша выявлено 107 видов водорослей из 8 отделов. По числу видов наибольшего разнообразия достигают зеленые водоросли. Лидирующей группой по численности в фитопланктоне Чумыша являются зеленые водоросли, а по биомассе – эвгленовые. Состав и количественные показатели фитопланктона являются типичными для подобных водотоков равнинной части бореальной области (Силантьева и др., 2002).

Основу зоопланктонных сообществ нижнего течения Чумыша составляют ветвистоусые рачки. На втором месте – веслоногие рачки. Менее всего представлены коловратки.

Фауна рыб приустьевой зоны Чумыша отличается большим видовым разнообразием – здесь представлена почти вся ихтиофауна Алтайского края – 25 видов. Большая часть рыб – это ценные промысловые виды. В частности, регулярно встречаются на этом участке: сибирский осетр, стерлядь, таймень, нельма, щука, плотва, елец, язь, лещ, линь, золотой карась, серебряный карась, сазан, налим, судак, окунь, ерш (Журавлев, 1999).

Водные объекты бассейна нижнего течения р. Чумыша относятся к следующим типам: эвтрофным (пойменные водоемы), мезотрофно-эвтрофным (протоки), олиготрофно-мезотрофным (русло Чумыша).

Река Барнаулка – левый приток Оби, имеет протяженность 208 км, площадь бассейна – 5 720 км². В планктоне реки выявлено 254 вида водорослей. Преобладают зеленые и диатомовые водоросли, что является характерной чертой голарктических рек. В период открытой воды концентрация хлорофилла «а» в реке варьирует в широких пределах – 1,3–60,3 мкг/л. Минимальное содержание хлорофилла «а» отмечено в сентябре на участке ниже Алтайского завода агрегатов, максимальное – в конце июня выше «Лесного пруда». Среднее за период открытой воды содержание хлорофилла «а» составило 12,3 мкг/л (Река Барнаулка..., 2000).

В зоопланктоне реки зарегистрировано 114 видов беспозвоночных животных. Микрзоопланктон реки представлен, в основном, инфузориями – 74 вида, наблюдается большое количество бентосных и прикрепленных видов, что характерно для мелководных рек, в мезозоопланктоне преобладают коловратки и ветвистоусые раки, меньше веслоногих раков.

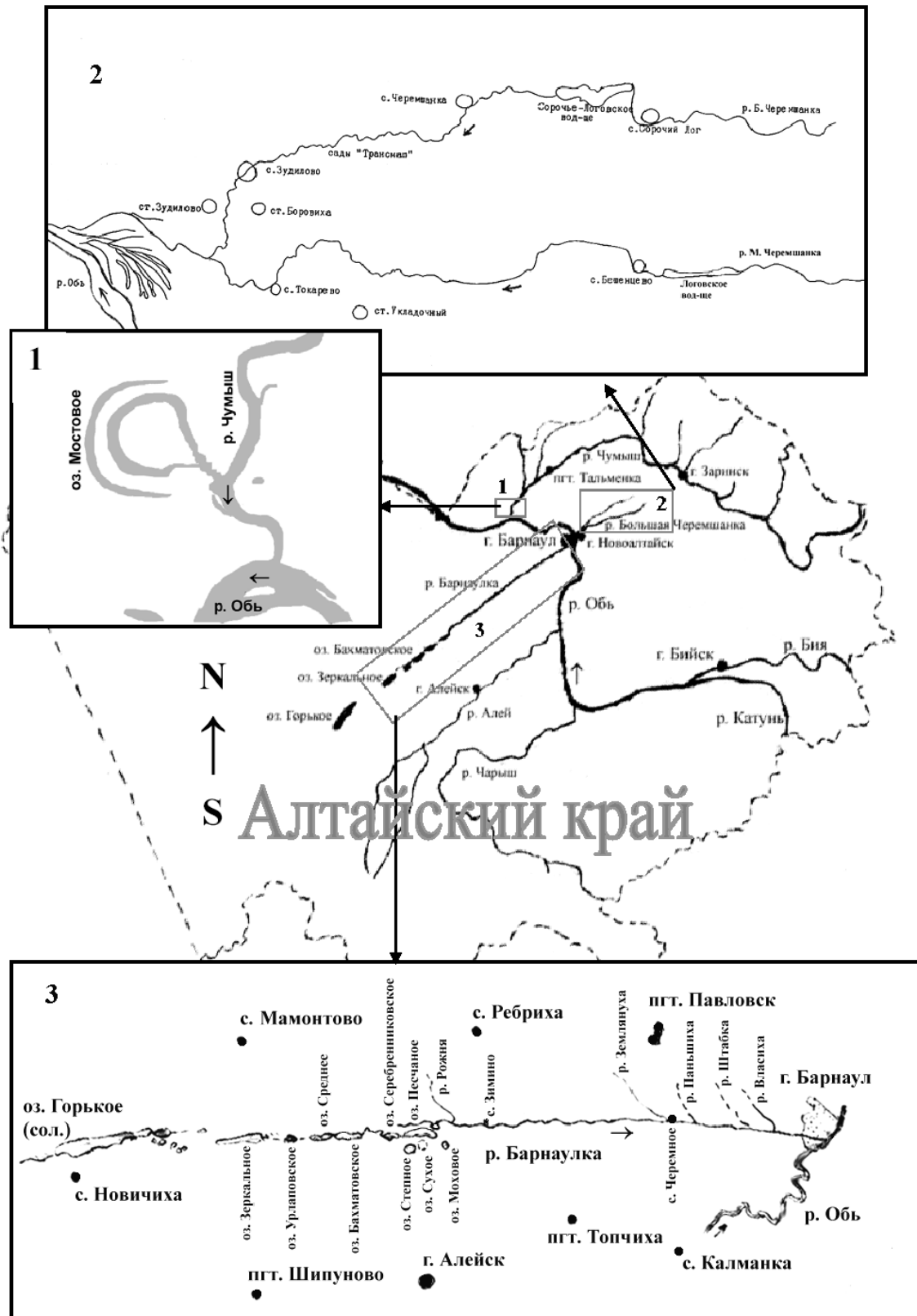


Рис. 30. Карта-схема расположения рек Чумыша, Большой Черемшанки и Барнаулки

В зообентосе обитает 115 видов из 11 классов, определяющее значение в формировании состава и структуры донных сообществ имеют широко распространенные виды хирономид, моллюсков и кольчатых червей.

Из рыб в основном русле реки встречаются пескарь, щиповка, щука и плотва. Золотой карась, линь и озёрный голянь отмечены только в пойменных водоёмах.

Все индикаторные сообщества показали смешанный мезотрофно-эвтрофный характер р. Барнаулки, причем уровень трофности повышается вниз по течению. Отмечена несбалансированность и разнообразие уровня развития различных сообществ данного маловодного, но протяженного водотока.

Река Большая Черемшанка – правый приток р. Оби, общая длина реки – 62 км, площадь водосбора – 717 км². В фитопланктоне верхнего течения р. Б. Черемшанки преобладали диатомовые водоросли. Зеленые, синезеленые и эвгленовые были немногочисленны и характеризовались незначительным видовым разнообразием. Осенью нижний участок Сорочье-Логовского водохранилища имел следы «цветения» воды, которое вызывалось главным образом синезелеными водорослями. В нижнем течении реки заметно увеличивается доля зеленых и синезеленых водорослей (Веснина и др., 2002).

Зоопланктон р. Б. Черемшанки представлен 20 видами, из них коловратки – 11 видов, ветвистоусые рачки – 7, веслоногие – 2 вида. По численности доминируют коловратки.

В зообентосе отмечено 82 вида беспозвоночных, в том числе: губок, гидроидных полипов по одному виду; пиявок, мшанок и двустворчатых моллюсков – по 2 вида; малощетинковых червей и паукообразных – по 4 вида; брюхоногих – 8; насекомых – 58 (из них двукрылых – 34). Биомасса и численность зообентоса р. Б. Черемшанки в основном определялась хирономидами и мелкими моллюсками. Меньшее значение имели пиявки и олигохеты. Биомасса зообентоса колебалась от 0,2 до 23,0 г/м² и в среднем составила 8,7 г/м².

По эколого-ихтиологической классификации это типичный плотвично-окуневый водоток (плотва, окунь, ерш, лещ, язь, голянь, карась, щука).

Анализ данных по уровню развития речных сообществ свидетельствует о том, что верхнее и среднее течение р. Б. Черемшанки относится к олиготрофно-мезотрофному типу, Сорочье-Логовское водохранилище – мезотрофное, ниже водохранилища река мезотрофно-олиготрофного типа.

На рисунке 31 представлена типизация речных экосистем бассейна Верхней Оби, в основе которой состав и структура донных сообществ.

Озера

В пределах Алтайского края насчитывается до 11000 озер с площадью акватории более 1 км² (Водоемы., 1999). Эти озера относятся к трем биологическим областям – Алтайско-Саянской, Барабинско-Кулундинской и Сибирской (рис. 32).

Озера Алтайско-Саянской области в Алтайском крае располагаются в предгорных и горных районах. Большинство горных озер Алтая – водоемы тектонического или ледникового происхождения. Флора и фауна горных озер Алтая и Саян в основном близка к фауне озер и рек Сибири. Наиболее высокогорные озера, расположенные в пределах субальпийской зоны, у самого края снегов, питаемые ледниками, почти совсем лишены жизни – ультраолиготрофные.

Речные экосистемы бассейна Верхней Оби

Горные водотоки (риграль)
(уклон > 0,25%, каменистые грунты, минерализация < 100 мг/дм³)

Равнинные водотоки (потамаль)
(уклон < 0,25%, мягкие грунты, минерализация > 100 мг/дм³)

Доминанты зообентоса

Diamesinae
Glossosomatidae
Nettastomatidae

Orthocladinae,
Ephemeroptera

Chironominae,
Brachicentridae

Chironominae, Mollusca,
Ephemeroptera,
Hydropsychidae

Oligochaeta

	Ультра-олиготрофные	Мезотрофные	Альфа-олиготрофные	Бета-олиготрофные	Олиготрофные	Мезотрофные	Условно олиготрофные
Концент. хлороф. «а»	< 1 мг/м ³			1-3 мг/м ³	< 3 мг/м ³	3-12 мг/м ³	
Фитопланктон	< 50 мг/м ³		< 100 мг/м ³	< 300 мг/м ³	< 400 мг/м ³	< 1100 мг/м ³	100-700 мг/м ³
Макрофиты	Макроводоросли, мхи, хвощи			Шелковниково-рдестовые групп.	Прибрежно-водная растит.	Осоково-злаковые и рдестовые групп.	Прибрежно-водная растит.
Рыбы	Бореальный предгорный комплекс (5 видов), только в нижнем течении		Бореальный предгорный комплекс (5 видов), арктический (1 вид)	Бореальный предгорный комплекс (6 видов), равнинный (4 вида), арктический (2 вида)	Прибрежно-водная растит.	Бореальный равнинный комплекс (10-13 видов), предгорный (4 вида), арктический (4 вида)	Ихтиофауна подавлена

Рис. 31. Типизация речных экосистем бассейна Верхней Оби (по: Кириллов и др., 2007)

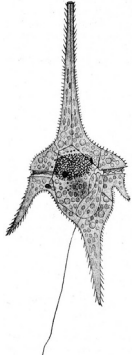


Рис. 32. Карта биолимнологического районирования СССР, области: А – Арктическая; Ак – Арало-Каспийская; Ан – Анадырская; Ас – Алтайско-Саянская; Б – Балтийская; Бк – Барабинско-Кулундинская; Ба – Байкальская; Га – Горно-арктическая; Д – Дальневосточная; К – Кавказская; Кк – Карело-Кольская; Км – Камчатская; П – Поволжская; Пт – Памиро-Тянь-Шаньская; С – Северная; У – Уральская; Ц – Центральная; Ю – Южная; Я – Якутская (по: Герд, 1959)

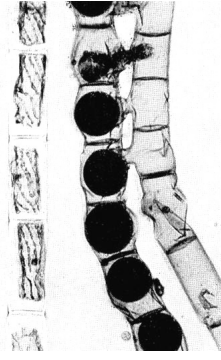
По мере спуска с вершин Алтая, флора и фауна озер все больше приближаются к тем комплексам, которые характерны для равнинных озер. Распространение в горных озерах гидробионтов ограничивается не только низкой температурой воды и скудостью кормовых условий в них, но и всей совокупностью сурового горного климата (Жадин, Герд, 1961).

Озера Барабинско-Кулундинской области по солевому составу самые разнообразные, от пресных до горько-соленых. На долю соленых озер приходится около 10% общей площади зеркала. Отличительная особенность озер этого региона – малая глубина озерных котловин. Основная масса озер относится к средним и малым озерам с площадью от 200 до 2000 га, но имеются и крупные озера – Б. Яровое, Кучук, Кулундинское. Экосистемы озер этой области подвержены циклическим сукцессиям (Максимов, 1989), которые определяются соответственной циклическостью гидрологического режима озер, обоснованной А.В. Шнитниковым. Периодические падения уровня воды в озерах сопровождаются усилением заморных явлений и повышением минерализации, поэтому биологический режим озер непостоянен, но в основном озера высокопродуктивные (Экология озера Чаны, 1986).

