

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»
Кафедра экологии и охраны природы

И.А. Литвенкова, В.Е. Савенок

ГИДРОЭКОЛОГИЯ

Курс лекций

В 2 ЧАСТЯХ

Часть 2

Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2013

УДК 574.5(075.8)
ББК 28.082я73
Л64

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 1 от 24.10.2013 г.

Авторы: заведующий кафедрой экологии и охраны природы ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат биологических наук, доцент **И.А. Литвенкова**; доцент кафедры экологии и охраны природы ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат технических наук **В.Е. Савенок**

Р е ц е н з е н т ы :

доцент кафедры зоологии ВГУ имени П.М. Машерова,
кандидат биологических наук *С.И. Денисова*;
доцент кафедры охраны труда и промышленной экологии
УО «ВГТУ», кандидат технических наук *А.В. Гречаников*

Литвенкова, И.А.

Л64 Гидроэкология : курс лекций : в 2 ч. / И.А. Литвенкова, В.Е. Савенок. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2013. – Ч. 2. – 49 с.

Курс лекций «Гидроэкология» состоит из двух частей и подготовлен в соответствии с типовой учебной программой для студентов, обучающихся по биологическим специальностям вуза. Рассматриваются вопросы структурно-функциональной организации водных экосистем.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-33 01 01 «Биоэкология» дневной и заочной форм обучения, учителей биологии и экологии, а также лиц, ведущих исследования в различных областях гидроэкологии.

УДК 574.5(075.8)
ББК 28.082я73

© Литвенкова И.А., Савенок В.Е., 2013
© ВГУ имени П.М. Машерова, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
6. Водные экосистемы и их экологическая зональность	5
6.1. Экосистемы озер и их зональность	5
6.2. Экосистемы рек и их зональность	15
6.3. Экологическая характеристика и зональность водохранилищ	25
6.4. Экологические особенности болот	29
6.5. Экология подземных вод	34
6.6. Экологическая зональность Мирового океана	36
7. Глобальные экологические проблемы и водные экосистемы	41
7.1. Эвтрофирование водоемов: причины и последствия	41
7.2. Химическое загрязнение вод и его влияние на гидробионтов	44
Литература	47

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное издание включает материалы к курсу лекций; в конце представлен список основной и дополнительной литературы, рекомендуемой для более детальной подготовки по теоретической части материала. Курс «Гидроэкология» читается для студентов биологического факультета специальности 1-33 01 01 «Биоэкология» и включает основные вопросы структурно-функциональной организации водных экосистем.

Преподавание дисциплины идет по модульно-рейтинговой системе, в соответствии с планом которой выделяются 3 модуля: «Введение. Факторы водной среды», «Водные экосистемы и их экологическая зональность», «Глобальные экологические проблемы и пути управления водными ресурсами». В первом модуле теоретическая часть включает изучение абиотических факторов в различных типах водоемов, рассмотрение особенностей адаптации гидробионтов к факторам внешней среды. Во втором модуле изучаются вопросы экологического зонирования водоемов; рассматриваются основные сообщества гидробионтов. Третий модуль посвящен изучению вопросов биологической продуктивности водных экосистем; оценке загрязнения и самоочищения водоемов.

Курс лекций подготовлен в соответствии с типовой учебной программой курса «Гидроэкология».

6. ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

6.1. Экосистемы озер и их зональность

Классификация озер по происхождению. Озера представляют собой различной величины и формы котловины, заполненные водой. По происхождению различают озера *тектонические*, образовавшиеся в результате сдвигов и разломов в земной коре (Байкал, Телецкое, Танганьика и др.), *реликтовые* (например, Каспийское и Азовское моря – остатки Сарматского моря, отделившиеся от Черного моря после поднятия суши), *ледниковые*, возникшие при отступлении ледников в плейстоценовое время (многочисленные озера Скандинавии, Карелии и др.), *карстовые*, или *провальные*, *эоловые*, *вулканические* или иные, смотря по тому, действием каких агентов образована их котловина. Для зоны вечной мерзлоты характерны *термокарстовые озера*, образующиеся в результате протаивания льда. В долинах рек многочисленны *пойменные озера* – отшнуровавшиеся участки бывшего русла. У морских побережий встречаются озеровидные водоемы – *лагуны* и *лиманы*. Первые из них – отшнуровавшиеся морские заливы, вторые возникают в результате запруживания рек песчаными косами.

На территории Беларуси насчитывается около 10 тыс. озер. В основном это небольшие и мелкие озера. Самое глубокое озеро страны – Долгое (глубиной 53,7 м). Многие озера образуют группы (системы): Нарачанская группа озер, Браславские озера, Ушачские озера и др. Однако озера весьма неравномерно распределены по территории страны. Наиболее богата озерами северная часть Беларуси, где находятся самые большие по площади белорусские озера (Нарочь, Освейское, Дрисвяты, Лукомльское и др.). Значительно меньше озер в южной части страны, где они имеют низкие заболоченные котловины и часто носят черты деградации. Самыми большими по площади озерами южной Беларуси являются Червоное, Выгоновское и Черное. Чрезвычайно мало озер имеется в центральной и восточной частях Беларуси.

Широко распространены в Беларуси **котловины ледникового происхождения**, подразделяющиеся на следующие типы:

1) **Подпрудные озера** занимают относительно большие площади и образовались в результате подпруживания талых ледниковых вод моренными отложениями. Они имеют округлые или вычурные очертания и неровное дно (Освейское озеро, озеро Дрисвяты).

2) **Долинные озера** возникли в результате ледникового выпахивания и эрозионной деятельности талых ледниковых вод. Они характеризуются большой глубиной (30–50 м), незначительной площадью, обрывистыми берегами, а также вытянутостью в направлении движения ледника озеро (озеро Долгое),

3) **Эварзионные озера** образовались в результате эрозионной деятельности падающей с ледниковой поверхности воды. Площадь таких озер небольшая, они глубоки и имеют округлую форму (озеро Рудаково, озеро Воронеж, озеро Сенно).

4) **Термокарстовые озера** образовались в результате вытаявания участков древнего ледника, имеют небольшую площадь и распространены преимущественно в северной части страны (озеро Лисицкое).

5) **Остаточные озера** возникли в зоне действия четвертичных ледников и образовались на месте древних приледниковых озер.

Помимо указанных типов озер, котловины которых имеют преимущественно ледниковое происхождение, также выделяются:

Котловины речного типа, сформировавшиеся при участии нескольких процессов, имеют вычурную форму и сложное строение дна (озеро Лепельское, озеро Кривое, озеро Неспиш).

Озера-разливы (озера Полесского типа) занимают плоские понижения поверхности, их котловины слабо выражены в рельефе; они мелководны, имеют заболоченные берега и большую площадь водной поверхности (озеро Червоное, Выгоновское озеро).

Карстовые озера отличаются котловинами воронкообразной формы, значительной глубиной; встречаются в Брестском Полесье (озеро Вулька).

Озера, имеющие котловины суффозионного происхождения, находятся в районах распространения лессов и лессовидных пород (озеро Свитязь). Они образовались в результате выноса мелких минеральных частиц водой, фильтрующейся в толще горных пород.

Озера-старицы представляют собой заброшенные русла и распространены повсеместно, но особенно их много в долинах крупных рек: Днепра, Припяти, Западной Двины и др.

Биолимнологическая классификация озер, разработанная А. Тинеманом, 1921г.:

1. **Эвтрофные озера.** К эвтрофным (высококормным) относятся неглубокие (до 10–15 м) равнинные озера с обильным поступлением биогенов. Летом в них в массовом количестве развивается фитопланктон и, соответственно, обильны бактерио- и зоопланктон, зообентос и рыбы. Грунты илистые, прозрачность воды низкая, ее цвет – от зеленого до буро-зеленого. Литораль хорошо выражена, сильно зарастает макрофитами. Водная масса гипolimниона по сравнению с эпилимнионом мала, бедна кислородом, а в начале летней и зимней стагнации вовсе лишается его. Водная толща прогревается до дна.

На территории Беларуси выделяют следующие подтипы эвтрофных озер:

слабоэвтрофные: неглубокие, имеют значительную площадь, температурная стратификация почти не выражена, зимой у донной

поверхности ощущается дефицит кислорода – Дривяты, Лукомольское, Мястро и др.

среднеэвтрофные: относительно глубокие, имеют воронкообразную котловину, способствующую установлению температурной стратификации; в гипolimнионе зимой и летом остро ощущаются дефицит кислорода и повышенная минерализация – Каймин, Глубелька, Черное и др.

высокоэвтрофные: мелководные, характеризуются резким колебанием всех гидрохимических показателей на протяжении года и суток, достаточным содержанием кислорода летом и резким дефицитом его зимой, богатым органическим миром – Баторино, Освейское, Выгоновское и др.

2. Олиготрофные озера характеризуются слабым поступлением биогенов, поэтому фитопланктона в них мало и соответственно количественно бедны бактерио- и зоопланктон, зообентос и ихтиофауна. Обычно они расположены на кристаллических породах, глубокие (свыше 30 м), гипolimнион по объему превосходит эпилимнион, богат кислородом. Кислород поглощается слабо, и даже к концу летней стагнации насыщенность им воды достигает 60–70%. Прозрачность воды высокая, гуминовых веществ очень мало, литораль развита слабо, донные отложения бедны органикой. Чисто олиготрофных озер на территории Беларуси нет.

3. Мезотрофные озера. К мезотрофным относятся озера, занимающие промежуточное положение между олиго- и эвтрофными озерами. На территории Беларуси выделяют:

Мезотрофные озера с признаками олиготрофии: небольшие, глубокие с прозрачной водой. Летом в озерах этого типа резко выражены прямая температурная стратификация, незначительный эпилимнион, сильный гипolimнион. Озера богаты кислородом, реакция воды нейтральная, преобладают минеральные и органические маломощные донные отложения. Ихтиофауна этих озер отличается относительно большим разнообразием: сиговые, стронга, радужная и др. Примерами озер данного типа являются: Долгое, Балдук, Саро, Рудаково, Гиньково, Кривое и др.

Мезотрофные озера средне глубокие с большой площадью, интенсивным перемешиванием воды и слабо выраженным гипolimнионом. Озера этого типа весьма богаты кислородом, отличаются большой прозрачностью; их минерализация существенно не изменяется в течение года. Ихтиофауна представлена ряпушкой, сигом и т.д. Примерами озер этого типа являются: Нарочь, Мядель, Снуды, Лепельское и др.

3. Дистрофные (недостаточно кормные) озера. Озера этого типа мелководны, интенсивно зарастают, имеют низкую прозрачность. Для них характерна летняя гомотермия, резкая разница в степени минера-

лизации, а также острый дефицит кислорода в зимний период года, что иногда вызывает заморы рыбы. Озера имеют большую мощность донных органических отложений. Планктон и бентос дистрофных озер очень бедны, часто они безрыбны или имеют сравнительно однородную ихтиофауну, в которой преобладает карась. Типичным примером дистрофирующих озер является озеро Червоное.

Ихтиологическая (рыбохозяйственная) классификация озер предложенная М.П. Сомовым предусматривает шесть главных типов озер: озера палии, сиговые озера, лещевые озера, судаковые озера, плотвично-окуневые озера и карасевые озера. Кроме того, предусматривается ряд переходных групп. Каждому типу озер автор дал название по тем рыбам, для которых условия среды наиболее благоприятны и которые могут быть объектами хозяйства в данном водоеме. Сравнение рыбохозяйственной классификации М.П. Сомова с биологической классификацией Тинемана и Наумана показывает практически полное их соответствие. Так озера палии – это олиготрофные, сиговые – мезотрофные, лещевые – эвтрофные, карасевые – дистрофные). В настоящее время для водоемов республики Беларусь разработана система рыбохозяйственной классификации озер (авторы В.А. Федоров, В.Г. Костоусов и др.), которая позволяет выделить следующие группы озер: сигово-сетковые; лещево-судацки; лещево-щучье-плотвичные; окунево-плотвичные; карасево-линевые. В основу данной классификации положена схема М.П. Сомова с учетом особенностей региона и лимнологические характеристики водоемов.

Экологические зоны бентали и пелагиали озер.

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

Толща воды (пелагаль), лишенная плотных субстратов. Населяющие ее организмы составляют две группы, различающиеся по размеру и подвижности: планктон (пассивно парящие в воде или очень мелкие организмы – водоросли, протисты и беспозвоночные) и нектон (крупные активно плавающие организмы – в основном рыбы).

Дно водоема (бенталь), которую населяет бентос.

Поверхность водоема, населенная нейстоном.

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

Во многих случаях пелагаль, бенталь и фиталь можно рассматривать как самостоятельные экосистемы. В каждой из них существует

внутренний кругооборот вещества, хотя они и взаимодействуют между собой (тем сильнее, чем меньше изучаемый водоем).

