

Федеральное агентство по образованию РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ГОУ ВПО ИГУ)

*Кафедра гидрологии и охраны водных
ресурсов*

Е. А. Зилов

**СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ:**

Учебное пособие по курсу «Гидробиология и водная экология»

Иркутск 2006

УДК 574.5 (078.5)

Рецензенты

Д-р биол. наук В. В. Дрюккер

Д-р биол. наук Г. И. Поповская

Составитель

Д-р биол. наук Е. А. Зилов

Учебное пособие предназначается для студентов V курса заочной и IV курса очной форм обучения специальностей 012700 «Гидрология» и 013400 «Природопользование». Рассматриваются место гидробиологии в системе естественных наук, ее предмет, цели, составные части, методы исследования. Приведен краткий обзор истории гидробиологии и основы терминологии. К пособию приложены списки рекомендуемой литературы, примерный перечень экзаменационных вопросов, тематика рефератов, курсовых и дипломных работ.

Редактор М. А. Айзиман

Верстка И. В. Карташова-Никитина

Темплан 2006 г. Поз. 48

Подписано в печать 20.03.2006. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0

Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 50 экз.

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

Иркутского государственного университета

664003, Иркутск, бульвар Гагарина, 36

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 574.5 (078.5)	2
Введение	5
1 Гидробиология и водная экология, их место в системе естественных наук.....	5
2 Предмет, цель, задачи, методы исследований гидробиологии и водной экологии.....	7
3 Основные направления гидробиологии и водной экологии.....	9
4 История возникновения гидробиологии	11
5 Основы терминологии	13
5.1 Водотоки и водоемы	13
5.2 Вертикальное и горизонтальное деление водоемов.....	13
5.3 Пруд и озеро, ручей и река.....	15
6 Генетическая классификация озер.....	15
7 Классификация гидробионтов по биотопам.....	16
8 Стратификация озер, ее сезонные изменения и роль в годовой динамике гидробиоценозов.....	18
9 Классификации озер, основанные на стратификации	20
10 Компоненты водных экосистем	21
11 Процессы жизнедеятельности гидробионтов.....	22
12 Продукция и деструкция в водных экосистемах, методы их определения....	22
13 Специфика водных экосистем циклического, транзитного и каскадного типов	22
14 Биологическая классификация озер	25
15 Модель экологической сукцессии в водоемах	29

16 Влияние биогенов на лимитацию первичной продукции в водной экосистеме	29
17 Эвтрофирование водоемов. Антропогенное эвтрофирование: причины и контроль	30
17.1 Агенты эвтрофирования	31
17.2 Стадии эвтрофирования	32
17.3 Хозяйственные последствия эвтрофирования	32
17.4 Борьба с эвтрофированием	33
18 Роль биоты в самоочищении водных объектов	34
Рекомендуемая литература.....	34

«Гидробиология – наука о жизни в водоемах, исследующая закономерности существования популяций водных организмов и биотических сообществ (биоценозов) в их неразрывной связи со средой обитания (биотопом) и служащая теоретической основой сохранения и обеспечения воспроизводства биологических ресурсов гидросферы. Исходя из этого определения, основным объектом гидробиологии как науки следует считать водные экологические системы, т. е. структурно-организованные системы, в которых биотические и абиотические элементы связаны функционально в единое целое на базе круговорота веществ и трансформации потока энергии. Основным методом современной гидробиологии как науки является системный анализ структуры, функции и связей популяций и биоценозов между собой и с факторами среды обитания. Он строится на количественной основе с целью выявления закономерностей, позволяющих управлять структурой и функционированием элементов гидросферы» (Кожова, 1987, стр. 29).

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются вводным пособием по курсам «Гидробиология и водная экология» и «Гидробиология» для студентов очной и заочной форм обучения по специальностям «Гидрология» и «Природопользование». Задачи, которые ставил перед собой автор при подготовке данного пособия: вкратце обрисовать предмет гидробиологии, ее связи с другими науками, методы, цели и задачи; ввести студента в историю гидробиологии. Главная задача – познакомить с терминологией, принятой в этой дисциплине, поскольку гидрологи и гидробиологи зачастую одними терминами обозначают разные объекты и явления, а многие термины (особенно биологические) – совсем неизвестны гидрологам.

1 ГИДРОБИОЛОГИЯ И ВОДНАЯ ЭКОЛОГИЯ, ИХ МЕСТО В СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Биосфера нашей планеты существует в виде живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в газообразной оболочке Земли – *атмосфере*, твердой – *литосфере* и жидкой – *гидросфере*. Наиболее широкой ареной жизни

является гидросфера. Если общая площадь поверхности планеты $510 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, то $362 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ (более 70,5%) занимает водное зеркало.

Предложено и предлагается много определений гидробиологии. Представляется наиболее корректным следующее: *гидробиология* – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучающая структуру и функционирование водных экосистем. Данное определение охватывает изучение отдельных водных организмов (*гидробионтов*), их популяций и сообществ, взаимодействий между ними и с неживой природой.

Водная экология (гидроэкология, экология гидросферы) – часть геоэкологии, изучающая водные экосистемы как совокупность трех взаимодействующих компонентов: водной среды, водных организмов и деятельности человека.

Гидробиология и водная экология тесно связаны прежде всего, с науками о гидросфере – гидрохимией, гидрофизикой, гидрологией.

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

Близка гидробиология и к таким географическим дисциплинам, как *океанология* и *лимнология*.

Океанология – наука о Мировом океане (т. е. совокупности океанов и морей земного шара) и процессах, протекающих в нем.

*Лимнология*¹ (или озероведение) изучает воды замедленного стока поверхности суши. Кроме того, в гидрологии суши можно выделить еще науку о водотоках (*потамология*²), ледниках (*гляциология*).

¹ От *лимнос* (греч.) – озеро.

² От *потамос* (греч.) – река.

Лимноэкология – часть гидроэкологии, изучающая структуру и функционирование экологических систем поверхностных пресных вод суши (озер, водохранилищ, рек).

Гидробиология связана и с рядом биологических дисциплин (зоологией, ботаникой, микробиологией).