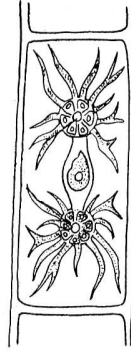
Фитопланктон



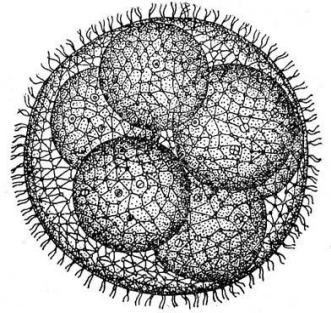
1



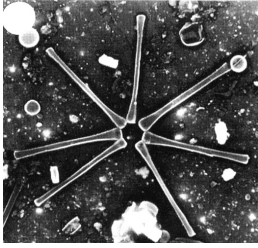
2



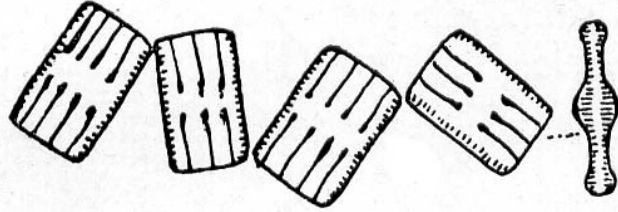
3



4

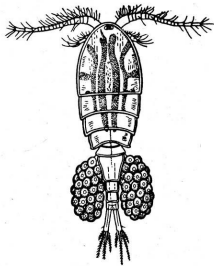


5

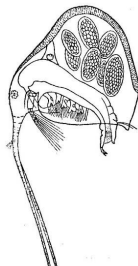


6

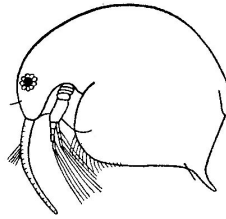
Зоопланктон



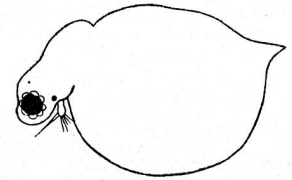
7



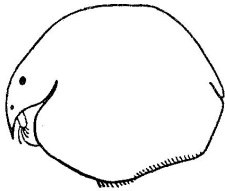
8



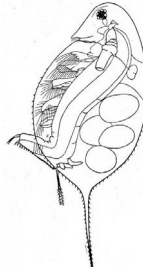
9



10



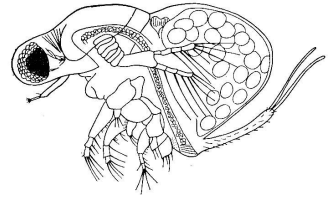
11



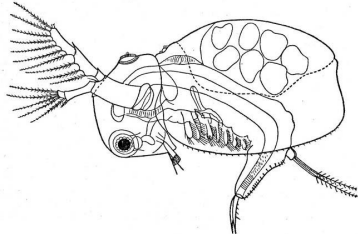
12



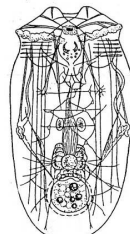
13



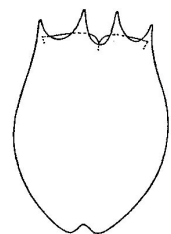
14



15



16



17

Зообентос

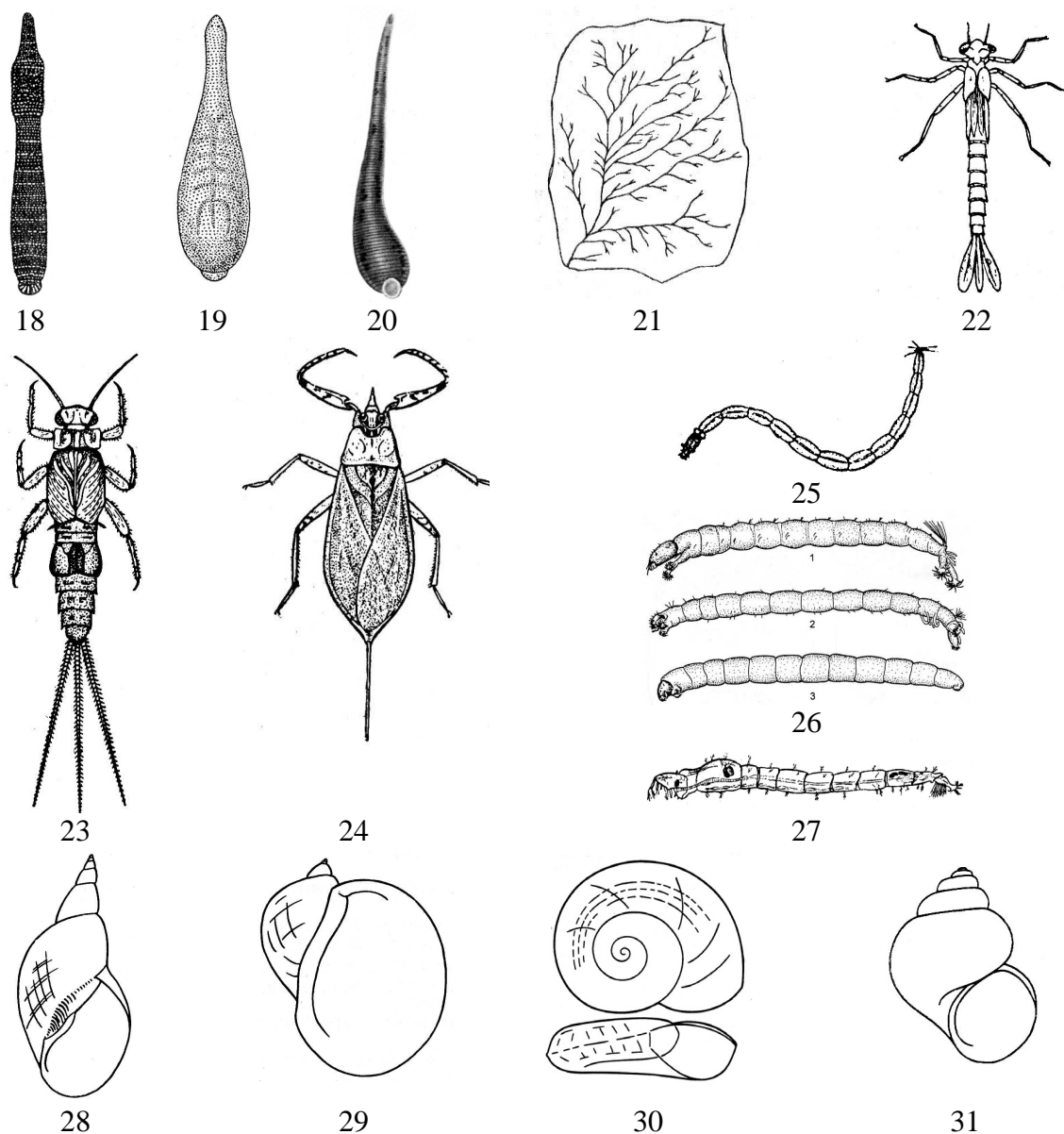


Рис. 33. Представители планктона и бентоса озера Ая:
динофитовая водоросль: 1. *Ceratium hirundinella*; **зеленые водоросли:**
 2. *Spirogyra* sp., 3. *Zygnema* sp., 4. *Volvox aureus*; **диатомовые водоросли:**
 5. *Asterionella formosa*, 6. *Tabellaria flocculosa*; **веслоногие рачки:** 7. Cyclo-
 podinae; **ветвистоусые рачки:** 8. *Bosmina coregoni*, 9. *Bosmina longirostris*,
 10. *Ceriodaphnia pulchella*, 11. *Chydorus sphaericus*, 12. *Daphnia longispina*,
 13. *Daphnia pulex*, 14. *Polyphemus pediculus*, 15. *Sida crystallina*; **коловратки:**
 16. *Asplanchna priodonta*, 17. *Brachionus calyciflorus*; **пиявки:** 18. *Erpobdella*
octoculata, 19. *Helobdella stagnalis*, 20. *Haemopis sanguisuga*; 21. мшанка: *Plu-*
matella repens; 22. личинка стрекозы: *Erythomma* sp.; 23. личинка поденки:
Caenis sp.; 24. водяной клоп: *Nepa cinerea*; **личинки двукрылых:** 25. мок-
 рецы *Ceratorogonidae*, 26. комары-звонцы *Chironomidae* (подсемейства: 1 –
Tanypodinae, 2 – *Chironominae*, 3 – *Orthoclaadiinae*); 27. *Chaoborus* sp.; **брюхо-**
ногие моллюски: 28. *Lymnaea stagnalis*, 29. *Lymnaea auricularia*, 30. *Giraulus*
gredleri, 31. *Bithynia inflata*

Сибирская область в основном приурочена к зоне тайги, на юге – к лесостепи. Озера пресные, в основном олиготрофные, к югу – мезотрофные и даже эвтрофные, часто заморные, имеют рыбохозяйственное значение (плотва, елец, окунь). Озера таежной зоны делят на боровые и соровые. Боровые озера, расположенные в полесье, более глубоки, котловины их четко выражены, дно плотное, берега высокие и сухие. Соровые озера расположены в низменных участках и долинах рек; они отличаются небольшими размерами, малыми глубинами (1–3 м), плоскими котловинами и илистым топким дном. Также встречается много озер-стариц, расположенных в широких поймах Оби и ее притоков (Соколов, 1952).

В последнее время озера Алтайского края все чаще оказываются в сфере ресурсных и производственных интересов: добыча минеральных и биоресурсов, водоотведение от промышленных, сельскохозяйственных и хозяйственных объектов, диффузное поступление загрязняющих веществ. Нарастает спектр и сила антропогенного воздействия на их экосистемы. Причем наибольшее значение имеет загрязнение водоемов биогенами и органическими веществами (Жерелина и др., 2004). На горные и предгорные озера возрастает рекреационная нагрузка (Ая, Манжерок, Колыванское). Большому антропогенному воздействию в настоящее время подвержены соленые озера. На них происходит добыча минеральных (рапа, лечебные грязи) и биологических (цисты артемии, гаммарус) ресурсов, развивается рекреация (Завьяловские озера, Большое и Малое Яровое).

Озеро Ая находится в низкогорной части Алтая, его площадь составляет 9,3 га, средняя глубина – 12 м (Малолетко, 2004) (рис. 34). По данным 1971–1972 гг. видовой состав фитопланктона беден. Преобладающим видом являлась динофитовая водоросль *Ceratium hirundinella* (рис. 32). Значительного развития достигали зеленые нитчатки из родов *Spirogyra* и *Zygnema*. Отмечены единичные экземпляры диатомовых водорослей.

В зоопланктоне выявлено 14 видов беспозвоночных, 8 из которых относятся к ветвистоусым рачкам, меньше представлены коловратки и веслоногие рачки. Численность и биомасса зоопланктона колеблется в широких пределах от 770 экз./м³ и 26,4 г/м³ (6.08.2002 г.) до 12670 экз./м³ и 345,3 г/м³ (10.07.2002 г.). В общем, виды, обитающие в оз. Ая, широко распространены и эврибионтны.

В озере обнаружено 12 видов зообентонтов: 2 вида пиявок, по одному виду мшанок, стрекоз, поденок, клопов, 6 видов двукрылых (из них 5 хирономид). В фауне донных беспозвоночных преобладают широко распространенные палеарктические лимнобионтные виды. Обнаруженные виды и структура зообентоса (преобладание хирономид и кольчатых червей) характерны не столько для олиготрофных водоемов Горного Алтая, сколько для мезотрофных озер предгорий и равнинных мезотрофных и эвтрофных водоемов юга Западной Сибири (рис. 33). Пробы, отобранные на черном иле, гравийно-песчаном, песчаном грунте, не содержали донных беспозвоночных. Наиболее обильный бентос обнаружен на детрите (до 4,82 г/м²) и сером иле (0,46 г/м²). Максимальное развитие зообентоса отмечено на детрите, соответ-

ствуется мезотрофному уровню. Беспозвоночные обнаружены также в обрастаниях камней и макрофитов. По численности и биомассе в бентосе в большинстве проб доминировали хирономиды и кольчатые черви.

Ихтиофауна озера представлена линем, серебряным карасем и, вероятно, пескарем.



Рис. 34. Космоснимок оз. Ая и его окрестностей

Озеро Кулундинское – горько-солёное озеро в Кулундинской степи (рис. 35). Площадь – 728 км^2 . Расположено на высоте 98 м. Глубина – до 4 м. В восточной части озера много островов. Питание снеговое, зимой не замерзает. В озеро впадают реки Кулунда и Суетка. Содержит запасы мирабилита (глауберова соль – минерал класса сульфатов). Солёность воды значительно меняется в зависимости от водности года от 40,1 до 131,0 г/л (Соловов и др., 2001).

По данным Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН, при низком видовом богатстве водорослей в оз. Кулундинском (16 видов), их численность и биомасса в толще воды в прибрежной зоне может достигать 42 млн кл./л и 30 г/л. Для озера характерно периодическое массовое развитие нитчатых водорослей, которое происходит при снижении солёности воды ниже 90 г/л и значительной подпитке биогенами с водосборной площади реками Кулунда и Суетка. Биомасса нитчаток в открытом озере достигает $29,9 \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$. Содержание хлорофилла «а» в оз. Кулундинском изменяется от 4,5 до 134,8 мкг/л, что соответствует мезотрофному и высокоэвтрофному уровню соответственно.



Рис. 35. Космоснимок оз. Кулундинского (вверху) и оз. Кучук (внизу) и их окрестностей

Зоопланктон представлен преимущественно жаброногим рачком артемией. Средняя летняя биомасса этого рачка колеблется в пределах от 2,05 до 15,45 г/м³, при ее среднегодовых колебаниях 2,05–10,35 г/м³. Цисты рачка имеют промысловое значение. Состав и уровень развития зообентоса характеризуются невысокими показателями, обнаружены только личинки хирономид.

Озеро Большое Яровое – горько-солёное (минерализация летом около 120 г/л) бессточное озеро на западе Кулундинской степи (рис. 36). Площадь озера – 66,7 км²; средняя глубина – 2 м, наибольшая – 7 м. Питание снеговое. Размах колебаний уровня – 0,8 м. Дно сложено илом с прослойками мирабилита, ведется добыча соли. По данным Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН в пробах фитопланктона отмечено всего 7 видов при преобладании диатомовых водорослей. По данным О.С. Голубых с соавт. (2001), в фитопланктоне отмечено 10 видов с преобладанием в течение вегетационного сезона синезеленых и зеленых водорослей. Наибольшее развитие водорослей в 1999 г. отмечено в сентябре – 424,6·10⁹ кл./м³, а наименьшее – в конце июля – 2,2·10⁹ кл./м³. Концентрация хлорофилла «а» в июне изменяется в интервале 1,74–14,75 и в среднем составляет 7,5 мкг/л, что соответствует мезотрофному уровню.