Котловина озера обычно образована *подводной террасой*, которая характеризуется постепенным слабым понижением суши, далее следует *свал* с более крутым углом понижения и переходящий в *котел*, который занимает большую часть озерного дна. Соответственно перечисленным участкам в озерной бентали принято выделять *литораль* – прибрежное мелководье, *сублитораль*, которая простирается до нижней границы распространения донной растительности, и *профундаль*, охватывающую остальную площадь озерного дна (имеется только в глубоких озерах). *Литораль* – прибрежная область, в отличие от глубинной, имеет сравнительно однородный по вертикали температурный и кислородный режим. Частично это относится и к освещению. Вместе с тем на отдельных участках прибрежной зоны наблюдается и большее разнообразие. Суточные и сезонные колебания температуры в прибрежной зоне значительно больше, чем в глубинной. Зимой в умеренных широтах происходит замерзание воды, на отдельных участках озера до дна, летом – нагревание до 25–30° С. Разнообразие вносят геологические породы, слагающие тот или иной участок берега, различная крутизна склона дна, защищенность побережья от действия ветра, а следовательно, и волнения, большая или меньшая степень инсоляции и т.д. По этим причинам обитатели литорали отличаются от обитателей глубинной области и характеризуются большей дифференциацией. Для литорали характерно наличие высшей растительности, с которой тесно связана фауна прибрежной полосы. Присутствие крупных растений задерживает волнение и создает по берегам тихие участки, в которых температурный, кислородный, световой режим оказывается чрезвычайно благоприятным для существования животных в летнее время. Условия жизни *профундали* своеобразны: амплитуда колебания температуры здесь незначительна, содержание газов испытывает значительные колебания в течение года и определяется мощностью иловых отложений; освещение дна слабое.

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

Население озер. Организмы, обитающие в озерах, называются *лимнобионтами*. По видовому составу и обилию население озер сильно варьирует в зависимости от их географического положения, происхождения, особенностей строения котловины и гидрологического режима.

На формирование качества воды большое влияние оказывают *бактерии*, реагирующие на изменения проточности воды, насыщенности ее кислородом и загрязнение органическими веществами. Их численность определяется экологическими факторами среды. Так, в поверхностной

пленке воды, где происходит микроконвективное перемешивание ее самого верхнего слоя (*первая экологическая ниша*), уровень насыщения кислородом и питательными веществами высокий, а общая численность бактерий составляет от 0,3 до 4 млрд. клеток в 1 см³.

Вторая экологическая ниша в водоемах находится на глубине 20-50 см. Здесь происходит массовое развитие фитопланктона, что обусловлено оптимальным освещением. Благодаря стоковым, ветровым и дрейфовым течениям, которые хорошо перемешивают этот слой, интенсивность функционирования бактериопланктона здесь высокая.

Третья экологическая ниша совпадает с зоной термоклина, где вследствие большей плотности воды задерживаются частицы детрита и отмершие планктонные организмы, опускающиеся из верхних слоев воды на дно. В зоне термоклина резко возрастает численность бактериального населения.

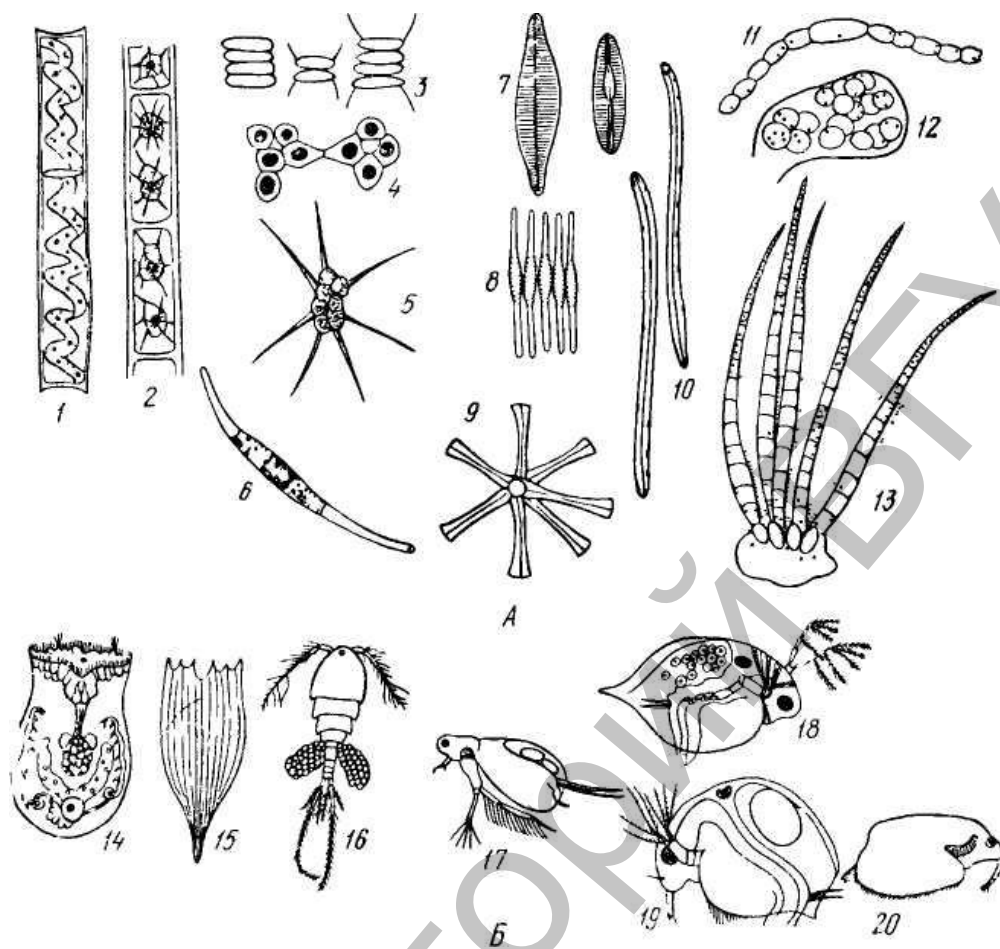
В придонном слое воды (*четвертая экологическая ниша*), где водообмен ограничен и имеются анаэробные застойные зоны, среди бактериального населения преобладают железобактерии, тионовые, метанокисляющие и водородокисляющие бактерии. Непосредственно в зоне контакта воды с дном преобладают сульфатредуцирующие бактерии и бактерии маслянокислого брожения.

В донных отложениях (*пятая экологическая ниша*) наиболее высокая общая численность бактерий, которых насчитывается десятки и даже сотни миллиардов клеток в 1 см³ влажного ила.

В мезотрофных озерах на некоторой глубине от поверхности ила происходит образование метана, редукция сульфатов и маслянокислое брожение. Этот слой ила характеризуется обедненным бактериальным населением и небольшим количеством других бентонтов, что связано с уменьшением концентрации органических веществ, биогенных элементов и высоким содержанием токсичных для гидробионтов соединений.

Планктон озер в отличие от речного, состоит почти исключительно из автохтонных элементов. Численность бактерий в 1 мл воды обычно достигает 1–3 млн. экз., актиномицетов – несколько десятков клеток. Из грибов наиболее многочисленны дрожжевые, по видовому разнообразию преобладают фикомицеты. В автотрофном планктоне наиболее обычны диатомовые, зеленые и синезеленые (рис. 1), причем в холодных озерах преобладают диатомовые, а в хорошо прогреваемых – зеленые и синезеленые (реже диатомовые и перидиниевые).

Зимой наблюдается минимум фитопланктона, стратификация в его распределении не прослеживается. Наблюдается *сезонная периодичность массового появления водорослей в озерах*, связанная с присутствием в воде различных биогенов.



**Рис. 1. Представители озерно-прудового планктона
(по Одуму, 1975).**

A - фитопланктон; Б - зоопланктон: 1 - Spirogyra, 2 - Zygnema, 3 - Scenedesmus, 4 - Coelastrum, 5 - Richtriella, 6 - Closterium, 7 - Navicula, 8 - Fragilaria, 9 - Asterionella, 10 - Nitzschia, 11 - Anabaena, 12 - Microcystis, 13 - Gloeothrichia, 14 - Asplanchna, 15 - Notolca, 16 - Macrocyclus, 17 - Diaphanosoma, 18 - Daphnia, 19 - Bosmina, 20 - Acantholeberis.

Весной начинается массовое размножение *диатомовых* (рис. 1, 7–10). Так, диатомовые весьма требовательны к железу, недостаток которого часто ограничивает их численность. Весной железа в воде озер относительно много, летом оно исчезает, а к осени снова появляется, в соответствии с чем, изменяется численность диатомовых. Зеленые и синезеленые зимуют в виде цист и спор, для превращения которых в вегетативные формы требуется некоторое время. Поэтому они развиваются в планктоне позже диатомовых.

Массовое развитие *зеленых водорослей* (рис. 1, 3–4) наблюдается летом, когда железа становится мало, а солей азота в результате распада отмирающих организмов много.

Еще позже появляются *синезеленые* (рис. 1, 11–13), менее требовательные к солям азота, чем зеленые. Это обусловлено, с одной стороны, зимовкой в стадии спор, а с другой – большой чувствительностью к токсичному для них марганцу, который концентрируется в грунте и во время весенней циркуляции в заметных количествах переходит в толщу воды. Размножение синезеленых возможно только после установления прочной летней стагнации, когда вынос марганца в воду со дна водоемов прекращается.

Биомасса водорослей в озерах мира колеблется в пределах от 0,0003 до 300 г/м³ и скорее зависит от биолимнологического типа водоемов, чем от их широтного положения.

Зоопланктон озер в основном состоит из бесцветных жгутиковых, инфузорий, коловраток, ветвистоусых и веслоногих рачков. В холодных озерах преобладают коловратки и веслоногие рачки, в то время как ветвистоусые немногочисленны либо вовсе отсутствуют. Из отдельных форм зоопланктона в озерах умеренных широт наиболее характерны инфузории *Tintinnus*, *Tuitinnopsis*, коловратки *Asplanchna*, *Polyarthra* и *Brachtonus*, ветвистоусые рачки *Daphnia*, *Bosmina*, *Chydorus* и *Diaphanosoma*, веслоногие *Diaptomus*, *Heterocope*, *Cyclops* и *Mesocyclops*. Численность инфузорий в различных озерах обычно достигает 20–30 тыс. экз/л, реже поднимается до 100 тыс. и более. Значительно выше (в 10–100 раз) численность бесцветных жгутиковых.

Наибольшего богатства зоопланктон достигает в середине лета, когда в массе развиваются водоросли, а затем, начиная с середины лета, его биомасса и численность обычно снижаются. Коловратки, как правило, появляются в значительных количествах раньше, чем ракообразные, и раньше перестают играть ведущую роль в зоопланктоне. Наибольшая численность и биомасса планктонтов наблюдается в поверхностных слоях, причем в разные сезоны года характер вертикального распределения несколько меняется. В наибольшей степени вертикальная стратификация зоопланктона выражена в теплое время года, в наименьшей – зимой.

Нейстон и плейстон в озерах представлены богаче, чем в других континентальных водоемах. На поверхностной пленке бегают клопы-водомерки *Gerris*, *Hydrometra*, *Velia*, жучки-вертячки *Gyrinus*, подуры, мухи *Ephydra*. По нижней поверхности пленки натяжения бегают жуки *Hydrophilidae* и клопы *Notonecta*, скользят моллюски *Limnaea*, *Cyclas* и рачки *Scapholeberis*, подвешиваются личинки комаров *Culex* и *Anopheles*, а также личинки многих других насекомых и рыб. На поверхности воды плавают погруженные в нее нижней частью листовой пластинки и корнями ряска, многокоренник, валлиснерия.

Бентос озер наибольшего видового разнообразия и количественно-богатства достигает в литорали, меньше его в сублиторали и особенно

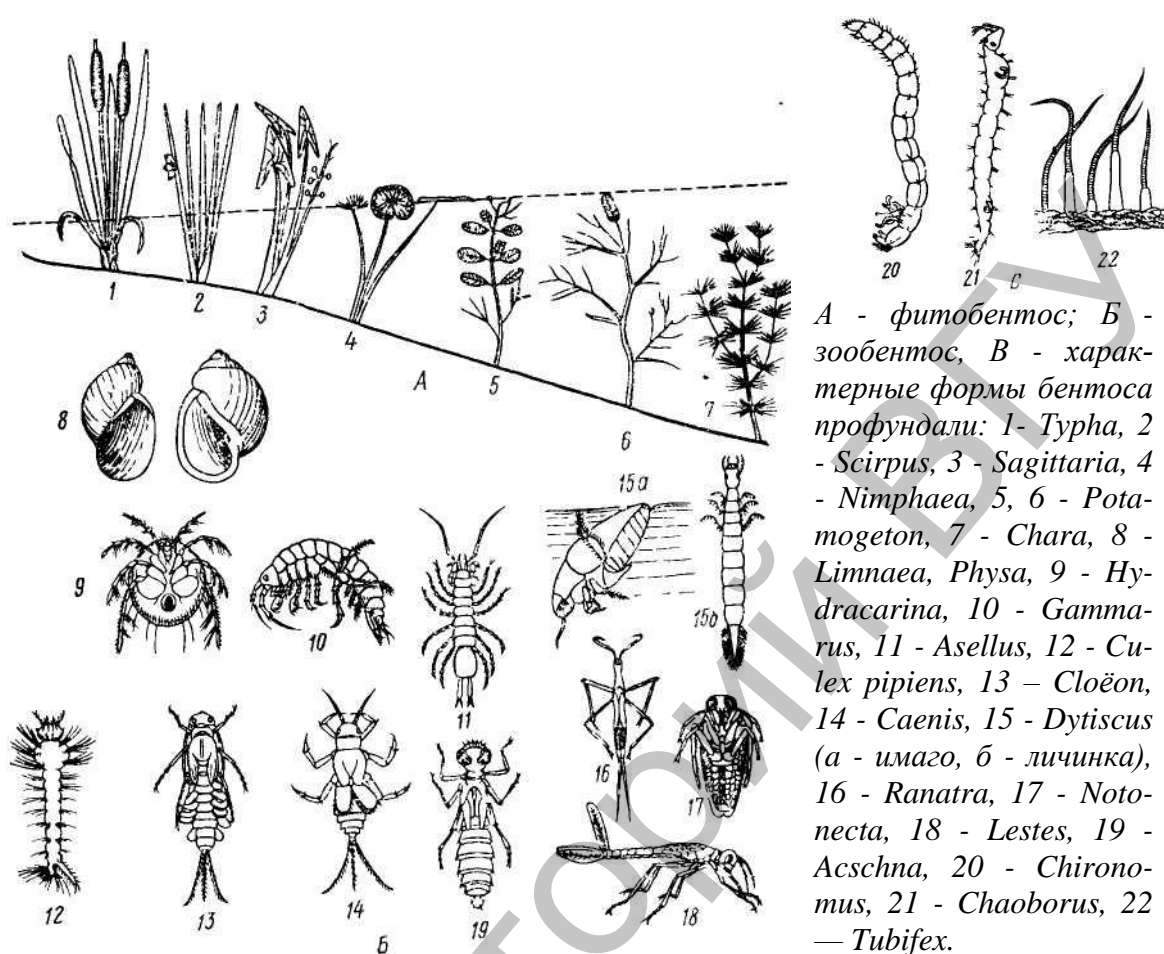
в профундали (рис. 2). Это объясняется тем, что донные зеленые растения произрастают в озерах только на мелководье, и потому глубинные зоны беднее пищей, необходимой гетеротрофным бентонтам.