Естественно, являясь дисциплинами биологическими и географическими, гидробиология и водная экология, тем не менее, в первую очередь, теснейшим образом связаны с *экологией*, частями которой они являются. Следует отметить, что именно водная экология является одной из самых успешно развивающихся частей экологии.

2 ПРЕДМЕТ, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОБИОЛОГИИ И ВОДНОЙ ЭКОЛОГИИ

Предметом исследований гидробиологии являются экологические процессы в водной среде, т. е. процессы взаимодействия гидробионтов, их популяций и сообществ между собой и с абиотическими компонентами водных экосистем. Водная экология исследует, кроме того, и воздействие человека на эти процессы.

Цель гидробиологии может быть определена как понимание экологических процессов, происходящих в водной среде. Управление этими процессами с целью оптимизации использования водных ресурсов может считаться *целью водной экологии*.

Основной задачей гидробиологии является изучение экологических процессов в гидросфере, а применение их в интересах освоения гидросферы и оптимизации взаимодействия человеческого общества с водными экосистемами – *основная задача водной экологии*.

Главная теоретическая задача гидробиологии: изучение общих внутренних закономерностей структурно-функциональной организации водных экосистем, которые и определяют круговорот вещества и поток энергии в них, а

водной экологии: исследование зависимостей круговоротов вещества и потоков энергии от факторов внешней среды, в том числе и антропогенных.

Конкретные практические задачи гидробиологии и водной экологии:

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

Главным методом гидробиологии, как и остальных экологических дисциплин, является системный подход, т.е. рассмотрение экосистемы как целого, и количественный учет протекающих в ней потоков энергии, вещества и информации. Следовательно, гидробиология всегда оперирует величинами численности организмов, их биомассы и продукции³.

Для количественного учета используют различные приборы как специфически гидробиологические – дночерпатели, драги, планктонные сети, планктоночерпатели, батометры различных конструкций, так и многие приборы, заимствованные из арсеналов гидрохимии, гидрофизики, гидрологии. В последнее время часто используются погружные и дистанционные биофизические приборы.

³ Продукция – прирост массы организмов (в единице объема воды, под единицей площади водоема, на единице площади его дна) на единицу измерения времени.

3 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ И ВОДНОЙ ЭКОЛОГИИ

Общая гидробиология изучает экологические процессы в водоемах и водотоках. В ней выделяются:

- системная гидробиология;
- трофологическая гидробиология;
- энергетическая гидробиология;
- этологическая гидробиология;
- палеогидробиология;
- бентология;
- планктология.

Системная гидробиология – приложение общей теории систем и ее методов в водной экологии. Она занимается общими проблемами организации биосистем в гидросфере, их поведением, самоорганизацией и самоуправлением, моделированием водных биосистем, прогнозу их состояния при различных внешних воздействиях.

По изучаемым процессам различаются *трофологическая*⁴ гидробиология – пищевые связи, биологическая трансформация веществ, *энергетическая* гидробиология – поток энергии, ее биологическая трансформация, *этологическая* гидробиология – поведение гидробионтов, *палеогидробиология* – исторические изменения водных экосистем.

По локализации изучаемых процессов в общей гидробиологии можно выделить *бентологию* и *планктологию*. Первая занимается экологическими процессами, проходящими на дне водоемов и водотоков, вторая – в толще вод.

Частная гидробиология изучает специфику экологии водных объектов разного типа. Выделяют гидробиологии морей, озер, прудов, болот, луж, временных и пересыхающих водоемов и др. То же происходит и для водотоков: гидробиологии рек различных типов, ручьев. Кроме того, существует

⁴ От *трофос* (греч.) – пища.

гидробиология подземных и пещерных вод, гидробиологии полярных и тропических водоемов, водоемов умеренного пояса и субтропических.

Водная экология, изучающая взаимодействие водных экосистем и человеческой деятельности тесно смыкается с *прикладной гидробиологией*. Последняя, как это следует из самого её названия, занимается прикладными приложениями результатов общей или теоретической гидробиологии. В нее входят:

- *Продукционная* гидробиология, изучающая биологические основы продуктивности водоемов (например, повышения вылова рыбы, урожая морепродуктов и т.п.).
- *Санитарная* гидробиология, занимающаяся решением проблем чистой воды, самоочищения водоемов.
- *Медицинская* гидробиология, исследующая происхождение и распространение болезней, связанных с водой (в первую очередь – инфекционных). Ее подразделом является *гидропаразитология*, разрабатывающая методы борьбы с паразитическими животными, обитающими в водоемах, в том числе личиночными стадиями паразитов.
- *Токсикологическая* гидробиология или *водная токсикология*, изучающая возможность вреда продуктов техногенеза для водных объектов, в частности, влияние токсикантов на гидробионтов и экосистемные процессы.
- *Радиологическая* гидробиология, решающая вопросы, связанные с поступлением в водоемы радионуклидов, влиянием их на гидробионтов, накоплением их в трофических цепях.
- *Техническая* гидробиология, изучающая биологические явления, представляющие опасность для техники, контактирующей с водой (биокоррозия, обрастания и т.п.). Частным случаем ее можно считать *навигационную* гидробиологию, которая исследует водные биологические процессы, препятствующие судоходству.

4 ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГИДРОБИОЛОГИИ

Еще до возникновения гидробиологии как науки началось накопление фактов, составляющих ее научный багаж. Можно отметить следующие заметные события этого процесса:

- 1650 г. Варениус выделил четыре типа озер по присутствию или отсутствию притоков и поверхностного стока.
- 1674 г. ван Левенгук описал микроскопическую водоросль спирогиру, некоторые особенности динамики водорослей в озерах, влияние на нее ветра.
- 1730 г. де Дулье описал и измерил сейши.
- 1780 г. Соссюр описал тепловую стратификацию озер⁵.
- 1810г. Лесли изучил формирование физической структуры водного тела некоторых шотландских озер под воздействием поступления света и тепла, ветра, температуры воды.
- 1819 г. Де ла Беш описал металимнион (термоклин)⁶ в Женевском озере.
- 1826 г. Де Кандолль выполнил первое научное описание цветения водорослей в озере.
- 1845 г. Мюллер описал планктон.