В протозоопланктоне оз. Большого Ярового обнаружено 6 видов инфузорий. В озере и его притоке Теплом ключе обнаружено 10 видов зоопланктона, из них 5 видов обитает в озере. Все виды принадлежат либо к солоноватоводным, либо к эврибионтам, выдерживающим значительное засоление. Доминирует артемия, обитающая исключительно в соленой воде. Средняя численность этого рачка в озере составляет $1\,598,6 \text{ экз./м}^3$, его цист – $846\,419,2 \text{ экз./л}$. Численность остальных зоопланктеров – $902,1 \text{ экз./л}$. Непосредственно в озере донные беспозвоночные организмы не обнаружены. Несмотря на значительное антропогенное воздействие, экосистема озера пока справляется с поступающими в него загрязняющими веществами.



Рис. 36. Космоснимок оз. Большого Ярового и его окрестностей

4. АКВАКУЛЬТУРА И ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ

Аквакультура (от лат. *aqua* – вода и *cultura* – возделывание, уход) – разведение и выращивание водных организмов (рыб, моллюсков, ракообразных, водорослей) в контролируемых условиях для повышения продуктивности водоемов (Грищенко и др., 1999). Мировая продукция аквакультуры постоянно возрастает. Различают пресноводную аквакультуру, включающую в основном рыбоводство в пресных водоемах, и марикультуру, которая занимается выращиванием различных морских объектов: водорослей, беспозвоночных (мидий, морских гребешков) и некоторых видов рыб (камбала, лососевые и др.).

Рыбоводство – более древняя и развитая отрасль аквакультуры, занимающаяся искусственным выращиванием рыб и увеличением рыбных запасов в естественных водоемах. В рыбоводстве различают несколько направлений: прудовое рыбоводство, выращивание рыб на термальных водах (индустриальное рыбоводство), озерно-товарное хозяйство, подращивание молоди рыб для пополнения запасов ценных промысловых рыб (лососевых, осетровых), а также аквариумное рыбоводство. Все эти формы сходны по биотехнологии размножения и выращивания рыб (Мартышев, 1973).

Прудовое рыбоводство занимается выращиванием рыб в прудах, карьерах, рисовых чеках, небольших водохранилищах, озерах, а также в различных подсобных водоемах. Среди прудовых хозяйств различают специализированные рыбоводные хозяйства, занимающиеся только выращиванием рыбы, а также многоотраслевые предприятия, в которых рыбоводство является дополнительной отраслью животноводства в виде рыбоводных ферм и водоемов комплексного назначения. Прудовое рыбоводство дает наибольший объем продукции аквакультуры.

В последние годы широкое развитие получило рыбоводство на термальных (подогретых) водах ГРЭС, АЭС, крупных заводов, а также в естественных геотермальных источниках. Эту отрасль часто называют индустриальным рыбоводством, так как рыб здесь выращивают по высокоинтенсивной технологии, исключительно на искусственных кормах, в ограниченных емкостях (бассейнах, садках). По биотехнологии близко к тепловодной аквакультуре аквариумное рыбоводство.

Задачи пополнения запасов ценных промысловых рыб выполняют нерестово-выростные хозяйства и рыбоводные лососевые и осетровые заводы, которые занимаются отловом производителей, инкубацией икры и выращиванием молоди до возраста двухлетков и трехлетков и затем возвратом их в реки и моря. Они используют интенсивную или полуинтенсивную форму рыбоводства.

Озерно-товарные рыбоводные хозяйства предназначены для повышения рыбопродуктивности озер путем размножения и подращивания молоди сиговых и других видов рыб, последующего зарыбления озер и организации на них рыбоводно-мелиоративных работ.

В зависимости от видового состава выращиваемых рыб рыбоводные хозяйства делят на два типа: холодноводные и тепловодные. В холодноводных хозяйствах разводят в основном форель и других холодолюбивых лососевых рыб. Тепловодные, или карповые, хозяйства предназначены для выращивания теплолюбивых рыб: карповых, осетровых, сомовых (рис. 37, 38).

По биотехнологии выращивания рыб различают полносистемные (полные) и неполносистемные (неполные) хозяйства. Выделяют также экстенсивные, полуинтенсивные и интенсивные хозяйства. В первых используются только природные пищевые ресурсы, а в последних основу питания рыб составляют искусственные корма (Мартышев, 1973).

Полносистемные рыбоводные хозяйства занимаются разведением и выращиванием рыбы от икры до получения товарной продукции. В них имеется рыбопитомный участок, где получают посадочный материал от производителей, и нагульный участок для выращивания товарной рыбы (рис. 39). Товарной продукцией этих хозяйств могут быть также оплодотворенная икра, посадочный материал (сеголетки или годовики) и производители.

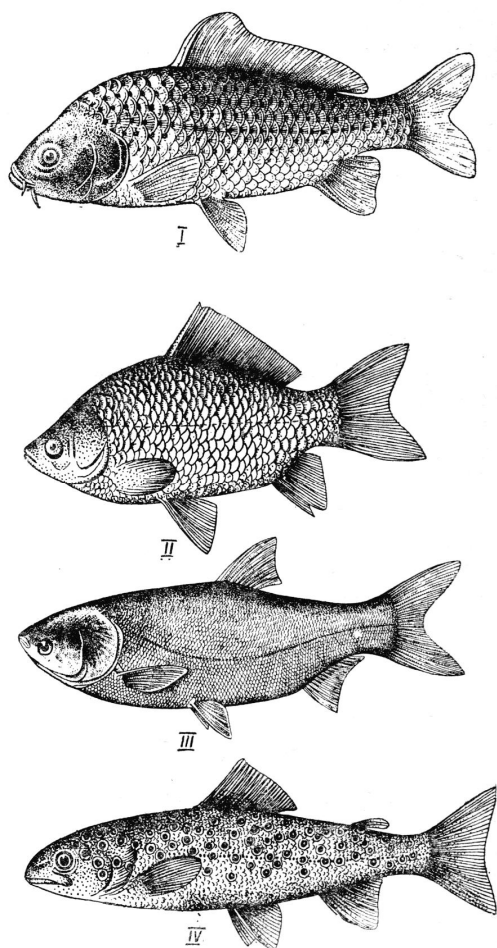


Рис. 37. Рыбы – объекты прудового рыбоводства:

I – сазан (каarp); II – карась;
III – толстолобик; IV – форель
(по: Кузнецов, Чернов, 1978)

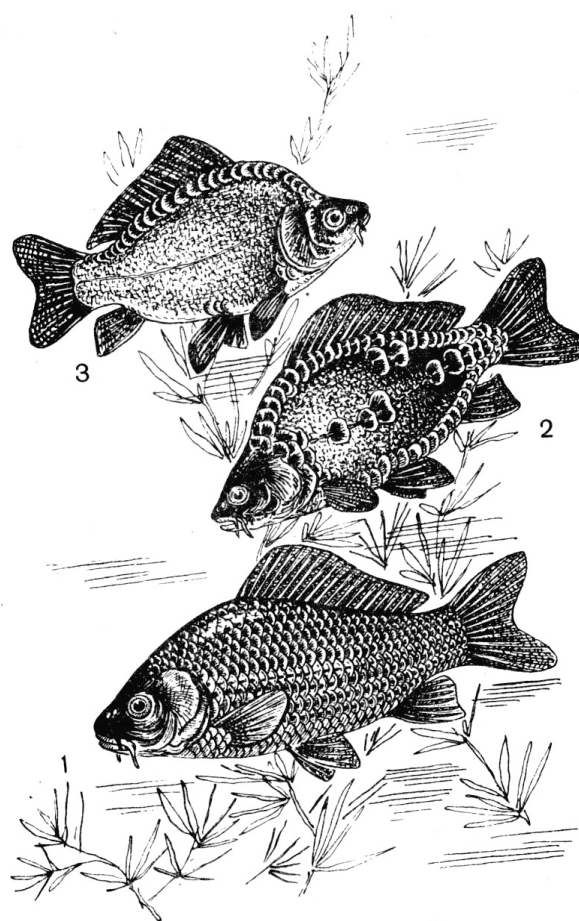


Рис. 38. Породы карпа:

1 – чешуйчатый; 2 – зеркальный;
3 – голый

(по: Яхонтов, 1985)

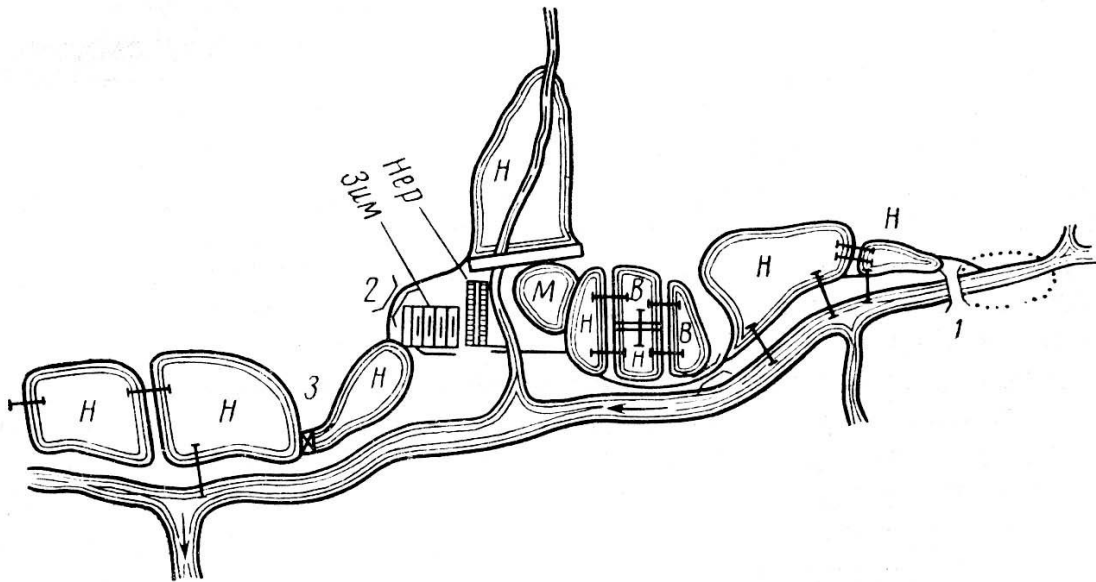


Рис. 39. Схема организации карпового прудового хозяйства
(по: Константинов, 1986):

Н – нагульные пруды; В – выростные пруды; М – маточные пруды; Нер – нерестовые пруды; Зим – зимовальные пруды; 1 – плотина; 2 – распределитель; 3 – регулятор

Неполносистемные хозяйства – это рыбопитомники и нагульные хозяйства. Рыбопитомники занимаются выращиванием и реализацией только рыбопосадочного материала: личинок, мальков, сеголетков, годовиков, а также двух- и трехлетков для племенных целей. В нагульных хозяйствах выращивают только товарную (столовую) рыбу, получая посадочный материал из рыбопитомников.

Рыбоводные хозяйства в зависимости от климатической зоны и принятой технологии выращивания работают с одно-, двух- или трехлетним оборотом. Под оборотом в рыбоводстве подразумевается отрезок времени, необходимый для выращивания рыбы от икринки до товарной массы. В нашей стране принят в основном двухлетний оборот, когда товарную рыбу выращивают в течение двух лет (16–19 мес.). В первый год получают посадочный материал – сеголетков и годовиков. В течение второго года из них выращивают товарных двухлетков.

В северных районах и средней полосе России используют трехлетний оборот, когда товарную продукцию получают только к концу третьего года (в течение 28–30 мес.). При этом выращивают крупную рыбу, например карпа массой 1 кг и более.

Водные биоресурсы

Из огромного числа гидробионтов только очень немногие представители фауны и флоры используются человеком в качестве биологического сырья. Этим в значительной мере объясняется тот факт, что водные растения и животные составляют всего около 3% в пище людей (по сырой массе), хотя первичная продукция гидросферы только в три раза меньше, чем первичная про-

дукция суши. Поэтому перспективная оценка биологических ресурсов гидросферы должна исходить не только из учета возможного вылова объектов, добываемых в настоящее время. С каждым годом все новые представители фауны и флоры водоемов включаются в число промышляемых объектов, этот процесс непрерывно усиливается в соответствии с ростом народонаселения и совершенствованием технических возможностей освоения биологического сырья (новые способы его добывания, хранения и переработки). Например, сейчас успешно разрабатывается проблема промыслового освоения криля (эвфаузиид и других представителей рачкового макропланктона), продукция которого в Мировом океане, возможно, не ниже, чем всех рыб, вместе взятых (Константинов, 1986).

В отличие от полезных ископаемых биологические ресурсы относятся к самовоспроизводящимся. Следовательно, их величина в гидросфере определяется не количеством имеющихся промысловых организмов, а их приростом, т.е. продукцией. Мерой реализации этой продукции служит промысел.

В 1992 г. общий мировой улов всех гидробионтов составил 104,4 млн т, из них 15,6 млн т (14,9%) было изъято во внутренних водоемах планеты, а 88,7 млн т (85,1%) всего улова – в морях и океанах. Улов рыб в морях и океанах составил 68,6 млн т (77,3%) всего улова гидробионтов в Мировом океане. Остальную часть составили промысловые беспозвоночные (13,4 млн т, или 15,1%), водоросли (6,2 млн т, или 7%), а также кораллы, жемчуг, губки и другие гидробионты (Саускан, 1996).

Темпы развития рыболовства России и СССР были следующие: 1913 г. – 1,05 млн т; 1922 г. – 0,48 млн т; 1940 г. – 1,4 млн т; 1950 г. – 2,9 млн т; 1960 г. – 3,5 млн т; 1970 г. – 7,8 млн т; 1980 г. – 9,5 млн т; 1985 г. – 10,5 млн т. Улов России в 1992 г. составил 5,6 млн т. Из них в период с 1913 по 1922 г. в континентальных водах добывалось около 80% всего отечественного улова рыб; в 1930 г. – 70%; в 1940 г. – 60%; в 1950 г. – 46%; в 1960 г. – 23%; в 1970–1985 гг. – 14%; в 1992 г. – только 6%.