В озерах средней полосы фитобентос обычно развивается в литорали и исчезает на глубине 4–5 м. В озерах с прозрачной водой, донные растения встречаются на глубинах до 25–30 м, а в отдельных случаях – глубже 45–50 м. Скалистая и каменистая литораль озер, равно как и открытые песчаные берега, обычно лишены зарослей макрофитов, которые появляются на более мягких грунтах, не подверженных действию сильного прибоя. У самого берега до 1–2 м глубины произрастают надводные растения – тростник, камыш, стрелолист, частуха, ежеголовник, рогоз и некоторые другие. Далее следует пояс растений с плавающими листьями, представленный кувшинками, кубышками, рдестами, гречихой земноводной и другими; растут они на глубинах до 2–2,5 м. Еще глубже продвигаются растения погруженные, среди которых наиболее характерны для наших озер многие рдесты, перистолистник и водяной лютик, находящиеся под водой целиком и лишь во время цветения выставляющие над нею свои соцветия. Наконец, на глубинах до 40–50 м встречаются водоросли и мхи, в частности *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Spirogyra*, *Chara*, *Fontinalis* и др.

Зообентос озер, подобно фитобентосу, наиболее богат в литорали и наименее – в профундали. В озерах умеренных широт на камнях прибойного побережья, покрытых водорослями, встречаются многие виды личинок насекомых, в частности хирономид *Cricotopus*, *Psectrocladius* и *Trichocladius*, ручейников *Apatelia*, *Apatania* и *Leptocerus*, поденок *Heptagenia* и веснянок *Perlodes*, а также моллюски *Radix ovata*, многие веслоногие рачки, водяные клещи, губки *Spongilla*, гидры *Pelmatohydra*, пиявки *Glossosiphonia* и *Piscicola*. Прибойная песчаная литораль заселена менее обильно и более однообразно, поскольку условия жизни здесь малоблагоприятны из-за отсутствия растений и подвижности грунта.

Для этого биотопа наиболее характерны олигохеты *Propappus volki*, личинки комаров *Bezzia* и *Culicoides*, круглые черви. В местах с более слабым прибоем к перечисленным животным добавляются личинки комара *Stictochironomus*, стрекозы *Onychogomphus*, ручейников *Molanna* и *Anabolina*, а также моллюски *Anodonta*. На заиленных грунтах бесприбойного побережья зообентос становится гораздо обильнее. В большом количестве здесь встречаются олигохеты *Tubifex* и *Peloscoclex*, личинки комаров *Chironomus*, *Glyptotendipes* и *Cryptochironomus*, поденок *Ephemera*, моллюски *Pisidium*.

Рис. 2. Представители озерно-прудового бентоса (по Одуму, 1975)



А - фитобентос; Б - зообентос, В - характерные формы бентоса профундали: 1- *Typha*, 2 - *Scirpus*, 3 - *Sagittaria*, 4 - *Nymphaea*, 5, 6 - *Potamogeton*, 7 - *Chara*, 8 - *Limnaea*, *Physa*, 9 - *Hydracarina*, 10 - *Gammarus*, 11 - *Asellus*, 12 - *Culex pipiens*, 13 - *Cloëon*, 14 - *Caenis*, 15 - *Dytiscus* (а - имаго, б - личинка), 16 - *Ranatra*, 17 - *Notonecta*, 18 - *Lestes*, 19 - *Acschna*, 20 - *Chironomus*, 21 - *Chaoborus*, 22 — *Tubifex*.

В сублиторали и профундали озер все большее место в донных осадках занимают илы, и соответственно возрастающему однообразию грунтов качественно обедняется донная фауна. Наиболее обычны здесь личинки комаров *Chironomus*, олигохеты *Tubifex*, *Limnodrilus*, *Ilyodrilus*, *Peloscoclex* и *Lumbriculus*, моллюски *Pisidium*. Обильны в грунте инфузории и другие представители микрозообентоса (веслоногие и ракушковые рачки, нематоды и др.). Биомасса и численность бентоса в сублиторали и профундали сравнительно невелики.

Перифитон озер в значительных количествах встречается на макрофитах, особенно в местах со слабым движением воды. На стеблях и листьях высших растений образуется налет водорослей, поселяется большое количество животных, особенно личинок комаров *Cricotopus* и других хирономид.

Нектон представлен почти исключительно рыбами; в больших озерах, таких, как Байкал или Ладожское, обитает несколько видов тюленей. Ихтиофауна озер в основном представлена жилыми, озерно-речными и проходными рыбами. Северные и высокогорные озера богаты лососевыми рыбами, в южных районах наиболее обычны карпо-

вые. По видовому составу наиболее разнообразно рыбное население олиготрофных озер, хотя в количественном отношении оно беднее, чем в озерах эвтрофных. В прибрежье озер ихтиофауна богаче и численность рыб выше, чем в открытой части водоемов, где хуже условия питания, а также меньше мест, пригодных для укрытия от хищников.

Фауна, обитающая в озерах Беларуси, достаточно типичная для Центральной и Восточной Европы. Нет в Беларуси эндемиков. Но есть другая особенность, преимущественно это касается озер на севере страны, в которых сохранилась ледниковая реликтовая фауна. Эти виды были занесены в наши водоемы 15 тысяч лет назад ледником, который наступал с Севера. Сегодня их основное местообитание – наименее соленые прибрежные зоны морей, например Балтийского, Белого, Баренцевого. У нас же представители ледниковой реликтовой фауны сохранились только в очень глубоких озерах с достаточно низкой температурой, как, например, на Браславщине, в Глубокском и Полоцком районах. Среди этих видов встречаются как беспозвоночные, так и позвоночные. Из рыб – нарочанская ряпушка. А в бассейне реки Вилия к нам по-прежнему заходят на нерест лососевые рыбы – кумжа и атлантический лосось, а также угорь. Сильно сократилось количество благородного широкопалого рака, который сегодня занесен в Красную книгу. Значительно уменьшилось число водоемов, где обитают реликтовые виды. Произошло это в основном из-за антропогенного загрязнения. Раньше в Беларуси насчитывалось четыре озера, где обнаруживали полный реликтовый комплекс. Сейчас осталось только одно – Южный Волос в Браславском районе. В нем встречаются все четыре вида морских беспозвоночных, которые занесены были к нам ледником. В других озерах из этих видов осталось только по одному-двум реликтовым видам. А в некоторых озерах они вообще исчезли. Число видов рыб пока не сокращается, но их численность падает. Некоторые виды, бывшие когда-то промысловыми, сейчас занесены в Красную книгу. Например, подуст или ряпушка, которая во многих озерах исчезла или численность ее резко сократилась.

6.2. Экосистемы рек и их зональность

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

Главными называются реки, которые впадают в океаны, моря или озера, все другие реки, впадающие в главные – *притоками первого порядка*. Притоки первого порядка являются притоками второго порядка и т.д. Главная река вместе с притоками всех порядков формирует *речную систему*, а ограниченная водораздельной линией площадь

суши, с которой в нее поступает вода, называется *водосборной площадью*. Часть земной поверхности, включая толщу почвогрунтов, с которой сток воды поступает в отдельную реку или речную систему, образует *речной бассейн*.

Зональность речной экосистемы (рис. 3). Реки текут в *долинах*, в которых наиболее низкая часть русла формирует *ложе реки*. *Тальвег* – непрерывная извилистая линия, соединяющая наиболее глубокие точки дна долины. Углубление ложа, заполненное проточной водой в меженный период, называется *коренным руслом*, или просто *руслом*. Та часть дна ложа, которая покрывается водой лишь во время наводнений и паводков, называется *пойменным руслом*, или *поймой*. Пойма представляет собой нижнюю террасу. В меженный период пойменное русло пересыхает и находится выше уровня воды; оно называется *пойменной террасой*. На склонах речной долины можно наблюдать остатки геологических пород речных русел в далеком прошлом. Их называют *надпойменными террасами*. Линия сопряжения склонов долины с поверхностью прилегающей местности называется *бровкой*. Строение речных долин, их форма, размеры оказывают большое влияние на ряд гидрологических процессов, происходящих в них, на свойства реки и особенности ее режима.

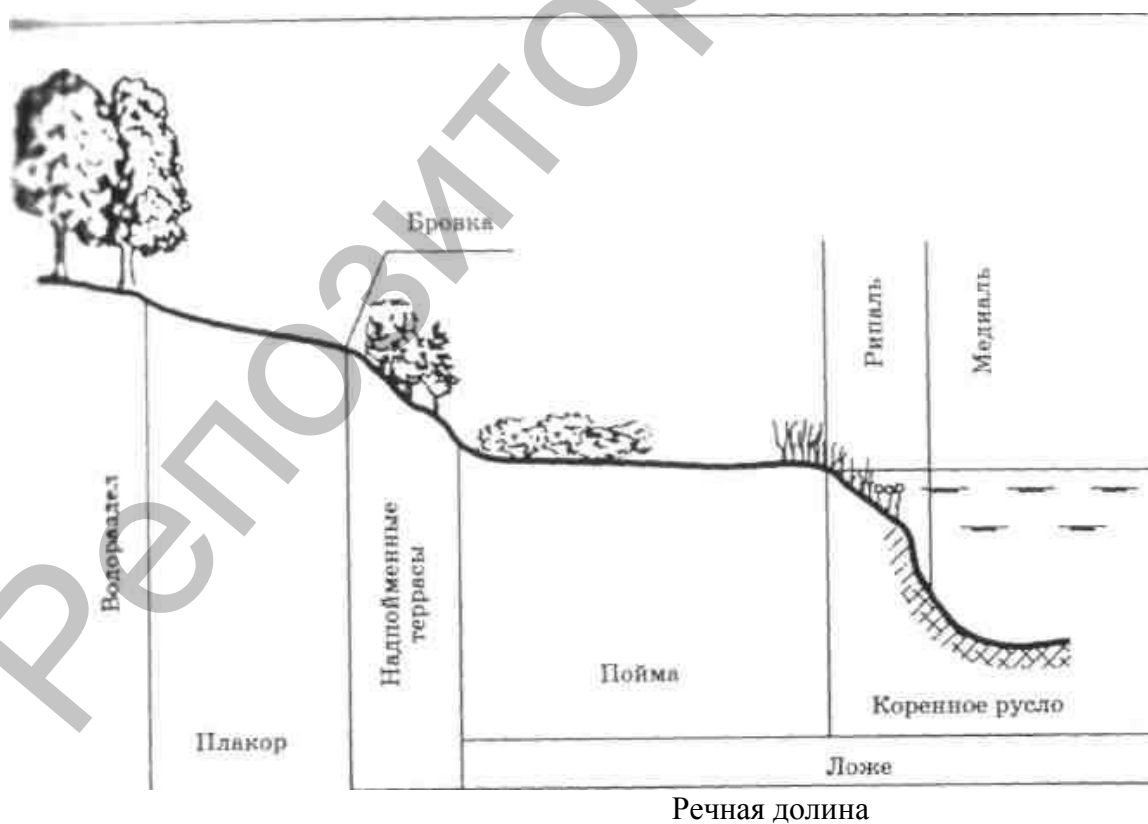


Рис. 3. Экологические зоны речной системы

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

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

В направлении от истоков к устью река имеет продольную зональность. Поток разделяют на верхнее, среднее и нижнее течения. В местах впадения реки в море значительные площади мелководий формируют *дельту* или узкие морские заливы – *эстуарии*. Уровень воды в реке, ее гидрохимический режим, скорость течения, прозрачность, наличие поверхностного стока, характер грунтов и другие абиотические факторы определяют особенности формирования живого населения речных экосистем. В связи с тем, что водные потоки способствуют размыванию грунтов или их эрозии, ложе рек в среднем течении приобретает извилистую форму. При этом образуются излучины, или *меандры*, реки.