Начиная с середины XIX в. гидробиология начинает оформляться в самостоятельную науку. Ничто не происходит само по себе и, естественно, науки о жизни вод потребовали какие-то практические потребности человечества. *Первая* из них – забота о хлебе насущном. Иллюзия неиссякаемости рога изобилия – промысла продуктов океана рассеялась: произошло снижение промысла устриц и мидий, уловы рыбы уменьшились, китобойный промысел стал сокращаться. Возникла необходимость реально оценивать запасы объектов промысла, особенности их воспроизводства и

⁵ Тепловая или температурная стратификация основана на аномальном свойстве воды – наличии максимума плотности при 4°C. Благодаря этому вода с температурой как выше, так и ниже этой, занимает вышележащие слои водного тела, а вода с температурой максимальной плотности – нижние.

⁶ Металимнион, термоклин или слой температурного скачка отделяет слой воды с температурой максимальной плотности от лежащих выше слоев.

возможность искусственного разведения. *Вторая* – опасность жажды. Угроза загрязнения источников питьевой воды – пресных водоемов благодаря развитию промышленности, сельского хозяйства, транспорта, росту населения стала реальной. Мыслящая часть человечества постепенно осознала, что без знания механизмов самоочищения природных вод цивилизация рискует остаться без пригодной для питья воды.

Начинаются планомерные работы, которые с полным правом уже можно назвать гидробиологическими. Московское общество любителей естествознания в 1867 г. организует планомерное изучение подмосковных озер. В 1872 г. образуются первые морские биологические станции: в Севастополе, основанная А. О. Ковалевским (ныне – Институт биологии Южных морей АН Украины), и в Неаполе, основанная А. Дорном. Морская биологическая станция на Атлантическом побережье США основывается А. Агассизом в 1876 г. в Ньюпорте. Возникают и биологические станции для изучения пресных водоемов. В 1880 г. в Богемии (Чехия) А. Фриген создал станцию на Почерницком пруду; в 1892 г. в Германии О. Захариас – на оз. Плён (ныне Макс-Планк Институт Лимнологии); в 1891 г. в России на оз. Глубокое, затем в 1896 г. на оз. Бологовском. Наступает очередь водотоков: в 1894 г. – на р. Иллинойс в США, в 1900 г. – на р. Волге в Саратове.

Возникает гидробиологическая аппаратура. Создаются устройства для количественного учета гидробионтов. В. Гензен в 1887 г. изобретает орудие лова планктона – специальную коническую сеть из мелкоячеистого шелкового сита («газа»). Й. Петерсен разрабатывает дночерпатель.

Наука рождается окончательно, когда издаются первые обобщающие монографии и учебники. Такими для гидробиологии и лимнологии стали книги Ф. А. Фореля: «Le Lemman. Monographie limnologique», 1893–1901 (в 3-х томах) и «Handbuch der Seenkunde. Allgemeine Limnologie», 1901.

5 ОСНОВЫ ТЕРМИНОЛОГИИ

5.1 ВОДОТОКИ И ВОДОЕМЫ

«Текучие воды» (ручьи и реки) называют лотическими⁷, а «стоячие воды», т.е. водоемы замедленного водообмена – лентическими⁸. Иногда эти термины применяют и для характеристик участков рек с разной скоростью течения. Участки реки с быстрым течением называют лотическими, с медленным – лентическими.

Можно перечислить множество основных отличий водотоков от водоемов. С точки зрения гидробиологии главными являются следующие:

- Течение в реках относительно быстрое и направленное, тогда как в озерах медленное и ненаправленное.
- Уровень воды в реках, как правило, более изменчив, чем в озерах.
- Условия существования гидробионтов в реках сильнее зависят от воздействия водосборного бассейна, чем в озерах.
- Озера характеризуются вертикальным градиентом, то есть условия существования гидробионтов в них изменяются от поверхности к дну, тогда как в реках практически никогда не наблюдается вертикального градиента.
- В реках наблюдается изменение условий (температура воды, скорость течения, гидрохимические показатели и др.) от истока к устью.

5.2 ВЕРТИКАЛЬНОЕ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ДЕЛЕНИЕ ВОДОЕМОВ

Литоральная зона – зона, где свет достигает дна озера (рис. 1), но у многих авторов *литораль* это прибрежная зона озера, характеризующаяся мелководностью и воздействием волнения, *сублитораль* – зона, простирающаяся до нижней границы распространения донной растительности (для гидробиологов) или подводный откос (для гидрологов). *Профундаль* это оставшаяся площадь дна озера.

⁷ От *лотос* (греч.) -

⁸ От *лентос* (греч.) –

Ряд авторов называет литоральной зону, расположенную между нижним и верхним пределами колебаний уровня воды в озере. Иногда ее называют *эулитораль*. Еще можно встретить: *эпилитораль* (не контактирующая с водой) и *супралитораль* (зона брызг). Можно встретить и термины *инфралитораль*: верхняя – населенная полупогруженными водными растениями, средняя – укорененные водные растения с плавающими по поверхности листьями, нижняя – укорененные погруженные растения; *литопрофундаль* – населенная фотосинтезирующими водорослями.