В Алтайском крае к биоресурсам поверхностных водных объектов, имеющих промыслово-хозяйственное значение, относятся рыбные запасы и ракообразные. Значительно меньшее значение имеет промысел личинок двукрылых насекомых: хирономид («мотыль») и хаоборид («коретра»), а также червей-тубифицид («трубочник») для аквариумного рыбоводства (табл. 5).

В Алтайском крае около 2000 водных объектов, имеющих промысловое значение. Из 38 видов рыб, обитающих на территории края, промысловое значение имеют не более 12. Основными промысловыми видами в реках являются карась, лещ, плотва, а в озерах – карась и плотва (Материалы к Государственному докладу..., 2000).

Серебряный карась (*Carassius auratus gibelio*) обычен в придаточных и пойменных водоемах Оби. Активно распространяется по пойменным водоемам. Плотва сибирская, или чебак (*Rutilus rutilus lacustris*), распространена в руслах рек, придаточных водоемах и пойменных озерах (рис. 40). Восточный лещ (*Abramis brama orientalis*) обитает в придаточных и пойменных водоемах Оби и крупных пойменных озерах, акклиматизант (Водоемы..., 1999).

Фактические уловы в водоемах Алтайского края в 2006 г., т
(Биологическое обоснование..., 2007)

Промысловый ресурс	Озера	Реки	Водохранилища	Всего
Рыба	558	188	96	842
пелядь	4			4
сазан	29		2	31
лещ	0	124	25	149
судак		3	3	6
щука		10	5	15
плотва	13	29	37	79
карась	499	18	6	523
язь	1	2	4	7
окунь	12	2	14	28
Ракообразные	906	3	3	912
раки	22	3	3	28
яйца артемии	668			668
гаммарус	216			216
Всего:	1464	191	102	1754

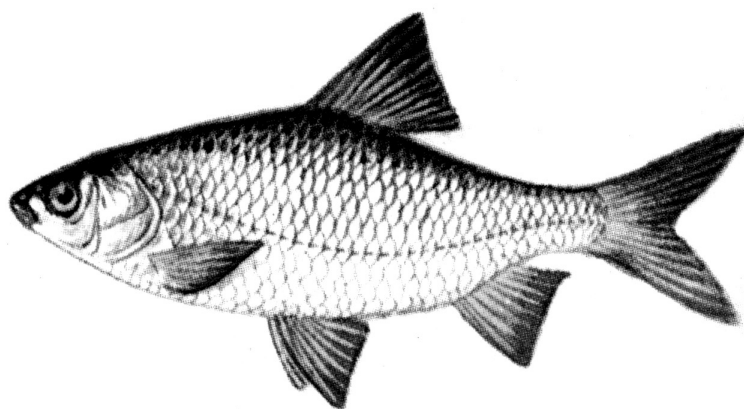


Рис. 40. Плотва (сорoga)
(по: Веселов, 1977)

Из ракообразных наибольшее промысловое значение в водных объектах Алтайского края имеют артемия, бокоплав (гаммарус) и речной рак. В ограниченных объемах идет промысел ветвистоусых рачков дафний и босмин в качестве корма для аквариумных рыб (табл. 6).

Артемия (рис. 41) распространена по всему миру и населяет водоемы континентального (озера) и морского (лиманы) происхождения с диапазоном солености от 20 до 340 г/л (Соловов, Студеникина, 1990). Природная встречаемость артемии лимитируется условиями, в которых соленость всегда достаточно высокая для хищников или где низкая зимняя температура рапы также препятствует развитию хищников и гарантирует неметаболическое состояние гидратированных цист (состояние диапаузы – покоя).

Таблица 6

Систематическое положение основных промысловых ракообразных
(тип Arthropoda – членистоногие; класс Crustacea – ракообразные)

Подкласс	Отряд	Подотряд или семейство	Род или вид	
Branchiopoda – жаброногие	Anostraca – бес- панцирные	Artemiidae – артемии	Artemia* – артемия	
	Phyllopoda – листоногие	Cladocera – ветвистоусые	Daphnia* – дафния Bosmina* – босмина	
Malacostraca – высшие раки	Amphipoda – разноногие	Gammaridae – бокоплав	Gammarus lacustris* ** – бокоплав озер- ный	
	Euphausiacea – эвфаузиевые	Euphausiidae – эвфаузиевые	Euphausia superba – антарктический криль	
	Decapoda – де- сятиногие	Natantia – пла- вающие	Reptantia – ползающие	Crangon, Panaeus, Pandalus – креветки
				Astacus leptodacty- lus** – узкопалый речной рак
				Palinurus – лангуст
				Hommarus – омар
		Paralithodes camtchat- ica – камчатский краб		

Примечание: * – обитает в континентальных водоемах; ** – добываются также и другие виды этого рода, основные промысловые виды даны по А.С. Константинову (1986) и В.В. Евстигнееву с соавт. (1997).

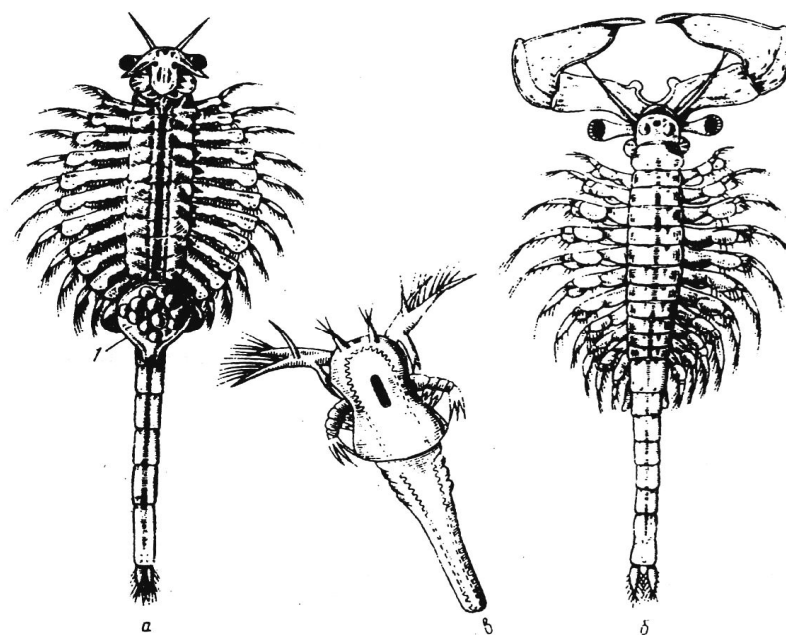


Рис. 41. Жаброногий рачок артемия: а – самка; б – самец; в – метанауплиус;
1 – яйцевой мешок (по: Соловов, Студеникина, 1990)

По способу питания артемия – неселективный и непрерывный фильтратор. Причем фильтрационный аппарат не способен избирать пищевые частицы и задерживает любую доступную по размерам органику и минеральную взвесь. Взрослые особи для этого используют грудные ножки науплии – щетинки антенн. Скорость фильтрации воды зависит от его концентрации корма, температуры воды и стадий развития рачка. Местами кормления часто бывают песчаные участки литорали, расположенные в 3–5 м от берега на глубине 15–25 см.

Пищей рачкам служат микроводоросли, бактерии, детрит и другие взвеси независимо от пищевой ценности размером в пределах 5–25 микрон. Частички, собираясь у верхней губы, отфильтровываются от воды, перетираются жвалами и поступают в рот. Если водорослей и бактерий в рапе недостаточно, рачки питаются у дна, взмучивая придонную воду. Количество отфильтрованной пищи увеличивается с ростом рачков и повышением концентрации пищевых частиц. Крупные особи поглощают корма больше, чем мелкие, но в расчете на единицу массы тела их рацион снижается. При недостатке корма артемия заметно снижает скорость роста, сокращается количество продуцируемых яиц, нарушается ритм кладки. Голодание, даже непродолжительное, приводит к гибели рачков. В ряде озер с высокой соленостью обитают только артемия и зеленая водоросль дуналиелла; рачки питаются дуналиеллой, а она, в свою очередь, усваивает некоторые продукты жизнедеятельности рачка, в частности, соединения азота. Таким образом, в водоеме устанавливаются сравнительно простые взаимоотношения между двумя организмами, составляющими единую пищевую цепь (Соловов и др., 2001).

Собранную в естественных водоемах артемию после промывки можно использовать непосредственно как живой белковый корм для рыб и других консументов второго порядка. Жидкость тела рачков имеет низкую соленость (около 9 г/л), поэтому они являются вполне приемлемыми живыми или сухими кормами для непосредственного скармливания.

Освоение ресурса артемии в озерах Алтайского края имеет многолетнюю историю. Без ущерба формированию промысловых скоплений диапаузирующих яиц в озерах Алтайского края можно ежегодно заготавливать 10–15 тыс. т биомассы рачка. Недостаточно полно используется пока и сырьевая база диапаузирующих яиц артемии, явно недостаточен уровень их переработки в биокорма и кормовые добавки (Соловов, Студеникина, 1990).

Определенный хозяйственный интерес представляет полисахарид – хитин, содержание которого в артемии составляет в пределах 5–6% массы сухого вещества или 0,7–0,8% сырой биомассы рачков. Производное хитина – хитозан находит широкое применение в сельском хозяйстве (стимулятор роста, защитные пленки), в приготовлении лекарственных средств (повышение скорости растворимости, для прессования таблеток, получение тонких мембран, ранозаживляющие средства), в качестве флокулянтов (снижение мутности, очистка сточных вод, концентрирования активного ила). Для получения хитина и хитозана можно использовать отходы производства биокормов из диапаузирующих яиц артемии, выбрасываемую на берег скорлупу, отми-

рающую биомассу рачка. В крае только из биоресурса рачка можно ежегодно получать 5–6 тыс. т хитина.

Личинок (науплиусов) рачка артемии смело можно отнести к традиционным кормам для мальков аквариумных рыб. Без всякого преувеличения можно сказать, что это лучший стартовый корм для относительно крупных мальков, которые могут справиться с рачком, и отличный корм второй очереди для более мелких.

Количество яиц, продуцируемых артемией, зависит от солености, обилия корма. В среднем одна особь может откладывать до 200 яиц с интервалом от 3 до 11 дней. В состоянии диапаузы сухие яйца артемии могут находиться в течение нескольких лет; попадая в воду при благоприятных условиях (температура 8 °С, соленость 10–13 г/л), они способны к дальнейшему развитию.

В Западной Сибири естественный ареал рачка приурочен к аридной (засушливой) и частично полуаридной зонам равнины и ограничен с севера линией Барабинск – Тюкалинск – Ишим – Шадринск, и с юга примыкает к казахстанскому ареалу рачка в соляных озерах зоны полупустынь. В Алтайском крае ареал рачка расположен в зоне степи и в меньшей мере – в зоне лесостепи и ограничивается линией Бурла – Хабары – Благовещенка – Завьялово – Родино – Романово – Михайловка (Соловов, Студеникина, 1990).

Количество артемиевых озер и их акватории находятся в интегральной зависимости от условий водности региона и могут заметно колебаться в отдельные годы. Особенно четко выражено влияние водности на количественные показатели популяции рачка, в маловодные годы во многих озерах создаются условия для жизни только одной-двух генераций артемии.

Фонд артемиевых озер Западной Сибири значителен, акватория только исследованных водоемов составляет более 2,1 тыс. км², в том числе в Алтайском крае более 1 тыс. км² (табл. 7). Количество этих озер в регионе и их акватория, а следовательно, и фонд находятся в интегральной зависимости от условий водности и могут заметно колебаться в отдельные годы. В Алтайском крае расположен самый большой ареал артемии, включающий свыше 50 озер с площадью 1210 км², расположенный в зоне степи и в меньшей степени – в зоне лесостепи (Водоемы..., 1999).

Таблица 7

Фонд артемиевых озер Западной Сибири, км²
(по Соловову, Студеникиной, 1990)

Край, область	Градация озер по площади			Общая акватория
	малые	средние	большие	
Алтайский	22	182	846	1050
Новосибирская	3	111	650	764
Омская	68	202	–	270
Тюменская	1	11	–	14
Курганская	–	42	–	42
Итого	94	548	1496	2138

Промысловое значение для заготовки ресурса зимних яиц рачка имеют соленые озера в Благовещенском, Славгородском, Ключевском, Кулундинском и Михайловском районах. В Алтайском крае расположен самый крупный в России артемиевый водоем – оз. Кулундинское.

Озерный бокоплав широко распространен в стоячих и медленно текущих водах Европы, севера Азии и Северной Америки. Тело гаммарусов сильно сжато с боков и дугообразно выгнуто, длина тела составляет 5–18 мм, масса – 5–105 мг (рис. 42). Этот рачок широко представлен в озерах равнинной территории Алтайского края. Особенно высокая его численность наблюдается при благоприятных условиях среды в солоновато-водных безрыбных или с обедненной ихтиофауной пресноводных озерах. Ареал гаммаруса и особенно численные показатели его популяции в равнинных озерах с неустойчивым гидрологическим режимом нестабильны. В отдельные годы его численность и биомасса могут достигать 933 экз./м² и 28,1 г/м². Добыча рачка ведется с целью его использования как кормового объекта в рыбоводстве (в том числе аквариумном), весьма перспективно его использование для получения хитозана (Водоемы..., 1999).

На численность рачка отрицательно влияют саморасселение серебряного карася амурской морфы по гаммарусовым озерам, увеличение минерализации воды и ухудшение кислородного режима. При улучшении условий обитания гаммарус способен восстановить свой ареал и численность в течение 2–3 лет.

Проведенные в 80-е гг. рекогносцировочные обследования озер показали, что потенциальный фонд гаммарусовых озер в крае составляет более 60 км² и при благоприятном гидрологическом режиме может увеличиваться до 100 км² и, наоборот, уменьшаться в отдельные годы до 20–30 км². В Западной Сибири гаммарусовые водоемы в общем озерном фонде составляют около 5%. В Алтайском крае значение гаммарусовых озер в общем фонде колеблется в пределах 2,3–3,8%. Для заготовки рачка наиболее перспективны озера Волчихинского и Рубцовского районов (Водоемы..., 1999).