Согласно *теории речного континуума* скорость течения, ширина и глубина реки закономерно изменяются от участков верхнего к участкам нижнего течения и устьевой области. От истока к устью закономерно снижается скорость течения и увеличивается температура воды, ширина и глубина русла. При этом на любом участке течения реки отмечаются зоны с различными характеристиками скоростей течения, глубины и ширины: чередование перекатов и плесов. *Перекат* – мелководный участок с достаточно быстрым течением. Дно перекатов свободно от ила и обломочного материала, поверхность твердая. Здесь встречаются преимущественно специализированные представители бентоса и перифитона, прочно прикрепленные или удерживающиеся за твердый субстрат. *Плеса* – глубоководные участки с медленным течением, в результате чего ил и различный обломочный материал оседают на дно, образуя мягкий субстрат. Эта зона неблагоприятна для обитающих на поверхности дна бентосных форм. Здесь живут роющие организмы, представители нектона и в некоторых случаях планктона.

Уровень воды в реке определяется соотношением поступления и расхода воды. Гидрологический режим реки определяется следующими фазами: половодье – самый высокий уровень воды в реке (как правило, весеннее половодье); межень – самый низкий уровень воды в реке (летняя и зимняя межень); паводки – незначительные подъемы воды в реке (осенние паводки). В реках, протекающих через озера или берущих в них свое начало половодий обычно не наблюдается, паводки обычно не достигают больших размеров - озера регулируют колебания уровня в реках.

Население рек. Население рек характеризуется значительным видовым разнообразием, что связано с их большой биотопической расчлененностью. Из отдельных экологических группировок значительного обилия в реках достигают планктон, бентос и нектон, слабее представлен перифитон, а нейстон и плейстон вследствие турбулентного движения воды почти полностью отсутствуют.

Планктон рек, или *реопланктон*, характеризуется гетерогенностью происхождения, так как образуется за счет автохтонных и аллохтонных элементов. Аллохтонный планктон, выносимый в реку из стоячих водоемов, попадая в новые условия, меняет свой облик. Фитопланктон выносится в реки сильнее, чем зоопланктон, а в последнем коловратки как менее активные пловцы представлены относительно богаче, чем ракообразные. В дальнейшем среди организмов реозоопланктона в более благоприятных условиях оказываются коловратки и ветвистоусые рачки, способные размножаться партеногенетически и потому не нуждающиеся в затруднительной в речных условиях встрече особей разного пола. Ветвистоусые рачки менее приспособлены к существованию в речных условиях. Минеральная взвесь засоряет их отцеживающий аппарат, а также, попадая в кишечник, ухудшает возможности питания и плавания животных.

Видовое разнообразие реопланктона обычно возрастает с продвижением от истоков к устью реки, особенно если река питается ледниковыми, болотными или родниковыми водами. В этих случаях в истоке она практически лишена фито- и зоопланктона, а в толще воды присутствует только бактериопланктон. С продвижением к устью реки и образованием придаточных водоемов, в которых развиваются планктонные водоросли и животные, реопланктон обогащается.

Важнейшее значение в реопланктоне имеют *бактерии*, численность которых в равнинных участках рек обычно колеблется от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов экземпляров в 1 мл. Численность бактерий в речной воде значительно меняется по сезонам, обнаруживая максимум во время пика паводка. Заметно повышается численность бактерий в реках ниже очагов загрязнения органическими веществами.

Фитопланктон рек. В реках умеренного климата среди планктонных водорослей наиболее богаты видами диатомовые и зеленые, далее следуют синезеленые и эвгленовые, золотистые, пирофитовые и желтозеленые. По численности часто резко преобладают синезеленые. Роль отдельных групп водорослей в фитопланктоне зависит от широты, от времени года и от индивидуальных особенностей рек. Например, диатомовых больше в северных реках, зеленых и синезеленых – в южных, зимой роль диатомовых по сравнению с зелеными и синезелеными выше, чем летом, при загрязнении воды повышается значение синезеленых. Из отдельных форм наибольшее значение в фитопланктоне рек имеют диатомовые *Melosira*, *Asterionella* и *Cyclotella*, зеленые *Closterium*, *Pediastrum* и *Scenedesmus*, синезеленые *Microcystis*, *Aphanizomenon* и *Anabaena*.

Зоопланктон рек. Среди планктонных животных наиболее многочисленны инфузории, количество которых может достигать 2–3 тыс. экз./л; наиболее обычны в наших реках виды родов *Tintinnidium* и *Tintinnopsis*. Крайне разнообразны и обильны по численности бесцветные жгутиконосцы. В некоторых небольших реках их количество достигает 10–20 млн. экз./л и более. Весьма многочисленны в толще воды коловратки, особенно *Keratella*, *Asplanchna* и *Brachionus*, ветвистоусые рачки, в частности *Daphnia*, *Bosmina*, *Ceriodaphnia*, и веслоногие, из которых чаще других встречаются *Cyclops*, *Diaptomus* и *Mesocyclops*.

Вследствие поступательного и турбулентного характера движения воды планктон в реках распределяется обычно довольно равномерно как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Количество планктона в реках на протяжении года сильно меняется, падая до минимума зимой и во время половодья вследствие разбавления талыми водами, почти не содержащими каких-либо организмов, за исключением бактерий. От весны к лету количество планктона вследствие размножения возрастает, испытывая вместе с тем заметные колебания при изменениях уровня воды. Когда уровень понижается, вода придаточных водоемов, богатых планктоном, поступает в русло реки, и реопланктон становится обильнее. Во время поднятия уровня вследствие притока дождевых вод или усиления таяния ледников зоопланктон количественно обедняется. После летнего максимума численность планктонных организмов начинает снижаться, что в первую очередь связано с переходом многих гидробионтов к покоящейся на дне стадии. С продвижением вниз по течению реки население пелагиали закономерно трансформируется. Соответственно падению скорости течения и осветлению воды фитопланктон равнинных рек обогащается. Среди животных ракообразные начинают все более доминировать над коловратками.

Бентос (рис. 4) преимущественно представлен животными; донные растения обильны только в реках с прозрачной водой. Образование прибрежных зарослей тормозится размыванием берегов, а также колебаниями уровня, вследствие которых растения часто оказываются вне воды и погибают.

Зообентос рек. 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. Поскольку понятие «биоценоз» предполагает взаимосвязь между организмами и между ними и неживой средой, то существование этой связи обычно трудно доказать, многие авторы предпочитают говорить о «группировках» или «комплексах» бентоса (как и планктона). По современной эколого-гидрологической классификации текущие воды делят на две большие группы: ритраль и потамаль.

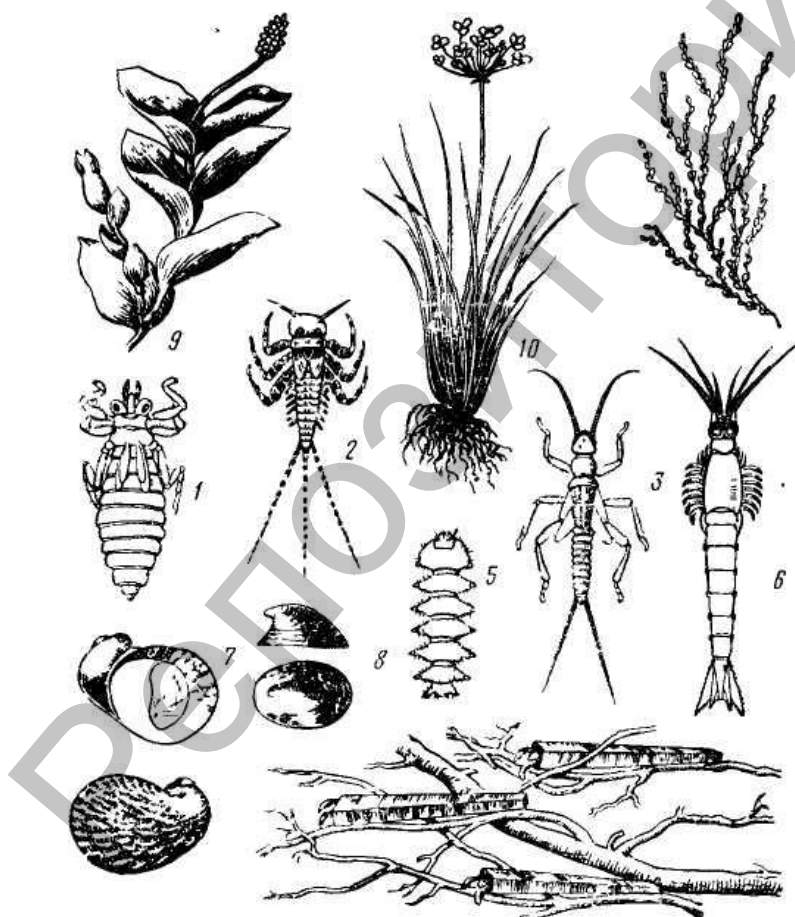


Рис. 4. Животные и растения, обитающие в текущих водах (по Жадину и Герду, 1961).

1 - личинка стрекозы *Gomphus*, 2 - личинка поденки *Heptagenia*, 3 - личинка веснянки *Nemura*, 4 - личинка ручейника *Brachycentrus*, 5 - личинка двукрылого *Vlepharocerus*, 6 - мизиды Ульского, 7 - речная лунка, 8 - речная чашечка, 9 - рдест пронзеннолистный, 10 - сусак, 11 - мох фонтиналис.

К **ритрали** относят примыкающую к роднику часть водотока с каменистым или гравийно-галечным грунтом, высокой скоростью тече-

ния, насыщенной кислородом водой и амплитудой среднемесячных температур до 20°C. Самую верхнюю ее часть принято также называть креналью, причем у нее бывают такие разновидности, как реокрен, геокрен и лимнокрен. К **потамали** относят примыкающую к ритральной нижней части водотока с песчаным, заиленным или илистым грунтом, сравнительно небольшой скоростью течения, амплитудой среднемесячных температур выше 20°C и частыми проявлениями дефицита кислорода. Границы между ритральной и потамальной зависят от климата региона. В зависимости от субстрата в водотоках развиваются различные **реофильные группировки зообентоса**.

Литореофильными формами являются многие водоросли, мох *Fontinalis*, губки и мшанки, ресничные черви, олигохеты и пиявки, личинки симулиид, ручейников, поденок, веснянок, хирономид и других насекомых, моллюски *Dreissena polymorpha*. Отдельные группы донной фауны приурочены к разным «этажам» речного грунта. Преимущественно на верхней стороне камней встречаются брюхоногие моллюски (прудовики и речные чашечки), личинки мошек, комаров-звонцов, жуков *Elmidae*, водяные клещи и малощетинковые черви *Saididae*. Главным образом на нижней стороне камней обитают гидры, пиявки, личинки ручейников (кроме *Silo pallipes*), поденок, веснянок и двукрылых. Ручейники *S. pallipes* населяют нижнюю и верхнюю сторону камней в равной степени. В толще подстилающего камни грунта обитают олигохеты *Propappidae* и *Tubificidae*, личинки двукрылых *Limoniidae* и двустворчатые моллюски *Pisidiidae*, *Euglesidae* и *Sphaeriidae*, единично встречаются личинки комаров-звонцов, жуков *Elmidae*, поденок *Baetidae*.

Аргиллореофильными являются главным образом роющие личинки поденок и ручейников.

К **псаммореофилам** относятся мелкие (реже среднего размера) организмы: бактерии, простейшие, коловратки, нематоды, олигохеты, высшие раки, моллюски. Бентос песчаных грунтов на течении обычно довольно разнообразен, но количественно беден.

Пелореофильные организмы – простейшие, коловратки, нематоды, олигохеты, личинки хирономид и моллюски. Зообентос заиленных грунтов характеризуется высокой биомассой и сравнительно небольшим видовым разнообразием, по типу питания это обычно детритофаги и грунтоеды.

Фитореофильные группировки характеризуются высокой биомассой и видовым разнообразием. Своеобразно население глубинных горизонтов грунта (10–30 см) – гипореос, которое часто количественно и качественно богаче поверхности дна.

Под влиянием экстремальных природных факторов (паводок, гипертрофикация в результате засухи, промерзания, пересыхания) донное

население значительно обедняется или исчезает полностью. Возобновление зообентоса происходит довольно быстро при наличии достаточного количества рефугиумов, количество которых обычно увеличивается вниз по течению. Наибольшую роль в восстановлении речного зообентоса после экстремальных природных явлений играет способность многих зообентонтов к анабиозу, наличие наземных расселительных стадий амфибиотических насекомых и дрейф (снос). Интенсивность активного дрейфа эконосиртона (донных организмов, всплывающих самостоятельно) определяется плотностью населения, его составом, обилием пищи, неблагоприятными условиями среды и биологией вида. Пассивный дрейф эвсиртона (форм, вымываемых из грунта) в основном зависит от скорости течения потока и устойчивости грунта.

Таким образом, зообентос водотоков необходимо рассматривать в контексте концепции речного континуума. Распределение бентоса в реках отличается закономерным изменением его видового состава и биомассы от истока к устью и с продвижением от берегов к стрежню. Характер этих изменений в реках разного типа и их различных участках неодинаков. В горных реках, где преобладают литореофильные организмы, бентос поперек русла распределяется довольно равномерно как по видовому составу, так и в количественном отношении. В равнинном течении по направлению к середине русла биомасса организмов бентоса обычно падает, но их численность часто возрастает. Это объясняется тем, что в прибрежье грунты богаче органическим веществом, течение медленнее, и здесь могут существовать сравнительно крупные организмы, поскольку им не грозит снос и пищи достаточно. Ближе к стрежню реки удерживаться на течении могут только мелкие формы, прикрепляющиеся к песчинкам, и немногие крупные формы, зарывающиеся в песок. В низовьях равнинных рек в связи с однообразием встречающихся здесь грунтов распределение бентоса поперек русла снова становится более равномерным как в видовом, так и в количественном отношении.