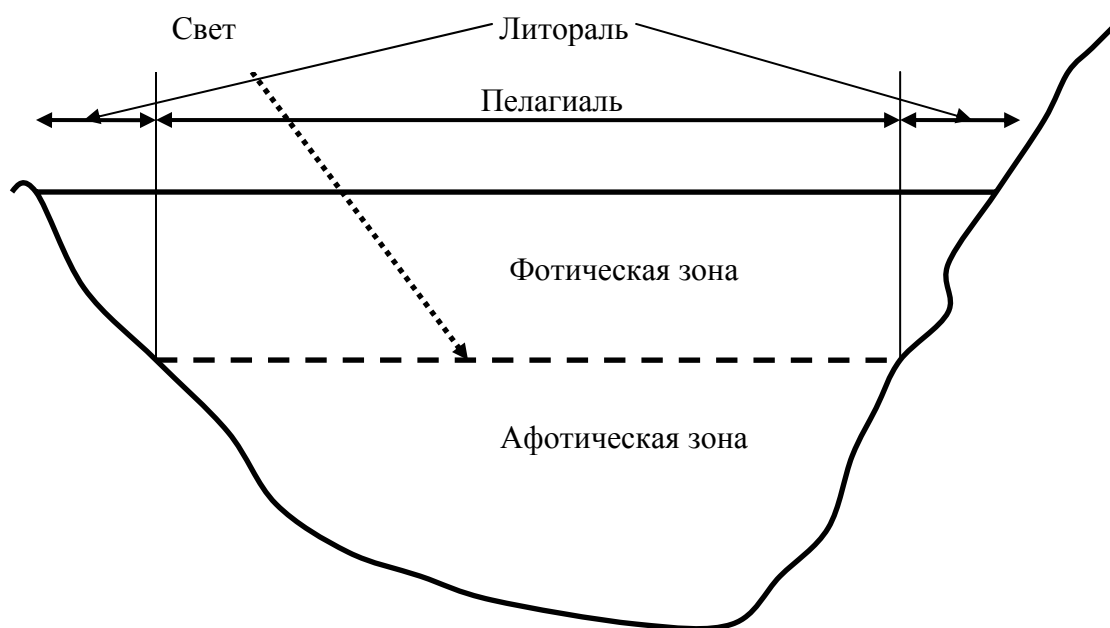


Рис. 1. Принятое в гидробиологии разбиение озера на слои и зоны.

Пелагическая⁹ зона – зона, где свет не достигает дна озера. В большинстве озер можно выделить *подводную террасу*, характеризующуюся постепенным понижением дна, и *свал* с более крутым углом понижения, переходящий в *котел*, который занимает большую часть озерного дна.

Фотическим слоем или зоной называется область, освещаемая лучами солнца, **афотическим** – неосвещаемая. Нижняя граница фотической зоны проходит на глубине, которую достигает 1 % света с поверхности.

⁹ От *пелагос* (греч.) – море.

5.3 ПРУД И ОЗЕРО, РУЧЕЙ И РЕКА

Применение терминов *ручей* и *река*, *пруд* и *озеро* у гидрологов и гидробиологов несколько разнится. Для гидрологов – пруд это искусственный водоем площадью менее 1 км², озеро – естественный водоем суши с замедленным водообменом. Река – водоток, питающийся атмосферными осадками со своего водосборного бассейна площадью не менее 50 км². Меньший водоток называется ручьем.

В гидробиологии главным признаком, отличающим пруд от озера, и ручей от реки является естественная освещенность дна, играющая важную роль в формировании биологической структуры водного тела. По общепринятой в гидробиологии классификации прудом считается водоем замедленного водообмена, все дно которого освещается солнцем (пелагиаль отсутствует), а озером – полноценный водоем, имеющий и литораль, и пелагиаль, т.е. настолько глубокий, что части его дна никогда не касается солнечный свет. То же относится и к рекам и ручьям. Значительная часть дна реки расположена ниже границы проникновения солнечного света, дно ручья может быть полностью освещено солнцем.

Тем не менее, и в гидробиологии многие авторы отличают пруд от озера по глубине, другие – по наличию или отсутствию растительности на дне, третьи – по происхождению.

6 ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР

Классификация озер Мюррэя: каменные, барьерные и органические бассейны. Классификация озер Швербея: тектонические (включая кратерные), барьерные, вырытые. Тектонические озера. Происхождение озер в результате тектонической деятельности. Свалы, грабены, рифты, подъемы. Вулканические бассейны (кратерные или кальдеровые, лавовые плотины, на лавовом основании). Метеорные, карстовые, ледниковые озера. Барьерные озера. Происхождение озер в результате действия рек (дельтовые, старичные,

водопадные озера), ветра, волн (прибрежные озера, лагуны, фьорды).
Органические: фитогенные, зоогенные, антропогенные.

7 КЛАСИФИКАЦИЯ ГИДРОБИОНТОВ ПО БИОТОПАМ

*Биотопом*¹⁰ называется местообитание организма, тогда как его *экологическая ниша* – функциональная роль в экологической системе, т.е. является ли данный продуцентом, редуцентом или консументом. Если консументом, то каким – растительноядным или хищником, паразитом и т.п. В понятие экологической ниши входят и температурные границы существования данного вида, и его требования к качеству воды, состав его пищи, хищники, которые питаются им. Это можно сформулировать и так: биотоп – «место проживания» организма, а экологическая ниша – занимаемая им «должность» в экологической системе. Какие же биотопы можно найти в типичном водоеме? Если мы обратимся к схеме водоема (рис. 2), то увидим, что существуют четыре принципиально различных группы биотопов: на границах – воздух/вода, вода/дно, воздух/вода/дно и собственно толща воды.