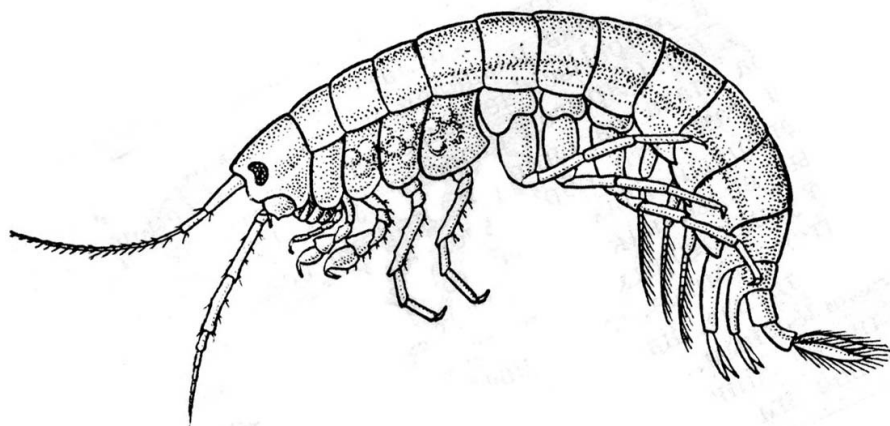


Рис. 42. Рачок-бокоплав – Gammarus (по: Жизнь животных, 1968)

Речные раки. Длина тела обычно 6–30 см, у некоторых – до 80 см (мадагаскарский рак). Большинство обитает в пресных водах (БСЭ, 1969–1978). Речные раки – ночные животные; днём укрываются в своих норах. Питаются преимущественно прибрежной водной растительностью, при случае поедают и животную пищу. Самцы крупнее самок, обладают более мощными клешнями. Размножаются осенью после линьки самок, которые вынашивают на брюшке от 50 до 200 яиц. Три семейства; распространены в умеренных поясах земного шара, исключая Африку. В бывшем СССР 8 видов семейства Astacidae; наибольшее промысловое значение имеют узкопалый (*Astacus leptodactylus*) и широкопалый (*A. astacus*) раки (рис. 43).

Широкопалый рак живет главным образом в водоемах бассейна Балтийского моря, область распространения узкопалого рака охватывает остальную часть России и Западную Сибирь. Совместно узкопалый и широкопалый раки не встречаются.

Днем речные раки прячутся в укрытиях – норах, под камнями и корягами и т.д., а ночью ползают в поисках пищи. Эти животные предпочитают воду со сравнительно высоким содержанием кислорода и минеральных солей. Для ловли раков используют специальные сети, натянутые на рамы – рачевни, которые заправляют приманкой – мертвой рыбой, мясом и т.п. Основной район промысла – Азово-Черноморский бассейн (около 90% всего улова).

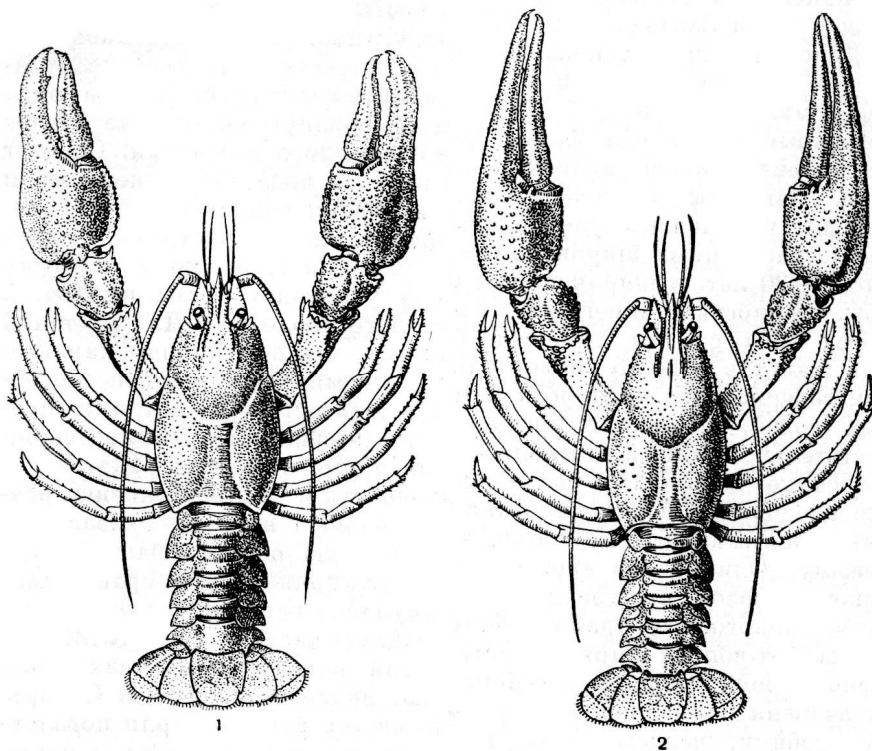


Рис. 43. Речные раки (по: Жизнь животных, 1968):
1 – широкопалый рак; 2 – узкопалый рак

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем сходство и различие предметов изучения экологии и гидробиологии?
2. Какие существуют методы исследования водных экосистем?
3. Как происходило развитие исследований водных экосистем в России и в мире?
4. В чем сходство и различие понятий «экологические системы» и «биогеоценозы»?
5. Какие основные химические элементы участвуют в круговороте веществ в водных экосистемах?
6. Какие важнейшие факторы внешней среды влияют на гидробионтов?
7. В чем особенности воды как среды обитания гидробионтов?
8. Какие таксономические группы организмов формируют водные биоценозы?
9. Какие основные компоненты формируют трофическую структуру сообществ?
10. Какие экологические группировки организмов формируют водные сообщества?
11. Какие особенности среды обитания и жизненные формы характерны для планктона и нектона?
12. Какие особенности среды обитания и жизненные формы характерны для нейстона и плейстона?
13. Какие особенности среды обитания и жизненные формы характерны для бентоса и перифитона?
14. Из чего складывается продуктивность водных сообществ?
15. Какие особенности присущи экосистемам рек и каналов?
16. Какие особенности присущи экосистемам озер и прудов?
17. Какие особенности присущи экосистемам водохранилищ и болот?
18. В чем сходство и отличие водных и наземных экосистем?
19. В чем общность и различие подходов в использовании водных биоресурсов и аквакультуры?
20. Какие основные типы водных экосистем характерны для вашего региона, приведите примеры?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Березина Н.А. Гидробиология. – М.: Лег. и пищ. пром-ть, 1984. – 360 с.
2. Жадин В.И. Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. – М.: Учпедгиз, 1961. – 600 с.
3. Константинов А.С. Общая гидробиология. – М.: Высш. шк., 1979, 1986.

Дополнительная:

4. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водоохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 325 с.
5. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 152 с.
6. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
7. Анисимова И.М., Лавровский В.В. Ихтиология. – М.: Высш. шк., 1983. – 255 с.
8. Брудастова М.А., Вишнякова Р.И., Архангельский А.П. Краткий справочник по прудовому рыбоводству. – М.: Моск. рабочий, 1984. – 224 с.
9. Богословский Б.Б. Озероведение. – М.: МГУ, 1960. – 332 с.
10. Веснина Л.В. Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. – Новосибирск: Наука, 2002. – 157 с.
11. Гидрохимия экстремальных водных систем с основами гидробиологии: учеб. пособие / В.В. Хахинов, Б.Б. Намсараев, Е.Ю. Абидуева, Э.В. Данилова. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2007. – 148 с.
12. Жизнь пресных вод СССР / под ред. Е.Н. Павловского и В.И. Жадина. Т. 1–4. – М.-Л.: АН СССР, 1940–1959.
13. Журавлев В.Б. Рыбы бассейна Верхней Оби. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. – 292 с.
14. Иванова З.А. Рыбы степной зоны Алтайского края / под ред. Б.Г. Иоганзена. – Барнаул, 1962. – 152 с.
15. Материалы к ежегодному изданию доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2006 году». – Барнаул, 2007. – 150 с.
16. Мисейко Г.Н. Гидробиология. Ч. 1. – Барнаул: АГАУ, 2005. – 150 с.
17. Привезенцев Ю.А. Практикум по прудовому рыбоводству. – М.: Высш. школа, 1982. – 208 с.
18. Попов П.А. Рыбы Сибири. – Новосибирск: НГУ. – Ч. 1, 2001. – Ч. 2, 2005.
19. Рассыпнов В.А. Природа Алтая: Экологический очерк. – Барнаул: БГПУ, 2000. – 158 с.
20. Соловов В.П. Триады малого гидрокосма: артемия, гаммарус и другие обитатели сибирских водоемов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 176 с.
21. Экологические очерки о природе и человеке / под ред. Б. Гржимека. – М.: Прогресс, 1988. – 640 с.
22. Экосистемы водоемов Алтайского края. Материалы к изучению / М.М. Силантьева и др. – Барнаул: АлтГУ, 1997. – 115 с.
23. Cushing C., Allan J. Streams: Their Ecology and Life. – Netherlands, Elsevier Academic Press, 2001. – 366 p.
24. Lampert W., Sommer U. Limnoecology. 2nd ed. – USA, New York: Oxford University Press, 2007. – 324 p.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Авакян А.Б. Водохранилище // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Безматерных Д.М. Уровень минерализации воды как фактор формирования зообентоса озер Барабинско-Кулундинской лимнобиологической области // Мир науки, культуры, образования. – 2007. – №4 (7). – С. 7–11.
- Беляев Г.М. Обрастания // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978а.
- Беляев Г.М. Планктон // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978б.
- Березина Н.А. Гидробиология. – М.: Лег. и пищ. пром-ть, 1984. – 360 с.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: Особи, популяции, сообщества : в 2 т. – М.: Мир, 1989.
- Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М.С. Гиляров. – М.: Больш. рос. энциклопедия, 1995. – 864 с.
- Биологическое обоснование к прогнозу ОДУ на 2008 год по основным рыбохозяйственным водоемам Алтайского края: Отчет о НИР / Л.В. Веснина и др. – Барнаул: ФГУП Госрыбцентр, Алтайский филиал, 2007. – 80 с.
- Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 1994. – 218 с.
- Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия. 10 CD. – М., 2005.
- Булатов В.И. Российская экология на рубеже XXI века. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2000. – 44 с.
- Веселов Е.А. Определитель пресноводных рыб фауны СССР: пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1977. – 238 с.
- Веснина Л.В., Соловов В.П., Безматерных Д.М. и др. Эколого-биологическая характеристика бассейна реки Большая Черемшанка (бассейн Верхней Оби) // Известия АлтГУ. – 2002. – №3(25). – С. 79–83.
- Винберг Г.Г. Биологическая продуктивность // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978а.
- Винберг Г.Г. Гидробиология // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978б.
- Виноградов А.П. Круговорот веществ // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Водоемы Алтайского края / Л.В. Веснина, В.Б. Журавлев, В.А. Новоселов и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 285 с.
- Водоохранилища мира / А.Б. Авакян и др. – М.: Наука, 1979. – 287 с.
- Вронский В.А. Прикладная экология. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1996. – 512 с.
- Герд С.В. Опыт биолимнологического районирования территории Союза ССР // Тр. VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. – М., Л.: АН СССР, 1959. – С. 131–138.
- Голубых О.С., Новоселова З.И., Студеникина Т.Л. Планктон соленых озер Алтайского края // Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы. – Томск: ТГУ, 2000. – С. 96–97.
- Грищенко Л.И., Акбаев М.Ш., Васильков Г.В. Болезни рыб и основы рыбоводства. – М.: Колос, 1999. – 456 с.

Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. – М.: Социально-эколог. союз, 2000. – 148 с.

Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И. Реки и озера Советского Союза (справочные данные). – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 104 с.

Евстигнеев В.В., Подуровский М.А., Соловов В.П. Основы сырьевой базы гидробионтов. – Барнаул: АлтГТУ, 1997. – 63 с.

Жадин В.И. Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. – М.: Учпедгиз, 1961. – 600 с.

Жадин В.И. Жизнь в реках. Бентос // Жизнь пресных вод СССР / под ред. Е.Н. Павловского и В.И. Жадина. Т. 3. – М.-Л.: АН СССР, 1950. – С. 149–183.

Жерелина И.В., Безматерных Д.М., Стоящева Н.В. Материалы к Государственному докладу о состоянии и использовании водных ресурсов в Алтайском крае в 2003 году. – Барнаул: Изд-во «Алтайна», 2004. – 112 с.

Жизнь животных : в 6 т. – Т. 2: Беспозвоночные / под ред. Л.А. Зенкевича. – М.: Просвещение, 1968. – 564 с.

Жизнь растений : в 6 т. – Т. 1. / под ред. Н.А. Красильникова и А.А. Уранова. – М.: Просвещение, 1974. – 487 с.

Журавлев В.Б. Зоогеографический анализ ихтиофауны Алтайского края с использованием теории нечетких множеств // Известия Алтайского государственного университета. – 1999. – май, спец. выпуск. – С. 55–59.

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. – М.: АН СССР, 1963. – 719 с.

Зенкевич Л.А. Моря СССР их фауна и флора. – М.: Учпедгиз, 1951. – 366 с.

Зенкевич Л.А., Щапова Т.Ф. Бентос // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

Зернов С.А. Общая гидробиология. – М.-Л.: Госбиомедиздат, 1934. – 504 с.

Зилов Е.А. Гидробиология и водная экология: учебное пособие. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2008. – 120 с.

Иллиес Й. Ручьи и реки // Экологические очерки о природе и человеке / под ред. Б. Гржимека. – М.: Прогресс, 1988. – С. 371–381.

Кириллов В.В. Разнообразие водных экосистем бассейна Оби // Введение в экологическое моделирование. – Барнаул: Азбука, 2001. – С. 9–43.

Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Егоркина Г.И. и др. Лаборатория водной экологии. Исследование водных экосистем бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья // Сборник статей, посвященный 20-летию юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2007. – С. 90–112.

Кириллов В.В., Кикнадзе И.И., Руднева Л.В. и др. Биологическое разнообразие водных экосистем бассейна Верхней Оби // Обской вестник. – 1997. – №2–3. – С. 51–57.