Перифитон в основном слагается из форм, поселяющихся на мхах и цветковых растениях, среди которых в реках наиболее часто встречаются рдесты, камыш, тростник, кубышка, роголистник, стрелолист. На их поверхности живут многочисленные бактерии и водоросли, простейшие, личинки насекомых, особенно хирономид и симулиид, губки и мшанки, некоторые олигохеты.

Нектон в основном представлен рыбами, видовое разнообразие которых особенно велико в реках низких широт. Из жилых рыб в реках умеренных широт наиболее характерны стерлядь, форель, лещ, густера, щука, судак, налим, окунь, из проходных – белуга, осетр, севрюга, семга, дальневосточные лососи, из полупроходных – вобла, та-

рань, усач и др. Из nektonных ракообразных можно назвать обитающих в низовьях Амура креветок *Leander modestus*.

Экология малых рек. Малые реки уже давно стали модельным объектом для исследований по целому ряду наук и, прежде всего, по гидробиологии и гидроэкологии. Этому в немалой степени способствуют особенности этого водного объекта и его экосистем: наличие постоянного стока; наличие связи с большими водотоками и стоячими водоемами; высокая динамичность; тесная связь с ландшафтом и наземными системами; исключительное биотопическое разнообразие на сравнительно небольшом пространстве; высокая скорость сукцессии; большая чувствительность к естественным и антропогенным воздействиям; сравнительно высокий уровень разработанности методик проведения наблюдений с взятием количественных проб по всем группам гидробионтов. Малые реки относятся к самому многочисленному типу водных объектов и категории водотоков. Малая река – интуитивно выделяемый этносом территории водный объект длиной 20–200 км и площадью водосбора 10–10000 км² с особым характером гидрологических процессов, отражающим преимущественно воздействие местных факторов на формирование стока (Алексеевский А.В., 1998).

По происхождению на территории Беларуси выделяют три типа речных долин малых рек:

1 тип – долинные реки, образованные ледниковыми потоками и затем преобразованные современной речной сетью.

2 тип – реки, образованные благодаря системе проточных озер, возникших в результате отступления последнего оледенения. Речные долины имеют озеровидные расширения, обычно заболоченные.

3 тип – речные долины, возникшие благодаря освобождению территории от четвертичного оледенения. Местом зарождения рек становились наиболее высокие по абсолютной высоте площади – гидрографические узлы.

Реки первых двух типов имеют небольшие уклоны, сильно меандрирующие русла и заиленное дно; реки третьего типа имеют значительное падение, изломанный продольный профиль, узкие долины, быстрое течение, перекаты, дно устлано валунами.

На видовой состав и трофическую структуру гидробионтов, морфометрические, гидрологические и химические параметры среды влияют такие факторы, как естественно-гидрологические (климат, морфометрия русла, гидрологические условия и др.); антропогенные факторы (загрязнение стоками, преобразование площадей водосбора); зоогенные (колонизация поселения птиц, жизнедеятельность бобров). Для экосистем малых рек средообразующая деятельность бобров имеет ключевое значение. Наиболее важные формы воздействия бобров на окружающую среду:

1) Трофическое воздействие бобров и его значение для прибрежных экосистем (спектр питания, сезонная, межгодовая и географическая изменчивость, предпочитаемые корма, размерная избирательность).

2) Строительная деятельность бобров и ее значение для малой реки (количество, размеры и продолжительность существования бобровых плотин, количество накопленной воды и седиментов, влияние на общий баланс водосборного бассейна, интенсивность роющей деятельности).

3) Древесина, попадающая в водоем в результате деятельности бобров (сваленные деревья, запасы корма, завалы).

4) Сукцессионные изменения, вызванные деятельностью бобров.

5) Возможные механизмы обратной связи среда – бобр.

Следует отметить, что распределение планктона и бентоса по продольному профилю равнинных медленнотекущих малых рек не соответствует закономерностям теории речного континнума (нарастание количественного обилия и качественного состава организмов от верховой к участкам среднего и нижнего течения). Оно описывается концепцией динамики пятен и определяется антропогенными и зоогенными нарушениями, способствующими образованию специфических биотопов. Уровень развития организмов в них зависит от внешних элементов (зарослей макрофитов, органического и биогенного загрязнения, жизнедеятельности бобров) и не зависит от местоположения по продольному профилю водоема.

Например, сразу же после строительства бобрами плотин и образования прудов наблюдается быстрое увеличение численности и биомассы зоопланктона в малых реках. Напротив, показатели видовой разнообразия, численности и биомассы бентосных организмов после появления в реках бобров падают; затем эти показатели растут, но видовой состав и пищевые сети существенно изменяются. Разнообразие ассоциаций, численность и биомасса рыб в молодых прудах и в прудах, в которых бобры были активны, исключительно низкие. Возможно полное исчезновение рыбы, что, скорее всего, связано с низким уровнем растворенного в воде кислорода и большой закисленностью. Из «бобровых рек» могут полностью исчезнуть планктоноядные рыбы, большая часть которых чувствительна к этим параметрам. Пищевые сети в реках, заселенных бобрами существенно упрощаются.

Концепция динамики пятен. Пятна в малых реках – биотопы, существующие разный временной интервал, имеющие отличительные гидрологические и гидрохимические режимы, в которых развиваются специфические сообщества водных растений и животных. Уровень развития сообществ гидробионтов в пятнах будет зависеть от местоположения пятна в континнуме только в ненарушенных реках, где пятнами признаются естественные рефугиумы (глубокие проточные ямы, расщелины, затишные участки русла). **Рефугиумы** – пятна в ко-

торых, как правило, редкие и «полезные» виды переживают неблагоприятные условия, способны возобновлять свою численность. Но такая закономерность не проявляется, если пятна возникают в результате антропогенных или зоогенных факторов. Например, при избыточной биогенной нагрузке образуется специфический биотоп – заросли макрофитов. При этом количественное обилие и качественный состав зоопланктона и других организмов в пятне не зависит от их местоположения по профилю реки. При зоогенных нарушениях (бобры) создаются специфические дискретные образования – пруды, изменяются освещенность, морфометрия и проточность. При непрерывном каскаде прудов максимальное количественное обилие зоопланктона будет в верхнем пруду на участке верхнего течения, а максимальное видовое разнообразие в нижних прудах.

6.3. Экологическая характеристика и зональность водохранилищ

Водохранилища – это искусственные водоемы с полным объемом задержанных водных масс более 1 млн. м³, созданные с использованием водоупорных сооружений в долинах рек или в понижениях местности для накопления и сохранения воды, а также регулирования стока. По способу образования водохранилища делятся на *речные* (образуются в результате затопления русел и долин рек), *озерные* (создаются путем обволочивания или подпора озер), *наливные* (сооружаются в понижениях рельефа, куда по каналам подводят избыточные паховодковые воды).

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

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

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

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

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

Фонд водохранилищ Беларуси представлен в основном малыми водохранилищами; большинство созданных водохранилищ – руслового типа, в южной части Республики много наливных водохранилищ; в

северной части широко представлены озерные водохранилища; преобладают водохранилища с сезонным регулированием. Водоохранилища в основном располагаются не на главных реках (Днепр, Неман, Западная Двина), а на притоках первого-третьего порядка. Наибольшее количество водохранилищ создано в бассейне Днепра.

По назначению выделяют пять основных классов водохранилищ:

1) Водоохранилища, созданные для водоснабжения населения, коммунального хозяйства и промышленности (Вилейско-Минская водная система, Солигорское, Ольховское водохранилища).

2) Водоохранилища сельскохозяйственного назначения.

3) Водоохранилища ГЭС.

4) Рыбохозяйственные водохранилища.

5) Рекреационные.

Экологическая зональность водохранилищ. Весь объем водохранилища подразделяют на *полезный*, который может срабатываться, и *мертвый*, из которого попуски невозможны (рис. 5). Важные параметры водохранилища – *нормальный подпорный уровень* (НПУ), *уровень мертвого объема* (УМО) и *форсированный подпорный уровень* (ФПУ), допустимый на краткое время при пропуске очень высоких паводков. На разных (по длине) участках водохранилища отметки уровня воды неодинаковы.

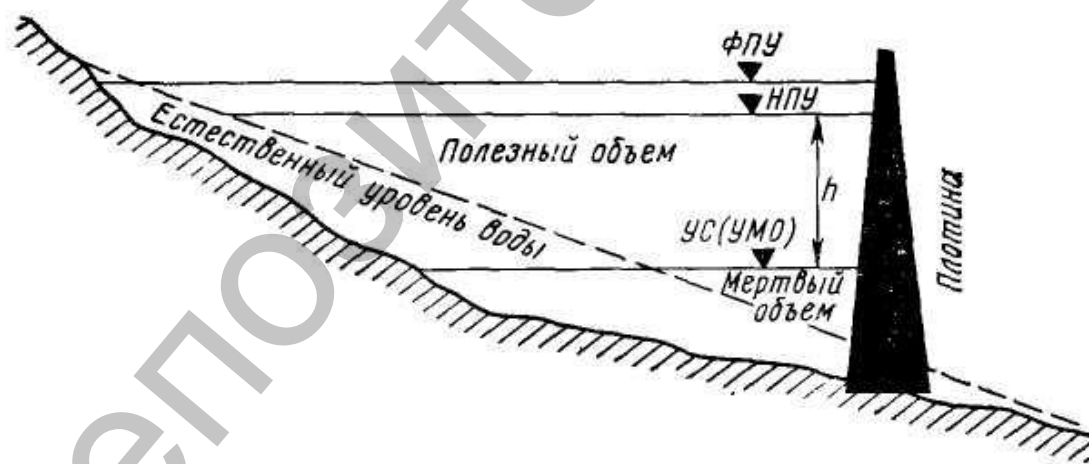


Рис. 5. Уровни и водные объемы водохранилища.

ФПУ - форсированный подпорный уровень, УМО - уровень мертвого объема, НПУ - нормальный подпорный уровень.

Наибольшие глубины наблюдаются в затопленном русле; с продвижением от верхнего участка к приплотинному они возрастают.

Характерная особенность водохранилищ – частые и притом значительные колебания уровня, связанные с особенностями режима запасаения воды и ее расхода. В результате этого большие прибрежные участки освобождаются от воды и летом высыхают, а зимой промер-

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

Особенности населения водохранилищ. По видовому составу и количественному богатству население водохранилищ занимает 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.

Процесс формирования фауны водохранилища на больших равнинных реках проходит три стадии. *Первая* из них – разрушение существовавших до затопления реофильных, фитофильных и других группировок организмов и заселение затопленной суши и толщи воды экологически разнородным населением. *Вторая стадия* – образование временных группировок: в бентосе – массовое заселение в первое же лето всего дна водохранилища личинками хирономид, в зоопланктоне – массовое появление, также в первое лето, рачков и коловраток. *Третья стадия* формирования бентоса приурочена к завершению распространения по затопленной суше гомотопной фауны, что в основном наступает через 3–4 года после затопления и сопровождается

сильным снижением биомассы бентоса. Для третьей стадии характерно уменьшение видового разнообразия зоопланктона.

Планктон сформировавшихся водохранилищ состоит в основном из бактерий, синезеленых, диатомовых и зеленых водорослей, инфузорий, коловраток и ракообразных. Бактерий содержится несколько больше, чем в реках. 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. Зоопланктон водохранилищ преимущественно представлен бесцветными жгутиковыми, инфузориями, коловратками, ветвистоусыми и веслоногими рачками. В верховьях водохранилищ, где речной режим выражен сильнее, преобладают коловратки, с продвижением к плотине все большее значение приобретают ракообразные. В годы с высоким уровнем воды относительное значение коловраток повышается, ракообразных – снижается. В водохранилищах с мутной водой условия жизни зоопланктона резко ухудшаются, и иногда он может существовать только в приплотинном участке или даже вовсе отсутствует.

Бентос и перифитон обильны в водохранилищах, образованных на реках с прозрачной водой, и значительно беднее, когда вода мутная и дно засыпается осадками в результате выпадения минеральной взвеси. В мелких водохранилищах, занимающих обширные площади, условия существования бентоса могут резко ухудшаться из-за неустойчивости грунта, так как нередко он сильно взмучивается во время ветрового перемешивания воды. Фитобентос представлен преимущественно прибрежными зарослями, среди которых наиболее обычны гречиха водяная, рдесты, камыш, тростник, осоки, рогоз, уруть, кувшинка и кубышка. В мутноводных водохранилищах прибрежные заросли представлены слабо из-за недостатка света и неустойчивости грунтов. Мало прибрежных макрофитов и там, где сработки уровня воды значительны и носят резкий характер, что ведет к длительному обсыханию осушной зоны и практически полной гибели находящихся здесь гидрофитов. Зообентос в отличие от речного характеризуется значительно большей ролью вторичноводных организмов, представленных главным образом личинками насекомых, в частности хирономид. Преобладают организмы, менее требовательные к кислороду, и только в верховьях водохранилищ встречаются настоящие реофильные формы. Соответственно этому с продвижением из верховьев к припло-

тинному 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. Состав донного населения водохранилищ сильно зависит от того, каким он был в исходном водоеме.

Нектон практически представлен только рыбами, среди которых исключительное или почти исключительное значение имеют жилые. 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.