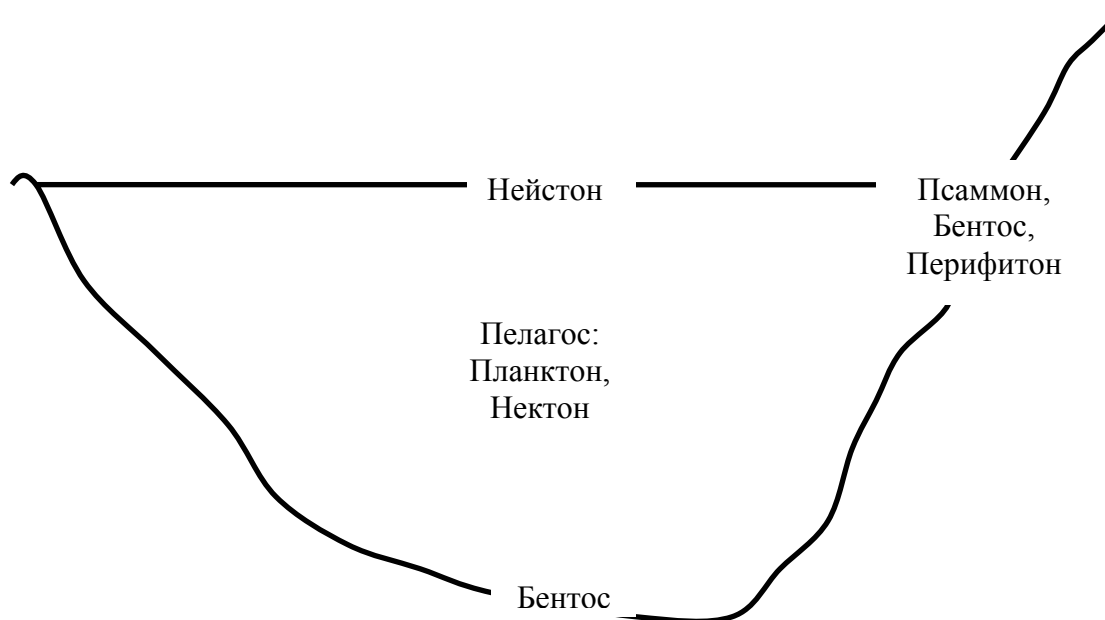


Рис. 2. Основные группы организмов, занимающие разные биотопы водоема.

¹⁰ От *биос* (греч.) – жизнь, *топос* (греч.) – место.

Толщу вод населяют две группы организмов – планктон и нектон. **Планктон**¹¹ составляют организмы слишком мелкие, чтобы иметь возможность противостоять силам движения воды и контролировать свое положение в воде. Они парят в толще воды и переносятся ею. Растительные организмы планктона составляют *фитопланктон* – это, главным образом, одноклеточные микроскопические водоросли. Животные, представленные в планктоне, – *зоопланктон*. В эту группу входит множество простейших, коловраток, мелких рачков (например, всем известные дафнии и циклопы). Кроме того, в зоопланктон включаются личинки насекомых, рыб, многих организмов бентоса, слишком мелкие и слабые для самостоятельного передвижения в толще воды. Организмы, проводящие в планктоне лишь часть своего жизненного цикла, называются *меропланктоном*¹², в отличие от *голопланктона*¹³ – постоянных планктонтов. Кроме того, в планктоне присутствует и множество бактерий, составляющих *бактериопланктон*.

Активные же пловцы, такие как рыбы, амфибии, рептилии, звери, крупные насекомые и их личинки в пресных водах, головоногие моллюски в морских водах составляют **нектон**¹⁴.

Обитатели биотопа вода/дно составляют **бентос**. Животные – обитатели дна именуется *зообентосом* и отличаются большим, как правило, разнообразием, чем планктонты. Здесь можно встретить моллюсков, ракообразных, личинок насекомых, самых различных червей и др. Растительное население дна – *фитобентос* представлено высшими водными растениями и водорослями.

Прибрежную зону населяют также многочисленные бентонты, кроме того, здесь обилён *перифитон* – различные водоросли, образующие всем известные обрастания на камнях, стеблях высшей водной растительности, кусках древесины и т.п. Вместе с прикрепленными мелкими животными

¹¹ От *планктос* (греч.) – парение.

¹² От *мерос* (греч.) – часть.

¹³ От *холос* (греч.) – часть.

¹⁴ От *нектос* (греч.) – .

(червями, коловратками, ракообразными, простейшими) он образует сообщество именуемое *ауфвухс*. К прибрежной же зоне примыкает и своеобразное население прибрежного, пропитанного водой грунта (главным образом песчаного) – *псаммон*¹⁵. Тут многочисленные различные черви и коловратки.

Биотоп граница воздух/вода населен своеобразными организмами, составляющими целое сообщество, удерживающееся в поверхностной пленке воды, за счет силы поверхностного натяжения. Это – *нейстон*. В нем выделяют *эпинеuston* (организмы, живущие над пленкой) и *гипонейстон* (под пленкой). Кроме того, можно выделить еще и обитателей «плавающих островов», образованных растениями (например, всем известной ряской) – *плейстон*.

8 СТРАТИФИКАЦИЯ ОЗЕР, ЕЕ СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И РОЛЬ В ГОДОВОЙ ДИНАМИКЕ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ

Динамика поведения водных экосистем во многом определяется таким важным свойством водоемов, как *температурная стратификация*¹⁶. Температурная стратификация может быть *прямой* – температура воды от дна водоема к поверхности увеличивается, или *обратной* – температура воды от дна к поверхности уменьшается. Эти особенности стратификации основаны на одном из аномальных свойств воды – наличии максимума плотности при 4 °С. Именно поэтому и вода, имеющая температуру выше этой, и имеющая температуру ниже, занимает вышележащие слои водного тела, тогда как вода с температурой максимальной плотности – нижние. В годовой динамике типичного водоема умеренных широт можно выделить 4 основных фазы: летом – верхние слои воды прогреты, нижние сохраняют температуру около 4 °С. Этот и есть период прямой стратификации, когда верхние слои воды теплее нижних. Осенью – верхний слой воды охлаждается и становится возможным перемешивание всей водной толщи (гомотермия). С наступлением зимы

¹⁵ От *псаммос* (греч.) – песок.

¹⁶ От *strata* (лат.) – слой.

поверхность водоема замерзает, подо льдом находится вода с температурой 0–1 °С, но с плотностью ниже, чем при 4 °С. Наступает явление обратной стратификации. С таянием льда по весне температура в водной толще уравнивается и вновь наступает перемешивание – гомотермия. Необходимо упомянуть несколько терминов, уже знакомых студентам из гидрологии. Верхний слой воды озера в период стратификации именуется *эпилимнионом*, нижний – *гиполимнионом*. Разделяющий их слой температурного скачка или *термоклин* – *металимнионом*.

Эпилимнион, как правило, составляет *трофогенный*¹⁷, или «питающий» слой водоема. Именно в нем происходит продукция органического вещества первичными продуцентами – водорослями или высшими водными растениями, снабжающими всех обитателей водоема пищей. В гиполимнионе (*трофолитическом* слое), напротив, главенствуют процессы разложения органики в ходе метаболизма консументов (животных) и редуцентов (микроорганизмов). В их ходе высвобождаются неорганические элементы питания, необходимые для продукции нового органического вещества.

Металимнион, в силу разницы плотностей меж слоями предоставляет широкое поле деятельности для бактерий и простейших, т.к. взвешенное органическое вещество (живые и отмершие организмы планктона) образовавшееся в ходе процессов продуцирования в эпилимнионе при осаждении задерживается в этом слое и служит пищей многочисленным консументам и редуцентам.