Кожова О.М. Введение в гидробиологию. – Красноярск: КГУ, 1987. – 244 с.

Константинов А.С. Общая гидробиология. – М.: Высш. шк., 1986. – 472 с.

Кораблинов П.Н. Канал // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

Коронкевич Н.И. Болото // Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия. 10 CD. – М.: Кирилл и Мефодий, 2005а.

Коронкевич Н.И. Озера // Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия. 10 CD. – М.: Кирилл и Мефодий, 2005б.

Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. – 163 с.

- Криволицкий Д.А., Покаржевский А.Д. Животные в биогенном круговороте веществ. – М.: Знание, 1986. – 64 с.
- Крылов П.И. Продукционная гидробиология // Природа. – 2002. – №8. – С. 18–21.
- Кузнецов Б.А., Чернов А.З. Курс зоологии. Учебник для сельскохозяйственных вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 392 с.
- Львович М.И. Реки // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Максимов А.А. Природные циклы: Повторяемость экологических процессов. – Л.: Наука, 1989. – 233 с.
- Малик Л.К. Обь // // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Малолетко А.М. и др. Озеро Ая и его окрестности (физико-географический очерк). – Томск: Печатная мануфактура, 2004. – 204 с.
- Мартышев Ф.Г. Прудовое рыбоводство. – М.: Высш. шк., 1973. – 428 с.
- Материалы к Государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды Алтайского края в 2000 г.». – Барнаул, 2001. – 118 с.
- Митропольский В.И., Мордухай-Болтовской Ф.Д. Зообентос и другие биоценозы, связанные с субстратом // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 158–170.
- Науменко Ю.В. Очерки по лимнологии. – Барнаул: Азбука, 2007. – 100 с.
- Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Экология. – М.: ПРИОР, 2001. – 304 с.
- Никитин В.Н. Водные животные // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
- Одум Ю. Экология : в 2 т. – М.: Мир, 1986.
- Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем. Аналит. обзор. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН, 2001. – 58 с.
- Перельман А.И. Биокосные системы Земли. – М.: Наука, 1977. – 160 с.
- Поплавская Г.И. Водные растения // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
- Радкевич В.А. Экология: учебник для вузов. – Минск: Высш. шк., 1998. – 159 с.
- Ревякин В.С., Ревякина Н.В., Малиновский А.В. География Алтайского края. – Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1995. – 136 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- Река Барнаулка: экология, флора и фауна бассейна / Т.В. Бабич, Д.М. Безматерных, Л.Н. Бельдеева и др. / под ред. М.М. Силантьевой. – Барнаул, 2000. – 224 с.
- Риклефс Р. Основы общей экологии. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
- Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии (учебное пособие). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 396 с.
- Саускан В.И. Экология и биологическая продуктивность океана: учебное пособие. – Калининград: Калинингр. ун-т, 1996. – 72 с.
- Силантьева М.М., Безматерных Д.М., Ирисова Н.Л. и др. Изучение биологического разнообразия в комплексном заказнике «Усть-Чумышский» Тальменского района Алтайского края // Особо охраняемые природные территории Алтайского

края и сопредельных территорий, тактика сохранения видового разнообразия и генфонда. – Барнаул: АлтГУ, 2002. – С. 165–173.

Соколов А.А. Гидрография СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 471 с.

Соловов В.П., Подуровский М.А., Ясученя Т.Л. Жаброног артемия и перспективы использования ресурсов. – Барнаул: Алтайский полиграф. комбинат, 2001. – 144 с.

Соловов В.П., Студеникина Т.Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1990. – 81 с.

Стебаев И.В., Пивоварова Ж.Ф., Смоляков Б.С., Неделькина С.В. Биогеосистемы лесов и вод России. – Новосибирск: Наука, 1993. – 348 с.

Федоров В.Д. Изменения в природных биологических системах / под ред. В.Н. Максимова. – М.: Спорт и Культура, 2004. – 368 с.

Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. – М.: МГУ, 1980. – 464 с.

Хатчинсон Д.Э. Лимнология : пер. с англ. – М.: Прогресс, 1969. – 591 с.

Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Б. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования : пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 279 с.

Черкинский С.Н. Вода // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель пресноводных беспозвоночных центра Европейской России. – М.: МАКС Пресс, 2003. – 196 с.

Шарова И.Х., Свешников В.А. Проблемы экологической морфологии. – М.: Знание, 1988. – 64 с.

Эдмонсон Т. Практика экологии. Об озере Вашингтон и не только о нем : пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 299 с.

Экология озера Чаны. – Новосибирск: Наука, 1986. – 270 с.

Яныгина Л.В. Теория функционирования речных экосистем. Зооценозы рек бассейна Верхней Оби: учебно-метод. пособие. – Барнаул, 2006. – 24 с.

Яхонтов А.А. Зоология для учителя: Хордовые / под ред. А.В. Михеева. – М.: Просвещение, 1985. – 448 с.

Allan J.D., Castillo M.M. Stream Ecology: Structure and function of running waters. 6nd ed. – Netherlands, Dordrecht: Springer, 2007. – 436 p.

Clarke G.L. Elements of ecology. – New York: John Wiley&Sons, Inc., 1954. – 543 p.

Hammer U.T. Saline Lake Ecosystems of the World. – Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1986. – 614 p.

Illies J., Botosaneanu L. Problemes et methodes de la zonation ecologique des eaux corantes, considerees sur tout du point de vue faunistice // Mitteilungen, Internat. Vereinigung fur Theoretische und Angevandte Limnol., 1963. – V.12. – S.1–57.

Lampert W., Sommer U. Limnoecology. 2nd ed. – USA, New York: Oxford University Press, 2007. – 324 p.

Spellman F.R., Drinan J.E. Stream Ecology & Self-Purification. 2nd ed. – USA, Lancaster: Technomic Co. Inc, 2001. – 261 p.

Townsend C.R. The patch dynamics concept of stream community ecology // Journal of the North American Benthological Society. – 1989. – 8. – P. 36–50.

Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept // Can. J. Fish. aquat. Sci. – 1980. – 37. – P. 130–137.

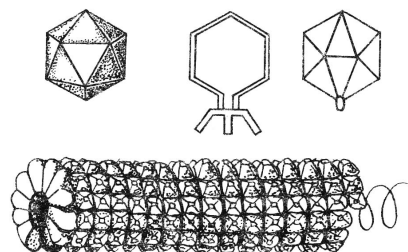
Williams W.D. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes // Hydrobiologia. – 1998. – 381. – P. 191–201.

Систематическое положение организмов,
обитающих в континентальных водах

ИМПЕРИЯ НЕКЛЕТОЧНЫХ

Вирусы, бактериофаги и плазмиды – внутриклеточные паразиты, вне клеток не способны к размножению. В простейшем случае представлены только нуклеиновой кислотой (ДНК или РНК), могут иметь белковые и липидные оболочки.

В водных экосистемах могут присутствовать бактериофаги (вирусы бактерий), вирусы растений, грибов и животных. Некоторые вирусы животных могут быть опасны для человека. При загрязнении водных объектов фекальными стоками могут появляться специфические для человека патогенные виды (вирус гепатита А). Размер 15–350 нм.



ИМПЕРИЯ КЛЕТОЧНЫХ

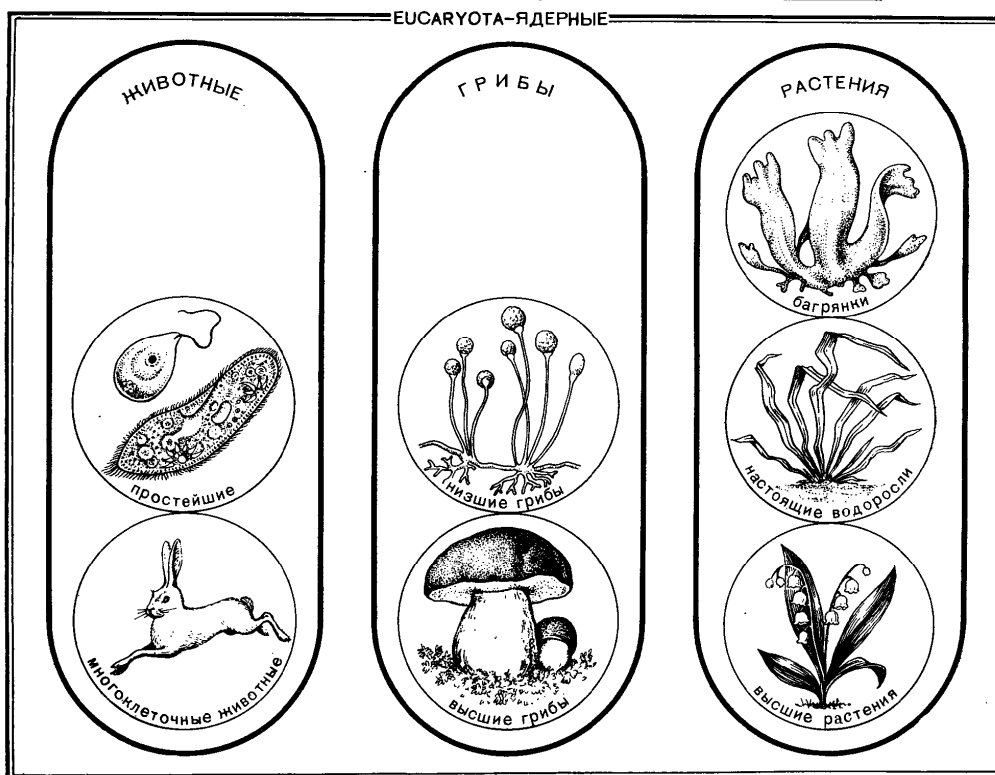


Схема классификации клеточных организмов (Жизнь растений, 1974)

Надцарство прокариот (доядерных – дробянок)

Наиболее древняя и примитивная группа одноклеточных или колониальных организмов. Характеризуются отсутствием морфологически оформленного клеточного ядра и настоящего полового процесса. Генетическая информация сосредоточена в единственной кольцевой хромосоме. Размеры клеток от 0,015 мкм до 20 см.

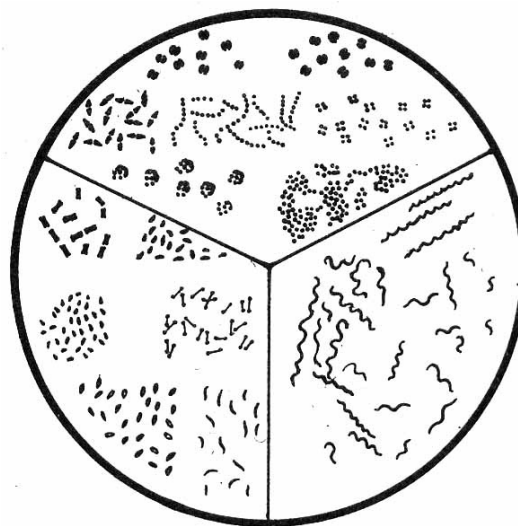
Царство архей (архебактерий)

Одноклеточные прокариоты, отличающиеся от остальных бактерий в компонентах синтеза белка, структуре клеточной стенки, биохимии (только среди архей есть метаногены) и устойчивости к факторам внешней среды (большая часть – экстремофилы). Архебактерии не способны к паразитизму, большая их часть автотрофы. Большинство обитает в экстремальных температурных условиях (по температуре, солености, кислотности).

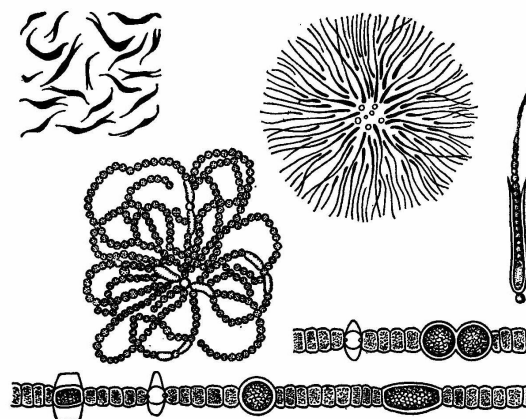
Царство бактерий

Подцарство настоящих бактерий.

По форме клеток бактерии могут быть шаровидными (кокки), палочковидными (бациллы, кластридии, псевдомонады), извитыми (вибрионы, спириллы, спирохеты). Некоторые бактерии образуют споры. Многие подвижны, имеют жгутики. Большая часть бактерий являются гетеротрофами, но немало и автотрофов. Практически во всех водных экосистемах встречаются сапрофитные (свободноживущие) виды бактерий, реже фотосинтезирующие бактерии, при антропогенном загрязнении появляются патогенные, опасные для человека виды.



Подцарство цианобактерий (старое название – синезеленые водоросли) – фотосинтезирующие одноклеточные, колониальные или многоклеточные (нитчатые) организмы. Размеры клеток не более нескольких миллиметров, колоний – до 20 см. Окраска сине-зеленая или розоватая. Размножаются бесполом путем в результате простого деления клетки, а также спорами или фрагментами нитей. Распространены широко, но чаще всего встречаются в пресных водах, где входят в состав планктона и бентоса. Могут вызывать «цветение» воды.



Надцарство эукариот (ядерных)

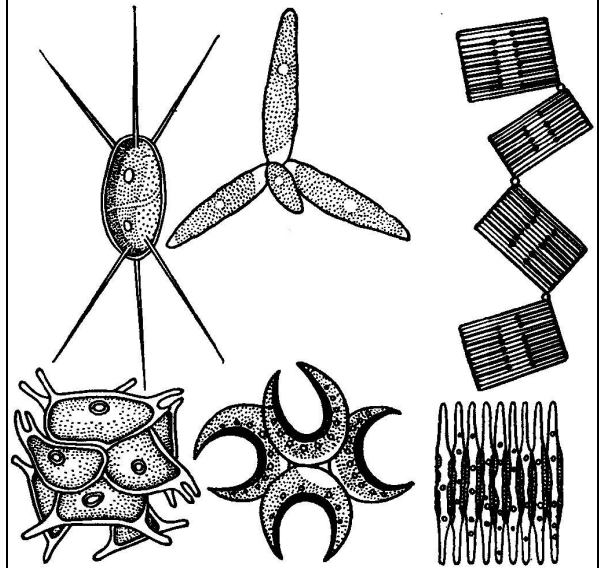
Наиболее эволюционно продвинутая группа одноклеточных, колониальных и многоклеточных организмов. Характеризуются наличием морфологически оформленного клеточного ядра и других внутриклеточных органелл, как правило, присутствует настоящий половой процесс. Генетическая информация сосредоточена в нескольких линейных хромосомах.