6.4. Экологические особенности болот

Общая характеристика болот. *Болота* представляют собой неглубокие скопления воды, частично или полностью закрытые сверху растительностью. Характерный и обязательный признак болот – образование торфа из отмирающего мха и других гидрофильных растений. Болота образуются при заиливании и зарастании озер, а также в результате заболачивания суходолов в понижениях рельефа при их переувлажнении. Выделяют шесть геоморфологических типов болот: пойменные (их разделяют еще на притеррасные и плавневые), старорусловые, долинные, котловинные, болота склонов, или «висящие», и болота подножия склонов, встречающиеся в горной и холмистой местности.

Болота могут различаться не только по геоморфологическим признакам, но и по характеру растительности и положению на местности – верховые (олиготрофные), переходные (мезотрофные) и низинные (эвтрофные). Роль климата в развитии болотной растительности в направлении с севера на юг Беларуси снижается, а значение геологическо-гидрологических факторов возрастает. Это выражается в том, что превышение осадков над испаряемостью существенно только на севере Беларуси, постепенно снижается в центральных районах, а в Полесье испаряемость превышает осадки. Превышение осадков над испаряемостью – основной фактор, определяющий развитие верхового процесса болотообразования при отсутствии достаточного стока. Отсюда основная черта, обуславливающая зональность болотной растительности Беларуси: резкое снижение распространения верховых олиготрофных болот в направлении с севера на юг.

Вода низинных и верховых болот отличается по химическому составу. **Верховые болота** питаются в основном атмосферными водами, в которых концентрация минеральных веществ очень низкая. Вследствие постоянного промывания слабоминерализованными атмосферными осадками болотные почвы теряют значительную часть щелочных элементов и приобретают кислую реакцию. Почвы и вода этих болот характеризуются особенно низким содержанием кальция, магния и бикарбонатов. В то же время в их составе постоянно содержится железо, марганец, гуминовые кислоты. Верховым болотам свойственна кислая реакция воды, рН которой колеблется в пределах 3,6–4,5 и меньше. Концентрация фосфора очень низкая, и находится он главным образом в форме труднодоступных для усвоения растениями органических соединений. Верховые болота имеют довольно широкое распространение. Около 80% всех верховых болот Беларуси сконцентрировано в Поозерье. Они занимают 155,6 тыс. га, или 29,5% площади болот региона, из них 83,1 тыс. га (53,4%) – открытые и 72,5 тыс. га (46,2%) – лесные. В Поозерье размещены такие крупные массивы верховых болот как Ельня, Жады, Долбенишки, Грибловский Мох, Чистый Мох, Голубицкая пуца, Освейское. В профиле эти болота, как правило, выпуклые, мощность торфа здесь достигает 12–14 м. В центре формирования этих болот развиваются мочажины, иногда озерки, чередующиеся с грядами, вытянутыми, как правило, с востока на запад, т.е. развиваются типичные для восточноевропейских болот грядово-озерково-мочажинные комплексы.

В отличие от верховых, в **низинных болотах** минерализация воды и почвы более высокая, что обусловлено их питанием за счет грунтовых вод и поверхностного стока. Растворенные органические вещества имеют почвенное происхождение и представлены преимущественно фульвокислотами, придающими воде желто-бурый оттенок. Низинные болота располагаются в понижениях рельефа, поверхность их вогнутая или плоская, в питании основную роль играют грунтовые воды, речные разливы, поверхностный сток и атмосферные осадки. Низинные болота на территории Беларуси распространены довольно широко. Они занимают 250,8 тыс. га (47,7%), в том числе открытые – 177,9 тыс. га (70,9%) и лесные – 72,9 тыс. га (29,1%). Они, как правило, развиваются в виде крупных массивов (Обольский, Осинторф, Козьянский, Оттоловский, Антопольский, Докшицкий и др.).

Переходные болота развиваются, как правило, в сопряжении с верховыми болотами, т.е. на одних крупных болотных массивах, на стыке верховых торфяников с минеральной канвой массивов. Переходные болота по рассматриваемым признакам занимают промежуточное положение.

Для болотных массивов характерно наличие внутриболотных водных объектов: ручьев, рек, озерков, микроозерков и топей. Совокупность этих водных объектов на болотах представляет собой *внутриболотную гидрографическую сеть*. Болотные озера могут быть значительными по объему и площади. Площади их часто измеряются несколькими, иногда десятками квадратных километров, а глубины достигают 10 м и более. Поверхность их либо чистая, либо покрыта сплавидами. Озерки и микроозерки встречаются на болотных массивах обычно большими группами: десятки, иногда сотни озерков. Располагаются они на склонах болотных массивов – в местах изменения уклона поверхности болота, где приток воды со склонов вышерасположенных участков болота не компенсируется оттоком при низких горизонтах, а также в понижениях рельефа. Болотные водотоки представляют собой заторфовывающиеся и зарастающие ручьи и реки, либо существовавшие до образования болотного массива, либо возникшие в процессе развития массива и выработавшие собственный рельеф. Ручьи и реки часто вытекают из болотных озер и топей. Глубина русла их не превосходит 1,5–2,0 м; в редких случаях она достигает 3,0–3,5 м; ширина русла обычно не более 10 м. Иногда ручьи текут под моховым покровом и лишь местами выходят на дневную поверхность. Топями называют сильно переувлажненные участки болотных массивов, характеризующиеся разжиженной торфяной залежью, непрочной дерниной растительного покрова и высоким стоянием уровня воды, периодически или постоянно выступающей на поверхность. Топи располагаются на плоских участках в центральных частях, на окраинах и склонах болотных массивов.

Гидробионты болотных экосистем. В верховых болотах, где чередуются увлажненные и более сухие участки (комковатые), растительность представлена как гигрофитами, так и ксерофитами. На торфяных почвах с повышенной кислотностью хорошо растут сфагновые мхи (*Sphagnum fascium*, *Sph. medium*, *Sph. balticum* и пр.). Здесь встречаются мелкие кустарнички Кассандры, или хамедафны чашечной (*Cassandra calyculata*), голубики (*Vaccinium uliginosum*), багульника обыкновенного (*Ledum palustre*), клюквы (*Vaccinium oxycoccos*). *Фитопланктон* состоит, в основном, из золотистых (виды динобрион раздвоенный, синюра ягодковая, маломонас хвостатый) и криптофитовых (криptomonас яйцеобразный) водорослей, биомасса которых наибольшая весной и в осенний теплый период. Летом на смену им приходят десмидиевые водоросли (бамбузина Бребиссона, микроастериас срезанный и др.). В верховых болотах на протяжении весны и осени регистрируется значительная численность и биомасса диатомовых (эвнотиа полумесячная, фрустулия ромбовидная и др.) и некоторых хлорококковых (ооцистис единичный) водорослей. Иногда в этих бо-

лотах встречаются сине-зеленые водоросли (стигонема очкастая). В отличие от верховых, в фитопланктоне низинных болот доминируют зеленые вольвоксовые, хлорококковые, эвгленовые и синезеленые водоросли. В целом же в болотных водах, имеющих низкую концентрацию биогенных элементов и высокую кислотность, условия для развития фитопланктона неблагоприятные.

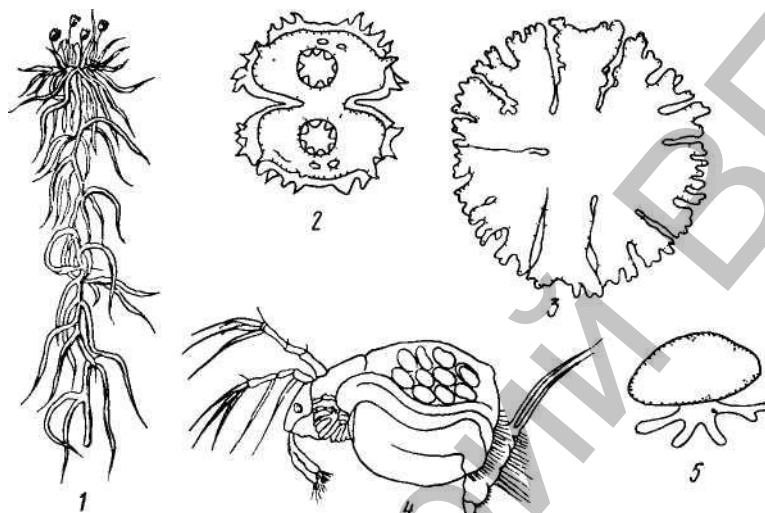


Рис. 6. Представители населенных болот

1 - *Sphagnum*, 2 - *Xanthidium*, 3 - *Murasterias*, 4 - *Macrotrix*, 5 - *Arcella discoides*.

Зоопланктон верховых болот наиболее широко представлен коловратками. Из них чаще всего встречаются керателля болотная, керателля Вальга, полиартра платиптера. Типичными представителями зоопланктона низинных эвтрофных болот с нейтральной или слабощелочной водой являются ветвистоусые и веслоногие ракообразные (акантоциклоп зеленый, диаптомус большой, макроциклоп беловатый). В мезотрофных болотах, в зависимости от особенностей гидрохимического состава воды и почвы, могут встречаться гидробионты, свойственные верховым и низинным болотам.

Видовой состав зообентоса в болотах очень беден, что обусловлено низким содержанием кислорода, наличием метана в придонных слоях воды и выходом других токсических газов из-под залежей торфа. Типичные болота практически не имеют сформированной ихтиофауны. Это объясняется не только химическим составом воды, но и изолированностью болот от других водоемов, где размножаются рыбы.

В болотах живут и *специфические организмы*, которые можно рассматривать как индикаторные. Так, в верховых болотах, при общей низкой биопродуктивности и низком биоразнообразии, обнару-

живаются клещи *Lohmannella violacra* и насекомые рода *Lencorhina*, обитающие только в этих условиях.

Осушение болот и их экологические последствия. В связи с осушением больших территорий существенно преобразовалась гидрографическая сеть, изменились морфометрические характеристики водных объектов. Спрявление рек привело к резкому снижению их извилистости, площади водной поверхности, скоростей течения, падению уровня грунтовых вод. Произошли изменения общего баланса воды на больших территориях, снизился ее уровень в реках, что сопровождалось в ряде случаев их пересыханием. Осушительная мелиорация негативно отразилась и на режиме сохранившихся болот. Снижение уровня грунтовых вод привело к более частому появлению пожаров, выгоранию верхних слоев торфа, что сопровождалось изменением видового состава растительных сообществ, ухудшению условий для обитания наземных животных и птиц.

Понижение уровня грунтовых вод не только на осушенных, но и на сохранившихся водно-болотных угодьях ведет к прогрессирующему зарастанию открытых болот и лугов кустарниками и мелколесьем. Вовлечение больших площадей осушенных земель для выращивания зерновых и пропашных культур привело к резкой их химизации, а нарушения агротехнических требований к использованию таких земель – к их деградации. На фоне изъятия торфа на больших площадях заболоченных территорий, превращение осушенных болот в агроландшафты, возрастание их химического загрязнения, обусловленного применением минеральных удобрений и ядохимикатов, привело к прямому уничтожению мест обитания болотных растений и животных. Осушение большей части болот сопровождалось не только сокращением их мест обитания, но и нарушением естественных миграционных путей, что сразу отразилось на их видовом составе и численности.

Так, только на территории Республики Беларусь в результате осушения низинных болот исчезло 11 видов болотных растений, а встречаемость 115 видов резко сократилась. Нависла угроза сокращения численности водно-болотных птиц, в том числе обитателей верховых и переходных типов болот. Для Белорусского Поозерья типично формирование озерно-болотных комплексов, у которых озера, болота и суходольные склоны местных водосборов имеют общий гидрологический режим и функционируют как единая экосистема. Поэтому ученые к уже охраняемым болотам предлагают целый ряд болот, являющихся компонентами единых озерно-болотных, озерно-болотно-речных экосистем. В Беларуси впервые составлен Красный список болот, куда вошло более 200 объектов. В него включены болота: соответствующие критериям международной значимости и представляю-

щие собой специфический тип водно-болотного угодья, редкого или необычного (уникального) для данного биогеографического региона; входящие в состав заповедников, национальных парков, заказников различного назначения (гидрологические, зоологические, ботанические, клюквенники и др.), а также болота и торфяные месторождения, являющиеся частями озерно-болотных комплексов, и на которых запрещено изменение водного режима.

В настоящее время в Беларуси начали развиваться новые биосферносовместимые методы использования природных ресурсов болот по четырем направлениям: экологическому, культурно-рекреационному, агрономическому и энерготехнологическому. **Экоболотоводство** – сохранение в естественном состоянии или восстановление антропогенно уничтоженных болотных экосистем с целью поддержания экологического равновесия в природно-территориальных комплексах; водного баланса, гидрологического режима, качества поверхностных и грунтовых вод, микроклимата, состава атмосферного воздуха, создания противоэрозионных, геохимических и санитарно-гигиенических барьеров, сохранения генофонда растительного и животного мира, а также процесса торфообразования.

6.5. Экология подземных вод.

Из подземных вод наибольшее значение в качестве биотопа гидробионтов имеют грунтовые воды. К ним относятся *пещерные, фреатические* и *интерстициальные*. Первые приурочены к крупным пустотам в земной коре. Фреатические воды заполняют трещины и капилляры глубоких слоев земли, а интерстициальные – капилляры между частицами поверхностных песчаных отложений.