¹⁷ От *трофос* (греч.) – пища, питание, *генос* (греч.) – рождающий.

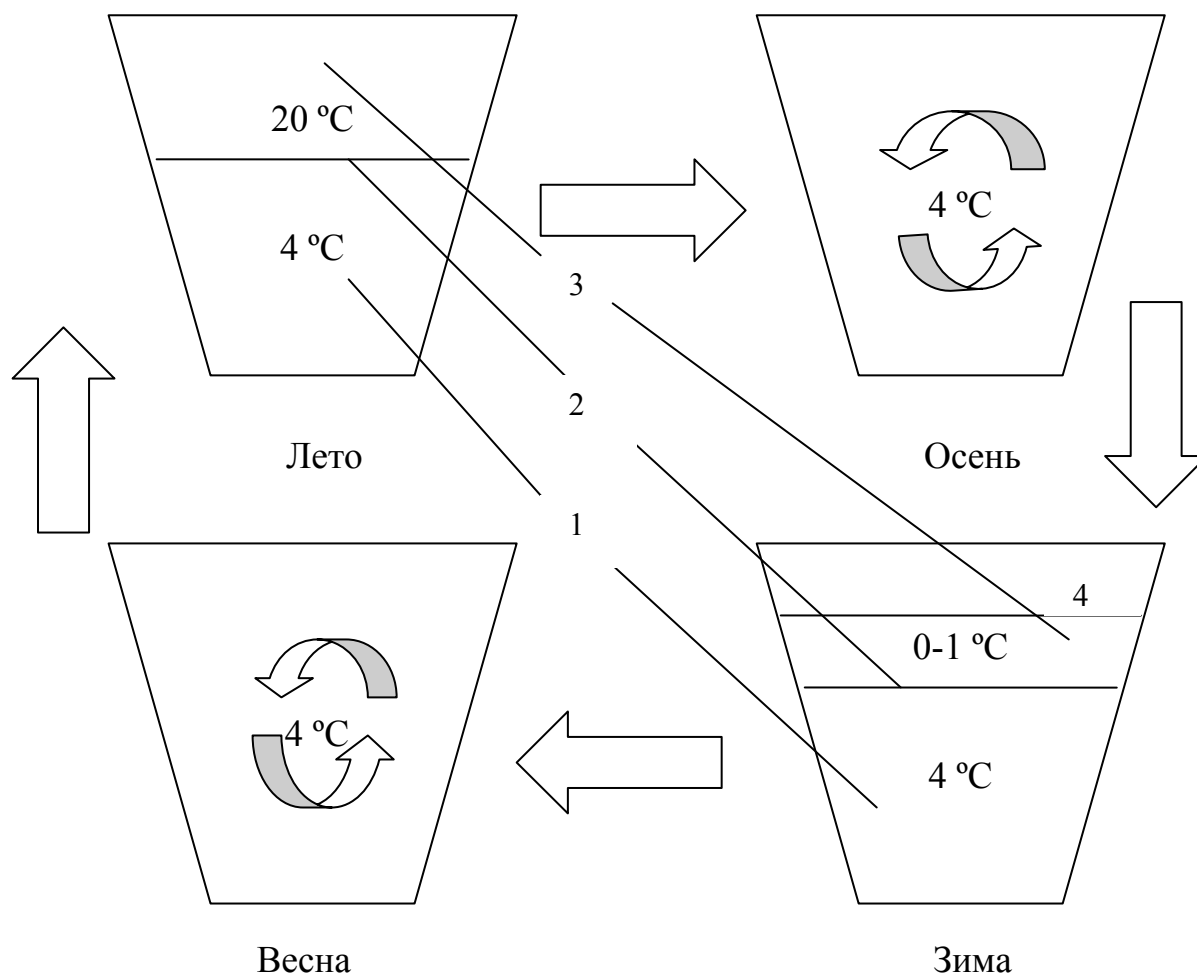


Рис. 3. Годовой ход стратификации типичного димиктического водоема умеренных широт. 1 – гипolimнион, 2 – металимнион, 3 – эпилимнион, 4 – лед.

9 КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР, ОСНОВАННЫЕ НА СТРАТИФИКАЦИИ

Классификация озер Уиппла (полярные, умеренной зоны, тропические озера; придонная температура: постоянная, переменная, близкая поверхностной). Классификация Фореля (полярные, умеренной зоны, тропические озера; мелкие, глубокие озера). Классификация Хатчинсона (амиктические, холодные мономиктические, димиктические, теплые мономиктические, олигомиктические). Дополнение к ней: холодные и теплые полимиктические.

10 КОМПОНЕНТЫ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Компоненты водных экосистем функционально не отличаются от главных компонентов наземных экосистем. В биологическом сообществе естественно присутствуют три главные группы организмов – продуценты, консументы и редуценты (рис. 4). Первые: продуценты (фитопланктон и фитобентос) ассимилируют энергию Солнца и создают органическое вещество, служащее источником жизни для них и остальных компонентов экосистемы. Консументы (зоопланктон, зообентос, нектон) это вещество преобразуют в свои тела. Редуценты (бактериопланктон и бактериальное население дна водоема) выполняют важнейшую часть работы – минерализацию экскретов и трупов консументов и продуцентов и переводение их в неорганическую форму с тем, чтобы сделать их доступными продуцентам для повторения цикла.

Структурные и функциональные особенности водных экосистем.