Царство растений. Для организмов, относимых к растениям, обычно характерны твердые клеточные оболочки и наличие зеленого пигмента – хлорофилла.

Подцарство низших растений (слоевцовых, или талломных, растений).

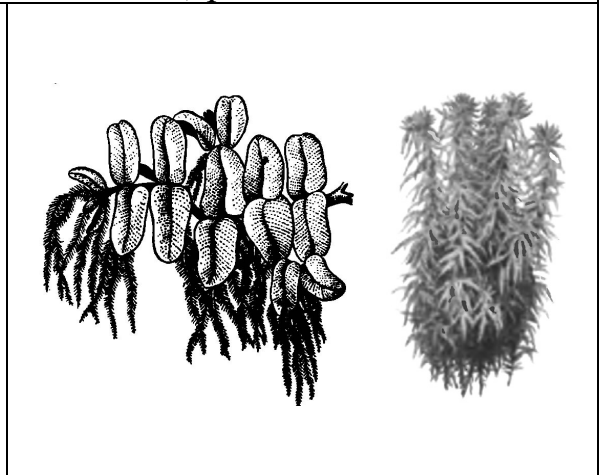
Тело низшего растения (таллом, или слоевище) не расчленено на корень, стебель и лист. Включают только водоросли. Ранее к низшим растениям относили бактерии, актиномицеты, слизевики, грибы, водоросли, лишайники, т.е. все организмы, кроме высших растений и животных.

Водоросли – группа низших водных растений, обычно содержащих хлорофилл и вырабатывающих органические вещества в процессе фотосинтеза. Тело водоросли – таллом, не имеющий настоящих корней, стеблей и листьев, от долей микрона до 60 м. Неклеточные, одноклеточные, многоклеточные, колониальные организмы. Размножение бесполое, вегетативное и половое. Отделы (или типы) водорослей: зеленые, бурые, красные, золотистые, желто-зеленые, диатомовые и др. Около 30 тыс. видов. Некоторые одноклеточные и водоросли в симбиозе с грибами образуют лишайники.



Подцарство высших растений (теломных растений). В отличие от низших растений тело высших растений разделено на специализированные органы – листья, стебель и корень. Свыше 300 тыс. видов. Отделы: риниофиты, моховидные, псилоотовидные; плауновидные, хвощевидные, папоротниковидные, голосеменные и цветковые (покрытосеменные) растения.

Отдел моховидные. Растения, не имеющие сосудистых пучков. Это многоклеточные растения, обычно наземные, с четко выраженным чередованием полового и бесполого поколений. Преимущественно многолетние растения, характеризующиеся групповыми формами роста (дерновинки, куртинки, подушки). На торфяных болотах составляют основную массу торфа. Например: сальвиния, сфагнум, фонтиналис.

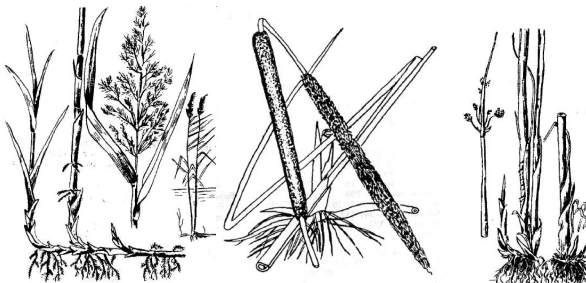


Отдел цветковые (покрытосеменные). Семязачатки погружены в ткани завязи, из которой после оплодотворения развивается плод с заключенными в нем семенами (отсюда второе название).

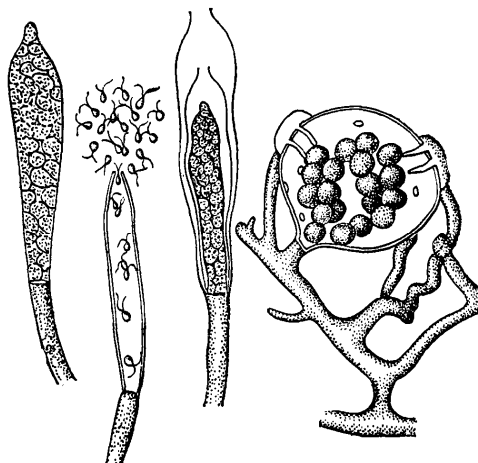
Класс двудольные. К этому подклассу относится большинство цветковых растений. Для них характерны: наличие двух семядолей; кольцеобразное расположение сосудистых пучков в стебле; сетчатая иннервация листьев; число частей цветка обычно бывает кратно двум, четырем или пяти. Например: роголистник, пузырчатка, лютик, кувшинка, кубышка, водяной орех, уруть.



Класс однодольные. К однодольным относятся злаки, лилейные и орхидеи. Для них характерны: параллельная иннервация листьев и число частей цветка, кратное трем или шести; наличие одной семядоли. Например: тростник, рогоз, камыш, частуха, рдест, стрелолист, элодея, телорез, валлиснерия, осока, ряска, водокрас.

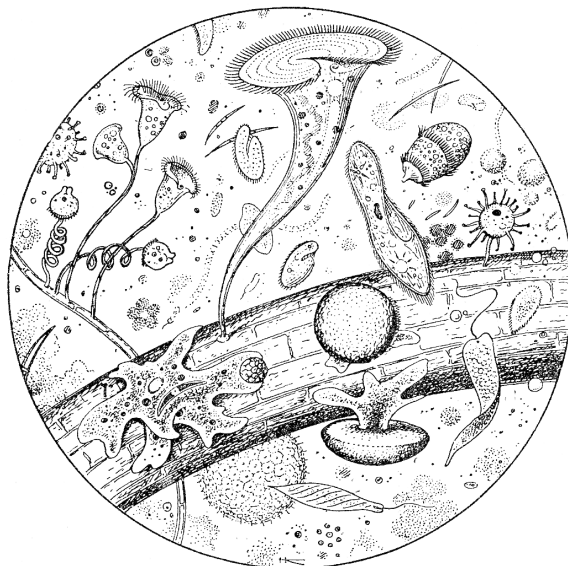


Царство грибов. Сочетают признаки как растений (неподвижность, верхушечный рост, наличие клеточных стенок и др.), так и животных (гетеротрофный тип обмена, наличие хитина, образование мочевины и др.). Свыше 100 тыс. видов. Вегетативное тело в виде грибницы, или мицелия (за исключением внутриклеточных паразитов). Размножаются вегетативным, бесполом (спорами) и половым путем. Три отдела: настоящие грибы, оомицеты и слизевики. Пять классов настоящих грибов: хитридиомицеты, зигомицеты, аскомицеты, базидиомицеты и несовершенные. Грибы минерализуют растительные остатки, патогенные грибы вызывают болезни растений, животных и человека. Например, сапролегния вызывает болезни рыб и других гидробионтов.



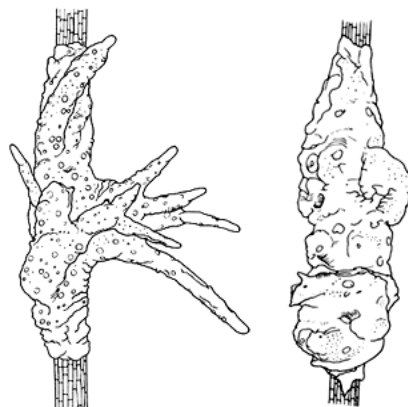
Царство животных. Для организмов, относимых к животным, характерно отсутствие твердых клеточных оболочек и хлорофилла. Они питаются самостоятельно либо ведут паразитический образ жизни.

Подцарство одноклеточных, или простейших. Организм простейших состоит из одной клетки или колонии клеток. Размеры от 2–4 мкм до 1 см. Размножение половое и бесполое. Свободноживущие и паразитические формы. Длительное время всех простейших объединяли в один тип, в который обычно включали 5 классов (саркодовые, жгутиконосцы, споровики, инфузории и книдоспоридии). В настоящее время простейших чаще рассматривают как подцарство или отдельное царство с 7 типами: апикомплексы, микоспоридии, микроспоридии, инфузории, лабиринтулы, асцитоспоридии и саркомастигофоры, включающие саркодовых (амеб) и жгутиконосцев. Около 40 тыс. видов, широко распространены в континентальных водах.

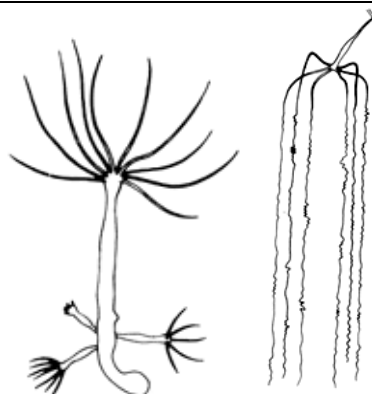



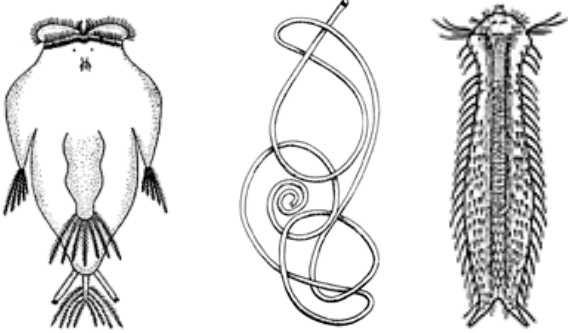
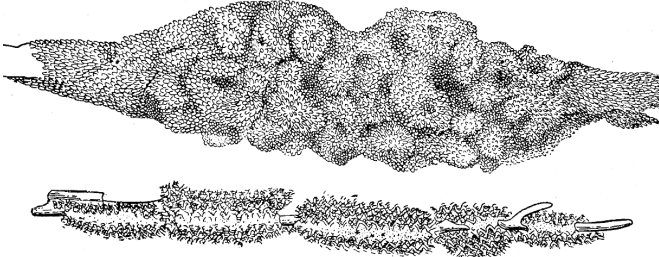
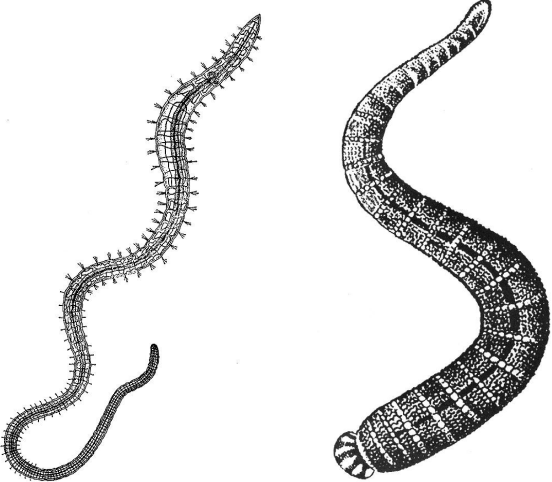
Подцарство многоклеточных. Животные организмы, тело которых состоит из многих специализированных клеток, объединенных в ткани и органы.

Тип губки. К этому типу относятся как морские, так и пресноводные губки – наиболее низко организованные из всех многоклеточных животных и во многих отношениях напоминающие колонию простейших. Их тело пронизано бесчисленными порами, через которые циркулирует вода, служащая для губок источником пищи. Например: бадяга. Длина колонии до 1 м.



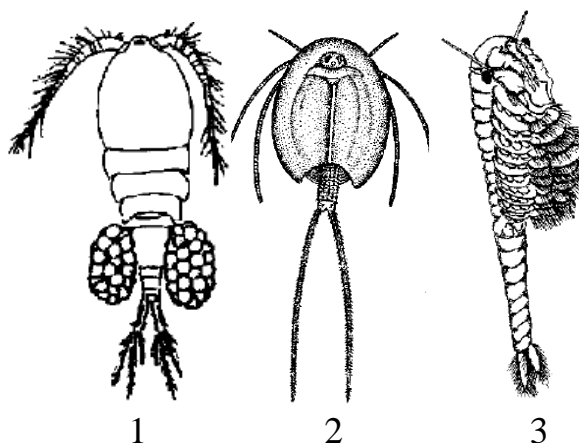
Тип кишечнополостные. Животные, обладающие радиальной симметрией и центральной гастровакулярной полостью. Стенка тела состоит из двух слоев клеток; во внешнем слое лежат стрекательные капсулы – нематоциты. Размножение как половое, так и вегетативное (почкованием), например гидра. Длина от нескольких миллиметров до 3 см.