Пещерные воды. Своеобразие абиотических условий пещерных вод определяет крайнюю характерность их населения. *Специфические условия, определяющие своеобразие населения пещерных вод:*

- Отсутствие света. Свет в пещерах есть только вблизи входов и обычно совершенно исчезает через несколько десятков метров, особенно если пустоты образуют крутые извилины.
- Сравнительно постоянная низкая температура. Температура пещерных вод почти постоянна на протяжении года, если они находятся в пустотах, слабо сообщающихся с атмосферным воздухом. Если пещеры хорошо вентилируются, температура их воды колеблется по сезонам, но не столь значительно, как на поверхности. Не прогреваемые солнцем пещерные воды, как правило, отличаются низкой температурой. Только в очень глубоких пещерах в связи с повышением температуры Земли водоемы могут быть теплыми.
- Солевой состав подземных вод обычно отличается высокой концентрацией ионов кальция и магния, т.е. повышенной жесткостью.

Если пещерные ходы находятся в песчанистых или галечных отложениях, вода меньше минерализована.

- Газовый режим пещерных вод часто характеризуется пониженным содержанием кислорода, так как фотосинтетическая аэрация отсутствует, а проникновение газа из атмосферы нередко крайне ослаблено.

Состав населения пещерных вод, прежде всего, зависит от степени их освещенности. В эвфотической зоне преобладают случайные вселенцы, *троглоксены*. Основным источником пищи здесь – растения и их остатки. В олигофотной зоне преобладают *троглофилы*, биомасса организмов здесь меньше, в значительном количестве развиваются синезеленые и бактерии. Обитатели афотической зоны – истинные троглобионты, для которых характерны стенотермность и эврифагия, представлены бактериями, простейшими, ракообразными, некоторыми моллюсками и амфибиями. Фауна состоит почти исключительно из первичноводных животных, среди которых очень много эндемичных видов. Наиболее разнообразны в видовом отношении веслоногие рачки *Harpacticoida*, бокоплавы и креветки, сравнительно немногочисленны моллюски, единичными формами представлены коловратки, пиявки и полихеты. За исключением недавних вселенцев, население пещер состоит из очень древних форм, представляющих собой остатки фаун, давно погибших на поверхности Земли и сохранившихся в подземных водах благодаря постоянству условий жизни и сравнительно слабой напряженности борьбы за существование. Численность и биомасса пещерных животных незначительны. Значительного обилия достигают здесь только бактерии. Так как температура пещерных вод постоянна, периодичность в жизни их обитателей отсутствует. Размножаются они круглогодично, растут с постоянной интенсивностью. Из-за отсутствия света пещерные жители лишены яркой окраски, которая у них, как правило, беловатая или желтоватая. Глаза у подавляющего большинства троглобионтов редуцированы, сильно развиты органы осязания и обоняния, конечности очень длинные. Движения троглобионтов медлительны, поскольку их рецепторы обладают малой дистантностью.

Интерстициальные воды. Встречаются не только в грунтах вблизи водоемов, но и на значительном удалении от них, например, в пустынях. Один из важнейших факторов, определяющих условия существования населения интерстициальных вод – гранулометрический состав песков. Представители интерстициальной фауны отличаются малыми размерами (не более нескольких миллиметров), укороченными конечностями и червеобразным телом, что облегчает им передвижение в узких проходах между отдельными песчинками. Существенно различаются между собой по физико-химическим условиям и своему населению поверхностные и глубинные интерстициальные воды.

Поверхностные интерстициальные воды. В поверхностных слоях песка температура грунтовой воды заметно меняется в течение дня и на протяжении года. Атмосферные осадки, просачиваясь сквозь песок, придают интерстициальным водам известную степень проточности, заметно влияют на их солевой состав и газовый режим. В поверхностный слой песка на глубину нескольких сантиметров проникает солнечный свет, что дает возможность существовать здесь фотосинтезирующим растениям. Население поверхностных интерстициальных вод, заполняющих пространства между песчинками, получило название *псаммона*. Типичный разрез песка, населенного *псаммонтами*, сверху представлен неокрашенным слоем, далее следуют зеленый, бурый, пепельный и неокрашенный слои. Основная масса *псаммонтов* сосредоточена в зеленом слое, где много фотосинтезирующих растений и благоприятны условия питания для животных. Из фотоавтотрофов в этом слое в значительных количествах присутствуют диатомовые, протококковые и синезеленые. Из животных в зеленом слое наиболее распространены инфузории, коловратки, ресничные, круглые и малощетинковые черви, менее заселены другие горизонты песка. В интерстициальной фауне песков речных пляжей чаще других встречаются нематоды, клещи, ракообразные и многоножки. В песках морских пляжей наиболее обычны турбеллярии, нематоды, гастротрихи, простейшие, архианнелиды и моллюски.

Глубинные интерстициальные воды, подобно пещерным, характеризуются высокой термостабильностью, низкими температурами, отсутствием света и часто высокой минерализацией. Среди них, в качестве особого биотопа, выделяют *гипореал* – слой песка под ложем рек и ручьев, заполненный просачивающейся сюда водой. Этот биотоп, как и другие глубинные интерстициальные воды, характеризуется отсутствием света, сравнительной устойчивостью термического режима. Вместе с тем здесь больше кислорода, выше проточность воды и благоприятнее условия питания. Состав населения глубинных интерстициальных вод зависит от их местонахождения. В гипореале оно представлено преимущественно ветвистоусыми, веслоногими и ракушковыми рачками, олигохетами, нематодами и инфузориями, в песках морского ложа многочисленны инфузории, нематоды и ракообразные, нередко асцидии и даже голотурии. В фауне глубоко залегающих песков Каракумов найдены многокамерные корненожки, которые вне морских вод обычно не встречаются.

6.6. Экологическая зональность Мирового океана.

Мировой океан принято подразделять на Тихий, Индийский, Атлантический и Северный Ледовитый *океаны* с их более или менее обособленными участками – *морями*. Среди морей различают *окраин-*

ные, широко сообщающиеся с океаном (Баренцево, Карское и др.), и *внутренние*, почти со всех сторон окруженные сушей (Черное, Красное и др.). Средняя глубина Мирового океана 3710 м, максимальная – 11 022 м (Марианский желоб).

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

Площадь части океана, лежащей над шельфом, составляет примерно 7,6% от всей его акватории, находящейся над материковым склоном – 15,3% и над ложем – 77,1%. В области шельфа бенталь разделяется на три зоны (рис. 7). Выше уровня приливов расположена *супралитораль* – часть берега, увлажняемая заплесками и брызгами воды (*supra* – выше, *litus* – берег). Ниже супралиторали, гранича с ней, лежит *литораль* – побережье, периодически заливаемое водой во время приливов и освобождающееся от нее во время отливов. Еще глубже находится *сублитораль*, простирающаяся до нижней границы распространения донных фотосинтезирующих растений.

Материковый склон занимает *батиаль*, а океаническое ложе – *абиссаль*, которая на глубинах свыше 6–7 км переходит в *ультраабиссаль*, или *гадаль* (*bathus* – глубокий, *abyssos* – бездна). Иногда бенталь подразделяется на *фиталь* и *афиталь* в соответствии с границами распространения фитобентоса. Водную толщу океана по вертикали и по горизонтали принято разделять на отдельные зоны (рис. 7). Верхний слой воды до глубины 200 м (нижняя граница сублиторали) получил название *эпипелагиали*, глубже лежащий слой (до нижней границы батиаля) – *батипелагиали*. Далее следует *абиссопелагиаль*, простирающаяся от нижней границы батиаля до глубин 6–7 км, и *ультраабиссопелагиаль*. В горизонтальном направлении Мировой океан делится на прибрежную, или *неритическую* зону, лежащую над областью материковой отмели, и *океанскую*, которая находится над зонами батиаля и абиссали.

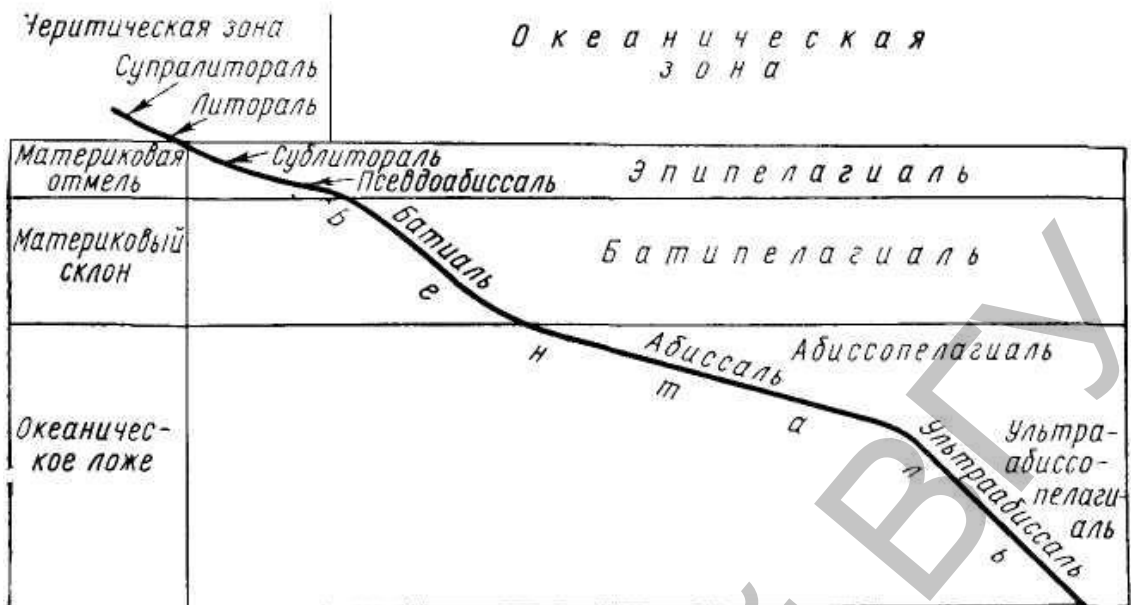


Рис. 7. Экологические зоны бентали и пелагиали Мирового океана.

Население бентали и пелагиали.

Своеобразие расселения гидробионтов.

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

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

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

Биполярность распространения гидробионтов объясняется тем, что в ледниковое время четвертичного периода тропическая область подверглась охлаждению, и обитатели севера, получив возможность пересечь экватор, заселили воды южного полушария. После потепления эти переселенцы в тропических областях исчезли или опустились в более холодные глубинные воды.

Население пелагиали. Флора морской пелагиали представлена преимущественно бактериями, грибами и водорослями, фауна в основном состоит из простейших, кишечнополостных, ракообразных,

головоногих моллюсков, рыб и млекопитающих. Помимо этого, здесь находится огромное количество личинок донных беспозвоночных. Бактерии встречаются на всех глубинах от поверхности до дна, но основная масса их сосредоточена в эвфотическом слое.

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

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

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

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

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

К **нектону** в основном относятся рыбы, млекопитающие, головоногие моллюски и высшие раки. Обитающие в море рыбы относятся к *морским* – живущим только в море, *проходным* – как правило, откарм-

ливающимся в море и нерестящимся в реках, и к *полупроходным* – обитающим в прибрежье морей и размножающимся в низовьях рек.

Из морских рыб в северном полушарии наиболее многочисленны сельдевые (сельдь, сардина, мойва, кильки, хамса), на втором месте стоят тресковые (треска, пикша, сайда, навага, хек, минтай), на третьем – окунеобразные (скумбрия, тунцы, морской окунь, ставриды). Проходные рыбы наиболее богато представлены лососевыми и осетровыми, среди полупроходных рыб в первую очередь следует назвать воблю, леща, сазана, многих бычков. Из водных млекопитающих наибольшее значение в нектоне морей имеют китообразные. Очень многочисленны в морях ластоногие. Головоногие моллюски представлены в нектоне преимущественно кальмарами. Среди нектонных ракообразных наиболее многочисленны креветки. Суммарное количество нектонных организмов в Мировом океане оценивается в 1 млрд. т.

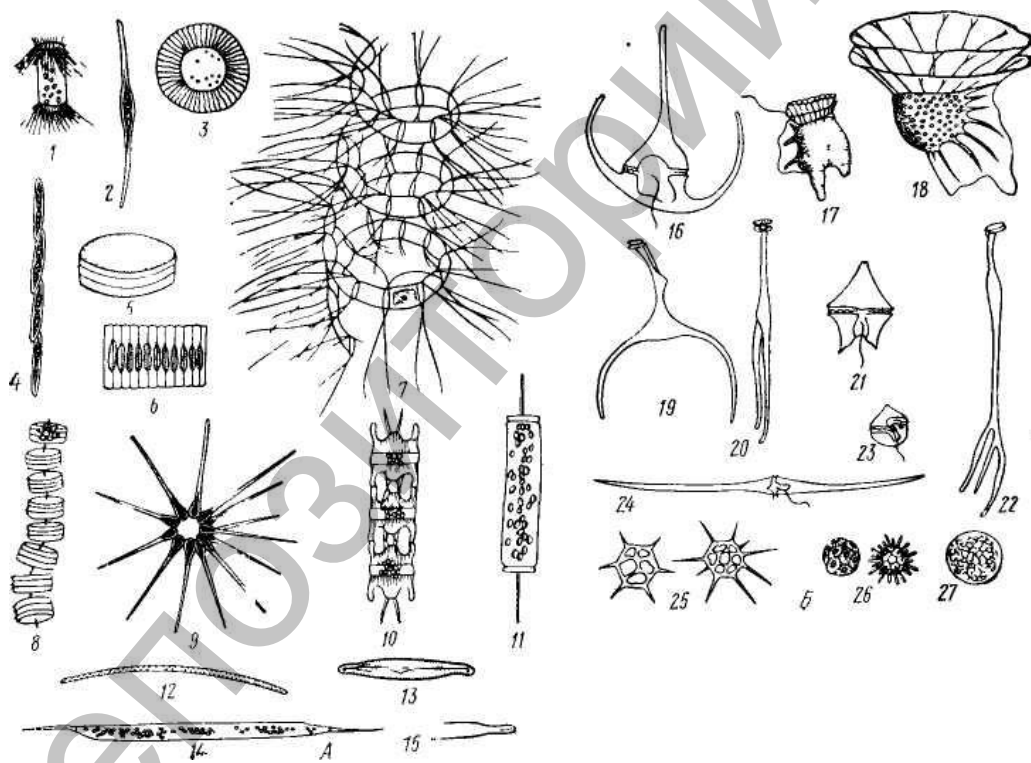


Рис. 8. Морские фитопланктонные организмы (по Одуму, 1975).