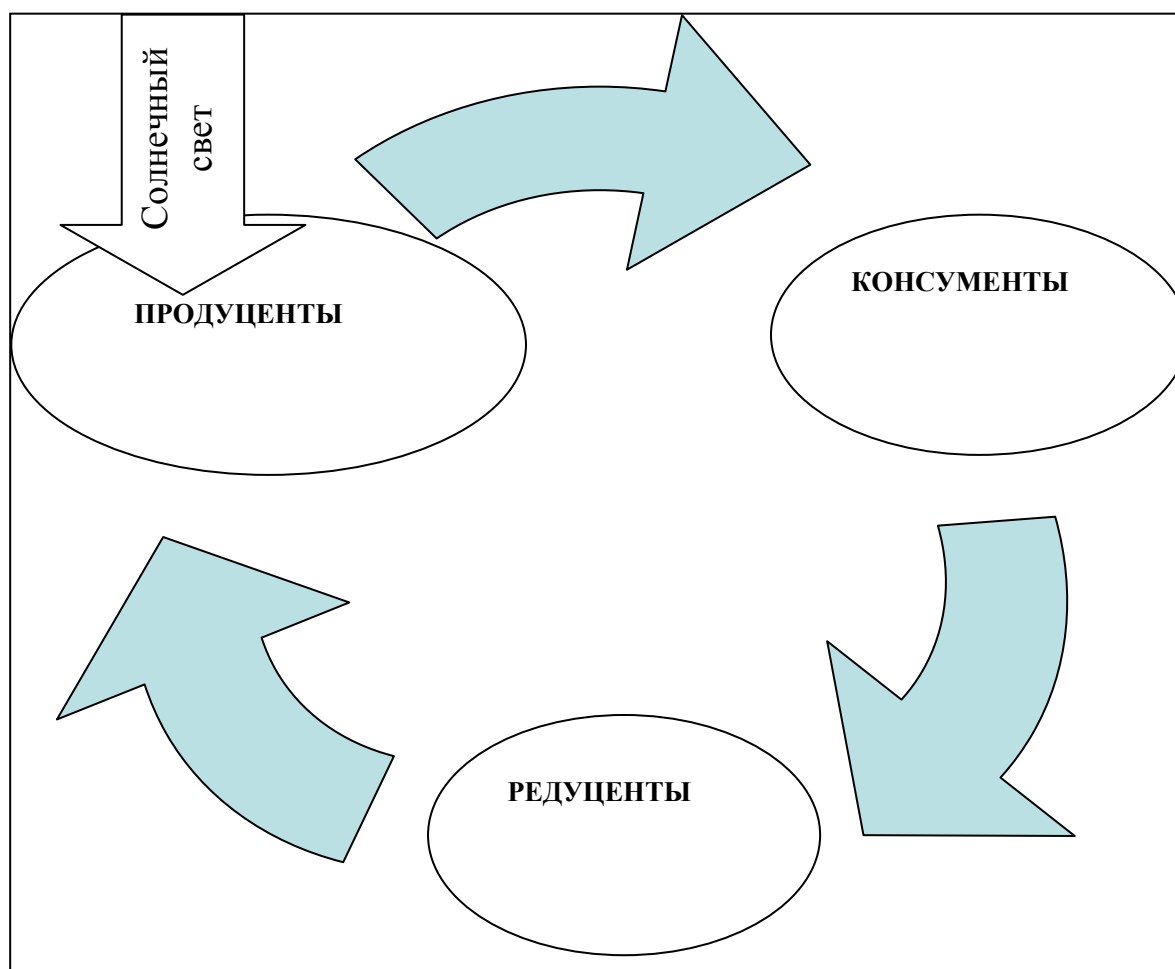


Рис. 4. Упрощенная схема экосистемы.

11 ПРОЦЕССЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГИДРОБИОНТОВ

Дыхание/фотосинтез.

Процессы питания. Автотрофное, гетеротрофное, миксотрофное. Рацион. Ассимиляция пищи. Траты на обмен.

12 ПРОДУКЦИЯ И ДЕСТРУКЦИЯ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ, МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Первичная продукция. Методы ее определения. Классификация водоемов по величине первичной продукции. Бактериальная продукция и возможности ее оценки. Вторичная продукция и методы ее определения.

13 СПЕЦИФИКА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦИКЛИЧЕСКОГО, ТРАНЗИТНОГО И КАСКАДНОГО ТИПОВ

Лотические и лентические водные экосистемы принципиально отличаются по характеру происходящих в них экологических процессов. Водоемы замедленного водообмена (лентические: озера, пруды и т.п.) являются, как правило, водоемами автохтонными. Это значит, в переводе с греческого, – экосистемами способными «прокормить» себя самостоятельно. Большая часть первичной продукции в этих водоемах производится их собственным растительным населением – фитопланктоном и фитобентосом (продуцентами). Затем эта первичная продукция используется зоопланктоном, зообентосом, nekтоном (консументами) и, минерализуясь редуцентами, возвращается в виде исходного материала продуцентам. В общем виде это можно представить в следующем виде (рис. 5).

В типичном большом озере основной поток энергии и круговорот вещества совершается в планктонном сообществе экосистемы пелагиали (рис. 6).

В водотоке, или системе транзитного типа (лотической системе: реке, ручье) планктон не может играть решающую роль просто в силу физических причин – его сносит течением. В глубоких, медленно текущих реках в роли главного продуцента выступает фитобентос – высшая водная растительность.

Основными потребителями их продукции выступают зообентос и нектон (рис. 7).

Если мы обратимся к мелким быстротекущим водотокам (ручьям и мелководным рекам), то обнаружим, что основное питание их обитатели получают снаружи (аллохтонные экосистемы). Органическое вещество поступает с берегов, в виде опада листьев, трупов животных и т.п. (рис. 8).

В водных экосистемах каскадного типа (системы водохранилищ, группы сообщающихся меж собой проточного типа озер, глубокие водотоки), совмещающих лотические и лентические участки, системы кругооборота вещества чередуются. На быстротекущих участках они осуществляются по лотическому типу (с преобладанием транзитного типа аллохтонного питания системы), в заводях и участках с медленным течением – по лентическому типу (автохтонные участки).