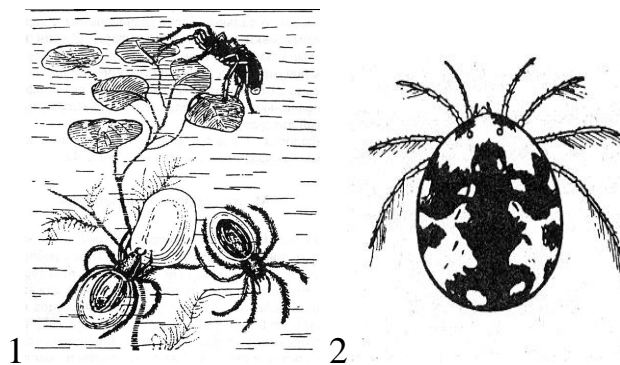
<p><i>Тип плоские черви.</i> Для этого типа характерно уплощенное тело вытянутой или овальной формы, двусторонняя симметрия и три слоя клеток. Имеется настоящая центральная нервная система. Например: планария. Длина от нескольких миллиметров до нескольким сантиметрам.</p>	
<p><i>Тип круглые черви.</i> Очень большая группа, для представителей характерно вытянутое цилиндрическое тело с двусторонней симметрией; паразитируют на растениях и животных или свободно живут в почве или воде. Например: 1) колдоватки (0,01–2,5 мм), 2) волосатики (несколько сантиметров), 3) гастротрихи (до 1,5 мм), нематоды (до нескольких миллиметров).</p>	 <p style="text-align: center;">1 2 3</p>
<p><i>Тип мшанки.</i> Микроскопические червеобразные организмы, обычно морские, образующие колонии. Обладают характерным органом для схватывания добычи – лофофором, который представляет собой U-образный ряд щупалец, покрытых ресничками. Колонии до 10–15 см. Например: плюмателла, кристателла.</p>	
<p><i>Тип кольчатые черви.</i> Сегментированные черви. Имеют хорошо различимую голову, пищеварительный тракт, вторичную полость тела и (некоторые виды) нерасчлененные придатки. Пищеварительный тракт разбит на специализированные отделы. В пресных водах обычны представители классов малощетинковых червей и пиявок, реже – многощетинковые черви. Например: 1) трубочник, 2) ложноконская пиявка. Длина до нескольких сантиметров.</p>	 <p style="text-align: center;">1 2</p>

Тип членистоногие. Сегментированные животные с расчлененными придатками и твердым хитиновым покровом; тело разделено на голову, грудь и брюшко.

Класс ракообразные. Обычно обитают в воде, имеют две пары антенн и дышат при помощи жабр. Например: циклоп (1), щитень (2), жаброног (3), речной рак, бокоплав, дафния, артемия, ракушковый рачок, водяной ослик. Длина от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

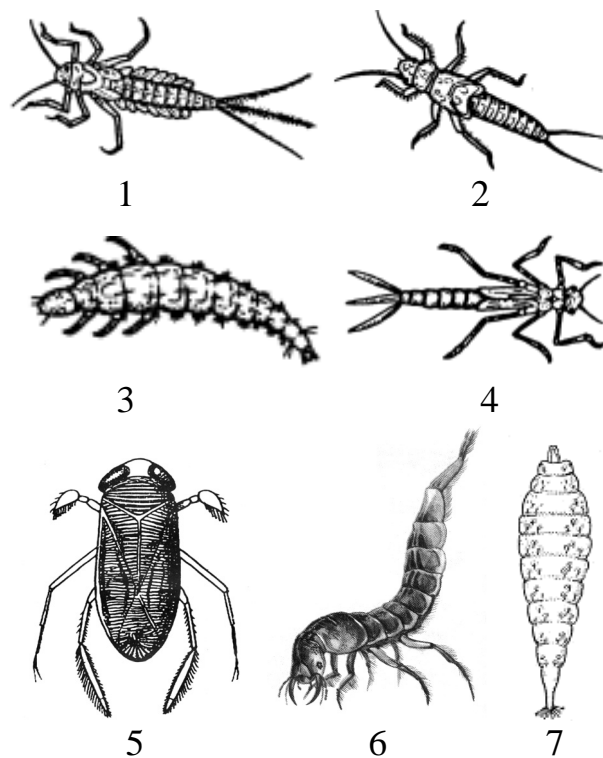


Класс паукообразные. Взрослые особи не имеют антенн; первая пара придатков оканчивается клещами, вторая служит челюстями, а остальные четыре служат для ходьбы (плавания). Например: 1) паук-серебрянка (до 1,8 см), 2) водяной клещ (до нескольких миллиметров).

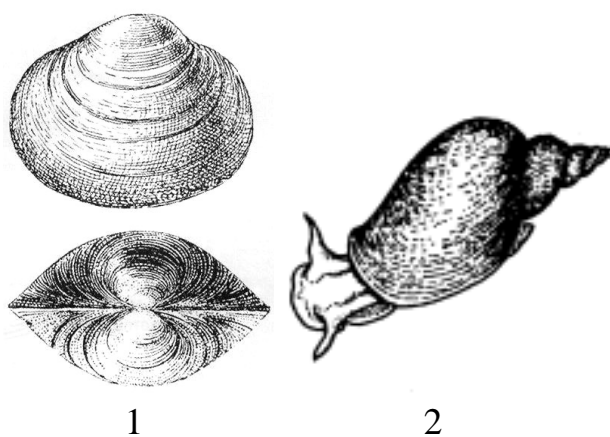


Класс насекомые. Самая крупная группа животных, большей частью наземных. У них имеется ясно выраженная голова с четырьмя парами придатков; к груди прикрепляется три пары ног и обычно две пары крыльев; на брюшке придатков нет; дышат трахеями. Насекомых делят на 24 отряда, из которых в континентальных водах обычны:

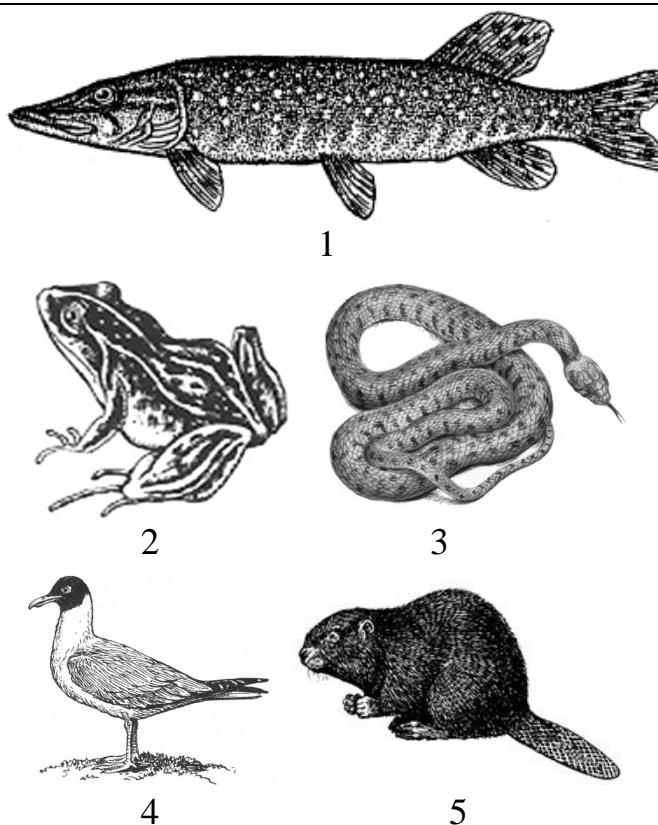
1) поденки, 2) веснянки, 3) ручейники, 4) стрекозы, 5) клопы (гребляк, гладыш, водяной скорпион и палочник, плавт, водомерка), 6) жуки и 7) двукрылые (мухи, комары, мошки). Длина от нескольких миллиметров до 10 см.



Тип моллюски. Несегментированные мягкотелые животные, тело которых обычно покрыто раковиной и несет на брюшной стороне ногу, состоящую из мышечной ткани. Дышат при помощи жабр, защищенных складкой, образуемой стенкой тела – мантией. В пресных водах обычны представители двух классов: 1) двустворчатые (шаровка, беззубка, горошинка) и 2) брюхоногие (прудовик, катушка, битиния). Длина от нескольких миллиметров до 15 см.



Тип хордовые. Двусторонне симметричные животные, имеющие внутренний осевой скелет, жаберные щели, расположенные в области глотки (часто редуцированы) и дорзальную полую нервную трубку. В пресных водах обычны представители следующих классов: 1) костные рыбы (щука, сиг, осетр, бычок, вьюн, гольян, ерш, окунь), 2) земноводные (лягушка, тритон, саламандра), 3) пресмыкающиеся (уж, гадюка), 4) птицы (чайки, утки, цапли, гуси, лебеди), 5) млекопитающие (бобр, ондатра, выдра, выхухоль, норка, нерпа).



ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А
- Азот, 27
Аквакультура, 70
Артемия, 64, 66, 74
Археи, 87
Арцелла, 55
Ая, 64
- Б
- Бадяга, 90
Бактерии, 87
Бактериофаги, 86
Барнаулка, 59, 60
Бациллы, 87
Белый амур, 48
Бентос, 32, 36, 47, 54, 68
Биогенные элементы, 27
Биогеоценоз, 16
Биолимнологические типы, 13
Биологическая продуктивность, 38
Биомасса, 38
Биоресурсы, 72
Блефароцера, 45
Бобр, 93
Бокоплав, 54, 74, 78
Болота, 55
Большая Черемшанка, 60, 61
Большое Яровое, 66
Булыжники, 29
- В
- Веслоногие рачки, 53, 68
Веснянки, 45, 92
Ветвистоусые рачки, 53, 68
Вибрионы, 87
Вирусы, 86
Вода, 22
Водные животные, 30, 90
Водные растения, 29, 88
Водоросли, 88
Водохранилища, 46
Водяной клещ, 54, 92
Водяной ослик, 54
- Волосатики, 91
- Г
- Галобиионты, 25
Галофильные виды, 25
Гаммарус, 64, 74, 78
Гастротрихи, 91
Гетеротрофы, 19
Гидра, 90
Гидробиология, 8, 17
Гиперэвтрофные водоемы, 50
Гиполимнион, 50
Гипопотамаль, 41
Гипоритраль, 41
Грибы, 89
Губки, 90
- Д
- Двудольные, 89
Двукрылые, 68, 92
Диатомовые водоросли, 53, 68
Дистрофные водоемы, 50, 51
Дночерпатель, 11
Донные отложения, 28
Драга, 11
Дробянки, 87
- Ж
- Жаброног, 92
Жгутиконосцы, 90
Жесткость, 25
Жуки, 36, 54, 92
- З
- Зеленые водоросли, 53, 68
Змееголов, 48
- И
- Инфузории, 90
- К
- Камыш, 54, 89
Канал, 46
Карась, 71, 74

Карп, 48, 71
Кислород, 26
Кишечнополостные, 90
Клопы, 36, 54, 68, 92
Клостридии, 87
Коловратки, 53, 68, 91
Кольчатые черви, 91
Консументы, 19
Концепция динамики пятен, 44
Концепция речного континуума, 42
Кристаллелла, 91
Круглые черви, 91
Круговорот азота, 21
Круговорот веществ, 20, 44
Круговорот воды, 23
Круговорот углерода, 21
Круговорот фосфора, 22
Кувшинка, 54
Кулундинское, 65

Л

Лещ, 48, 51, 74
Лимнобентос, 52
Лимнонектон, 52
Лимнопланктон, 52
Лимнофильные организмы, 52
Ложноконская пиявка, 91
Люттик, 89
Лягушка, 93

М

Металимнион, 49
Метан, 27
Метапотамаль, 41
Метаритраль, 41
Мизида, 45
Многоклеточные, 90
Моллюски, 36, 68, 93
Моховидные, 88
Мухи, 36
Мшанки, 68, 91

Н

Насекомые, 92
Нейстон, 32, 35
Нектон, 35, 47

О

Обрастания, 38
Обь, 57
Однодольные, 89
Одноклеточные, 90
Озера, 49, 61
Окунь, 51, 74
Олиготрофные водоемы, 50

П

Паукообразные, 92
Паук-серебрянка, 92
Пелядь, 74
Перифитон, 32, 38
Пиявки, 68
Планктон, 32, 33, 46, 53, 67
Планктонная сеть, 11
Планктонный сачок, 11
Плейстон, 32, 36
Плоские черви, 91
Плотва, 51, 74
Плюмателла, 91
Поденки, 45, 54, 68, 92
Покрытосеменные, 89
Полушник, 45
Пресноводные виды, 25
Продуценты, 18
Прокариоты, 87
Простейшие, 90
Пруд, 49
Прудовик, 36, 54, 93
Псевдомонады, 87
Пузырчатка, 89

Р

Ракообразные, 92
Растворенные газы, 26
Рдест, 45, 54
Редуценты, 19
Реки, 41, 56
Реофилы, 44
Речная лунка, 45
Речная чашечка, 45
Речной рак, 74, 79
Рогоз, 54, 89

Роголистник, 89	Фосфор, 27
Ручейники, 45, 92	
Рыбоводство, 70	Х
Рыбы, 48, 71	Хаоборус, 54
	Хара, 54
С	Хирономус, 54
Сазан, 48, 71, 74	Хордовые, 93
Сальвиния, 88	
Сапролегния, 89	Ц
Сапротрофы, 19	Цветковые, 89
Саркодовые, 90	Цианобактерии, 30, 87
Сероводород, 27	Циклоп, 92
Сиг, 51	
Синезеленые водоросли, 30, 53, 87	Ч
Скребок, 11	Чайки, 93
Солевыносливные виды, 25	Членистоногие, 92
Соленость, 24	Чудской сиг, 48
Спириллы, 87	Чумыш, 59, 60
Спирохеты, 87	
Стрекозы, 45, 54, 68, 92	Ш
Стрелолист, 54	Шаровка, 93
Судак, 48, 74	
Сфагнум, 55, 88	Щ
	Щитень, 92
Т	Щука, 74, 93
Толстолобик, 48, 71	
Тростник, 89	Э
Трубочник, 54, 91	Эвтрофные водоемы, 50
	Экологические группировки, 32, 33
У	Экология, 5
Углекислый газ, 27	Экосистема, 16
Уж, 93	Эпилимнион, 50
Ультраолиготрофные водоемы, 50	Эпипотамаль, 41
	Эпиритраль, 41
Ф	Эукариоты, 88
Фаготрофы, 19	
Физа, 54	Я
Фонтиналис, 45	Язь, 74
Форель, 51, 71	

Учебное издание

Безматерных Дмитрий Михайлович

**ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ:
СОСТАВ, СТРУКТУРА, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Учебное пособие

Редактор: *Е.М. Федяева*
Подготовка оригинал-макета:
Д.М. Безматерных, Е.М. Федяева

На обложке – оз. Мельничное Касмалинской озерно-речной системы
(*фото М.И. Соколовой*)

ЛР 020261 от 14.01.1997 г.

Подписано в печать 26.02.2009. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,8.
Тираж 100 экз. Заказ .

Издательство Алтайского государственного университета

Отпечатано в типографии «Концепт»:
656049, г. Барнаул, пр-т Социалистический, 85,
т./ф.: (3852) 36-82-51