А - диатомовые; *Б* - динофлагелляты и др.:

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

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

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

Зообентос в наибольшей степени представлен кораллами, полихетами, брюхоногими и двустворчатыми моллюсками, высшими ракообразными и иглокожими. Меньшую роль в нем играют губки, гидроидные полипы, различные червеобразные, боконервные и лопатоногие моллюски, погонофоры, оболочники и некоторые другие группы. С переходом от каменистых грунтов к песчанистым и илистым численность донных животных обычно увеличивается. За счет представителей инфауны общая биомасса бентоса на мягких грунтах может быть выше, хотя биомасса животных эпифауны здесь ниже, чем на жестких грунтах.

7. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

7.1. Эвтрофирование водоемов: причины и последствия.

Эвтрофикация заключается в обогащении воды биогенными элементами, особенно азотом и фосфором, вследствие чего возрастает первичная продукция органического вещества благодаря интенсификации фотосинтеза водорослей и высших водных растений.

Под *антропогенной эвтрофикацией* понимают связанное с деятельностью человека повышение уровня трофии водоемов, возникающее при некоторых условиях в результате избыточного поступления в них биогенов (азота, фосфора) и сопровождающееся характерным комплексом изменения экосистем. Наиболее существенные из них – ухудшение кислородного режима, возникновение и усиление контрастности послойного распределения биохимических процессов с

обособлением верхней трофогенной области и глубинной трофолитической; соответственным образом распределяются окислительно-восстановительные условия и наиболее связанные с химическими реакциями концентрации кислорода, карбонатов, водородных ионов, биогенов. По источникам поступления биогенов можно выделить три типа антропогенной эвтрофикации: *урбогенную*, возникающую вследствие сброса неочищенных от соединений фосфора и азота городских сточных вод; *агрогенную*, причиной которой является вымывание грунтовыми водами и дождевыми смывами минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий; *зоогенную*, к которой приводит загрязнение водоемов стоками животноводческих ферм или многократный водопой и купание больших стад скота.

Для оценки степени эвтрофикации водоемов используют биологические, химические и физические показатели, различные для поверхностных и глубинных вод.

Для *эпилимниона* это видовой состав, численность, биомасса и продукция водорослей, численность бактерий, в частности сапрофитных, видовой состав и степень развития макрофитов, сумма фосфорсодержащих компонентов в начале весенней циркуляции, активность фосфатазы и нитрогеназы.

Для *гиполимниона* это прежде всего содержание кислорода в воде к концу летней стагнации, БПК, выделение CO_2 , накопление фосфора и растворенных соединений азота, образование метана и сероводорода в донных отложениях.

Основная причина эвтрофикации – избыточное накопление биогенов: фосфора и азота, значительно реже углерода, кремния и некоторых других. Большее значение имеет фосфор, реже лимитирует развитие автотрофов азот, что в значительной мере связано со способностью многих бактерий и цианобактерий к его фиксации. Источники поступления агентов эвтрофирования: естественное вымывание питательных веществ из почвы и выветривание пород; сбросы частично очищенных или неочищенных бытовых сточных вод, содержащих органические соединения азота и фосфора, нитраты и фосфаты; смыв неорганических удобрений, содержащих нитраты и фосфаты; смыв с ферм навоза, содержащего органические соединения азота и фосфора, нитраты, фосфаты и аммиак; смывы с нарушенных территорий (шахты, отвалы, стройки); сбросы детергентов, содержащих фосфаты.

При эвтрофировании водная экосистема последовательно проходит несколько стадий. Сначала происходит накопление минеральных солей азота и/или фосфора в воде. Эта стадия, как правило, непродолжительна, т.к. поступающий лимитирующий элемент немедленно вовлекается в кругооборот и наступает стадия интенсивного развития водорослей в эпилимнионе. Нарастает биомасса фитопланктона, уве-

личивается мутность воды, повышается концентрация кислорода в верхних слоях воды. Затем наступает стадия отмирания водорослей, происходят аэробная деградация детрита, образование хемоклина. Интенсивно отлагаются донные илы с повышенным содержанием органики. Отмечаются изменения зооценоза (замещение лососевых рыб карповыми). Наконец, наступает полное исчезновение кислорода в глубинных слоях и начинается анаэробное брожение.

Характерно образование сероводорода, сероорганических соединений и аммиака.

«Цветение» воды как гидробиологический процесс, обусловленный эвтрофикацией. В наибольшей степени антропогенной эвтрофикации подвергаются континентальные водоемы, в частности озера, реки и водохранилища, но она отчетливо прослеживается и в морях. В континентальных водоемах наибольшее значение в развитии фитопланктона до уровня «цветения» воды имеют синезеленые водоросли, в первую очередь виды родов: *Microcystis*, *Aphanizomenon* и *Anabaena*. В морях вследствие массового развития водорослей наблюдаются «красные приливы». Причиной их возникновения являются водоросли родов *Prymnesium* (золотистые) и *Cochlodinium* (динофитовые). Различают разные степени «цветения» воды в зависимости от количества образующейся биомассы: в пределах 0,5–0,9 мг/дм³ – слабое «цветение»; 1,0–9,9 мг/дм³ – умеренное; 10–99,9 мг/дм³ – интенсивное; «гиперцветение» когда биомасса превышает более 100 мг/дм³.

Во время массового развития цианобактерий образуются характерные «пятна цветения» – сложные альго-бактериальные образования, в которых протекают преимущественно деструкционные процессы разложения биомассы. В пятнах цветения различают отдельные зоны: планктонную, где клетки находятся во взвешенном состоянии; гипонейстонную, представленную кашицеобразной массой клеток; и деструктивную – грязную пенистую массу на самой поверхности центральной части пятна.

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

Негативные последствия антропогенной эвтрофикации: 1. Увеличение зарастаний прибрежных мелководий. 2. Ухудшение атмосферной аэрации воды. 3. Заморы рыб за счет засорения жабр, кислородно-

го дефицита, отравления токсинами. 4. Пятна цветения – концентраты радионуклидов. 5. Ухудшение питьевых качеств воды. 6. Ухудшение возможностей рекреационного использования берегов.

Меры по предотвращению цветения.

1. Физические методы: методы механического изъятия скоплений водорослей; удаление ила и богатых биогенами вод гипolimниона; дополнительная аэрация вод; предупреждение избыточного поступления биогенов (перехват биогенов с сельскохозяйственных угодий посредством устройства дренажной кольцевой системы; обустройство прибрежной полосы, ее облесение).

2. Химические методы: внесение в водоем препаратов, подавляющих первичное продуцирование.

3. Биологические методы: альголизация водоема представителями зеленых водорослей (штаммы *Chlorella vulgaris*), зарыбление растительноядными рыбами.

7.2. Химическое загрязнение вод и его влияние на гидробионтов.

Из загрязняющих веществ наибольшее значение для водных экосистем имеют нефть и продукты ее переработки, пестициды, соединения тяжелых металлов, детергенты, антисептики. Чрезвычайно опасным стало загрязнение водоемов различными продуктами радиоактивного распада – радионуклидами, или радиоизотопами. Значительную роль в загрязнении водоемов играют бытовые стоки, лесосплав, отходы деревообрабатывающей промышленности, пластики и многие другие загрязнения, не относящиеся к токсическим, но ухудшающие среду гидробионтов (снижение концентрации кислорода, уменьшение прозрачности воды, выпадение взвеси на дно и др.).

Радионуклиды. В водоемах наиболее опасны для гидробионтов и часто встречаются радиоизотопы стронция, иттрия, цезия, циркония, ниобия. Радионуклиды, поступающие в водные объекты, накапливаются во взвешенных веществах, поверхностном слое и донных отложениях (значительнее, чем в толще воды), живых организмах, переносятся на большие расстояния от источника поступления и создают новые зоны радиоактивного загрязнения. Донные отложения часто представляют собой очень неоднородную геохимическую системы, которая способна в одних условиях накапливать и прочно фиксировать радиоактивные вещества под слоем осадочного материала, а в других – являться устойчивым источником вторичного загрязнения водной экосистемы. Поэтому гидробионты, ведущие донный или придонный образ жизни, страдают от радиоактивных загрязнений больше, чем пелагические. В зависимости от интенсивности облучения ионизирующая радиация может оказывать на гидробионтов стимулирующее, угнетающее или летальное воздействие. Как правило, радиочувстви-

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

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

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

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

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

Личинки рыб примерно на порядок устойчивее икры, взрослые рыбы выдерживают еще более высокие концентрации. Сравнительно устойчивы к нефтяному загрязнению многие донные животные (мидии, мраморные крабы, раки-отшельники и др.), выдерживающие концентрации до 10^{-3} – 10^{-4} мг/л. Мидии, фильтруя морскую воду, освобождают ее от эмульгированной нефти, переводя последнюю в комочки псевдофекалий.

Острая токсичность нефти и ее продуктов связана с тем, что углеводороды легко смачивают поверхность гидробионтов и, проникая внутрь, растворяют липоидные фракции клеточных оболочек и мембран, разрыхляют их, изменяют их проницаемость. Разрушая липопротеидные комплексы, входящие в состав клеток, углеводороды изменяют физико-химическое состояние цитоплазмы и нарушают упорядоченность биохимических процессов. Имеются данные о резком воздействии нефти и ее продуктов на генетический аппарат гидробионтов, в частности на содержание в клетках РНК и ДНК.

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

Пестициды попадают в водоемы с поверхностным стоком, из атмосферы, особенно при опылении полей с самолетов с большей высоты и в ветреную погоду, при обработке водоемов различными препаратами с целью уничтожения вредных гидробионтов и другими путями. Среднее содержание пестицидов в пелагиали Мирового океана достигает 10–20 нг/л. Заметно выше оно в континентальных водоемах.

Из отдельных пестицидов особенно опасны хлорорганические соединения из-за их устойчивости и разнообразных эффектов воздействия (токсический, мутагенный, канцерогенный). Рыбы эвтрофных водоемов устойчивее к действию пестицидов, чем представители ихтиофауны более холодных и чистых вод. Заметно чувствительнее к действию пестицидов беспозвоночные. Хлорорганические пестициды хорошо растворяются в нефти и ее продуктах, загрязняющих воду, вследствие чего становятся еще более опасными.

Заметно токсичнее хлорорганических фосфорорганические пестициды. С повышением температуры токсический эффект пестицидов возрастает.

Внутри организмов пестициды в основном попадают через истонченные поверхности, в частности через жабры и другие органы дыхания. Механизм действия различных пестицидов в зависимости от их химической природы крайне многообразен: угнетение фотосинтеза

растений и дыхания животных в результате блокирования реакций с переносом электронов, нарушение обмена через мембраны, ингибирование синтеза белка и хитина, нарушение функций нервной системы. При воздействии пестицидов на гидробионты наблюдается характерная фазность; после возбуждения следуют депрессия и гибель.

Тяжелые металлы. Среди тяжелых металлов наибольшую роль в загрязнении водоемов играют ртуть, свинец, олово, кадмий, хром, медь, цинк. Попадают они в водоемы с промышленными стоками, из атмосферы (например, свинец выхлопных газов автомобилей), из лакокрасочных покрытий, защищающих суда от обрастания, и некоторыми другими путями. Токсичность отдельных соединений сильно колеблется и неодинакова для разных гидробионтов. В организм водных животных металлы попадают в основном с пищей; меньшее значение имеет непосредственное проникновение через поверхность тела – путь, характерный для водных растений. Токсичность металлов зависит не только от их концентрации и продолжительности действия. Большую роль играют температура, насыщенность воды кислородом, синергизм и антагонизм ионов, жесткость воды и другие факторы.

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

ЛИТЕРАТУРА

Основная

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

Дополнительная

1. *Бреховских, В.Ф.* Биота в процессах массопереноса в водных объектах / В.Ф. Бреховских, В.Д. Казмирук, Г.Н. Вишневецкая. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
2. *Винберг, Г.Г.* Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. – Мн.: Издательство АН БССР, 1960. – 329 с.
3. *Жадин, В.И.* Методы гидробиологических исследований. – М.: Высш. шк., 1960. – 451 с.
4. *Израэль, Ю.А.* Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
5. *Киселев, И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. В 2-х томах / И.А. Киселев. – Л.: Наука. Т.1. 1969. – 658 с. Т. 2. 1980. – 439 с.
6. *Китаев, С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.
7. *Протасов, А.А.* Пресноводный перифитон / А.А. Протасов. – Киев: Наукова думка, 1994. – 307 с.
8. *Шитиков, В.К.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.