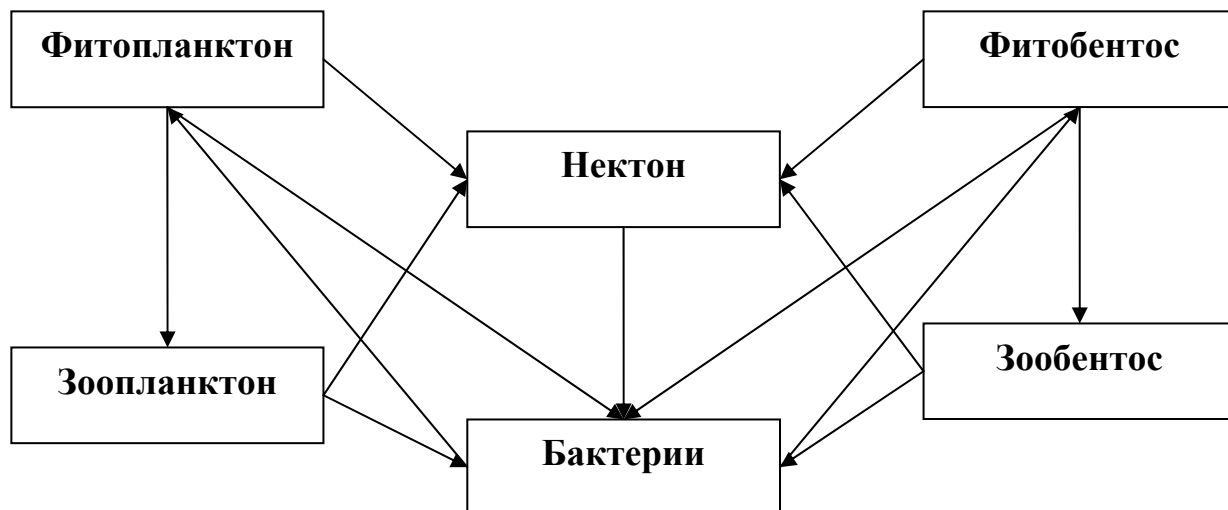


Рис. 5. Кругооборот веществ в идеализированной экосистеме водоема.

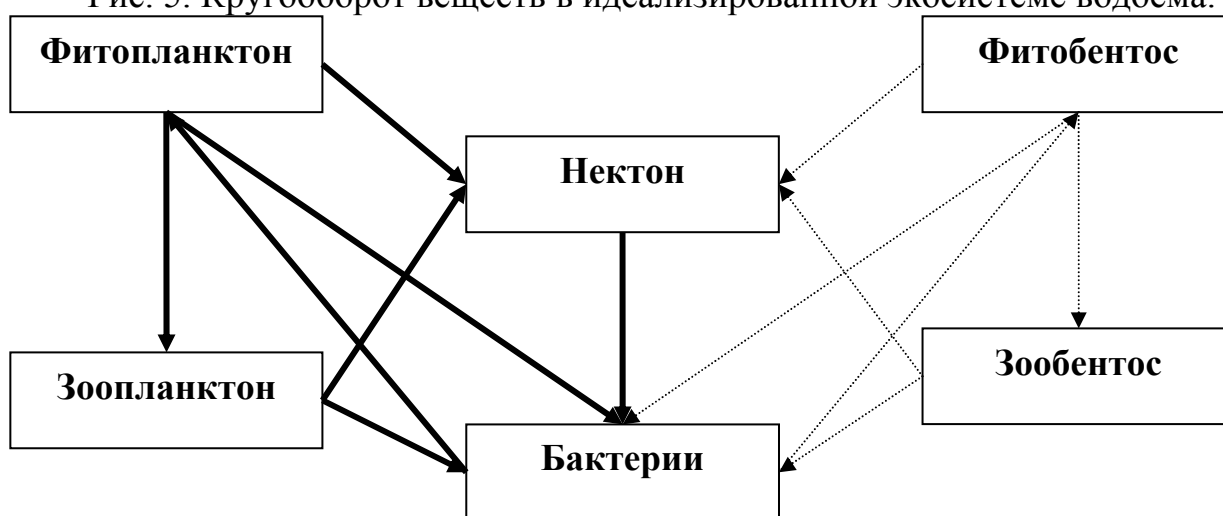


Рис. 6. Кругооборот веществ в идеализированной экосистеме гидробиоценоза циклического типа (лентического). Жирные стрелки – основные потоки вещества, тонкие – второстепенные.

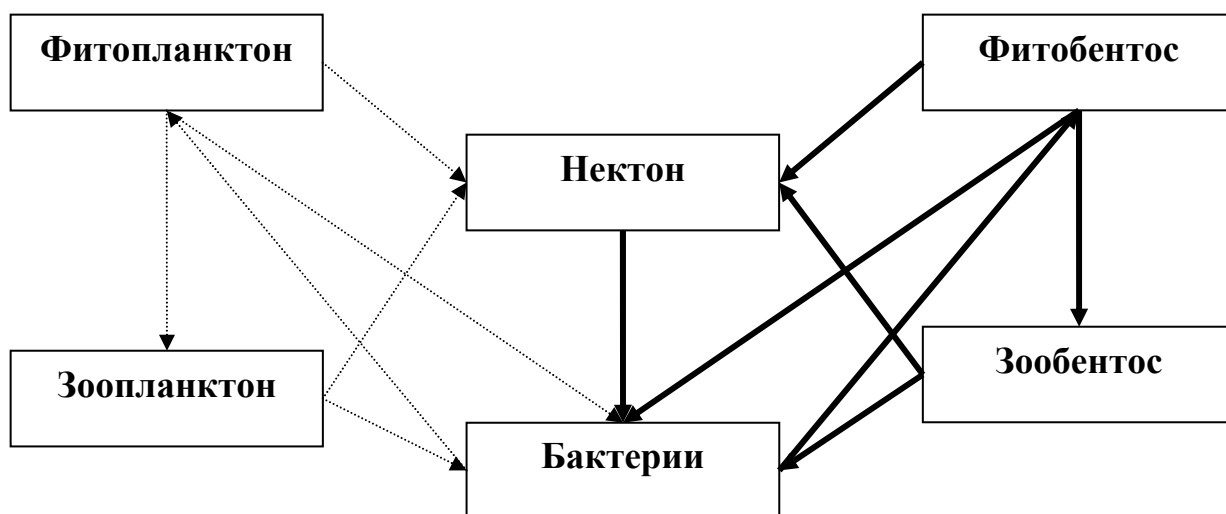


Рис. 7. Кругооборот вещества в идеализированной экосистеме гидробиоценоза транзитного типа (лотического).

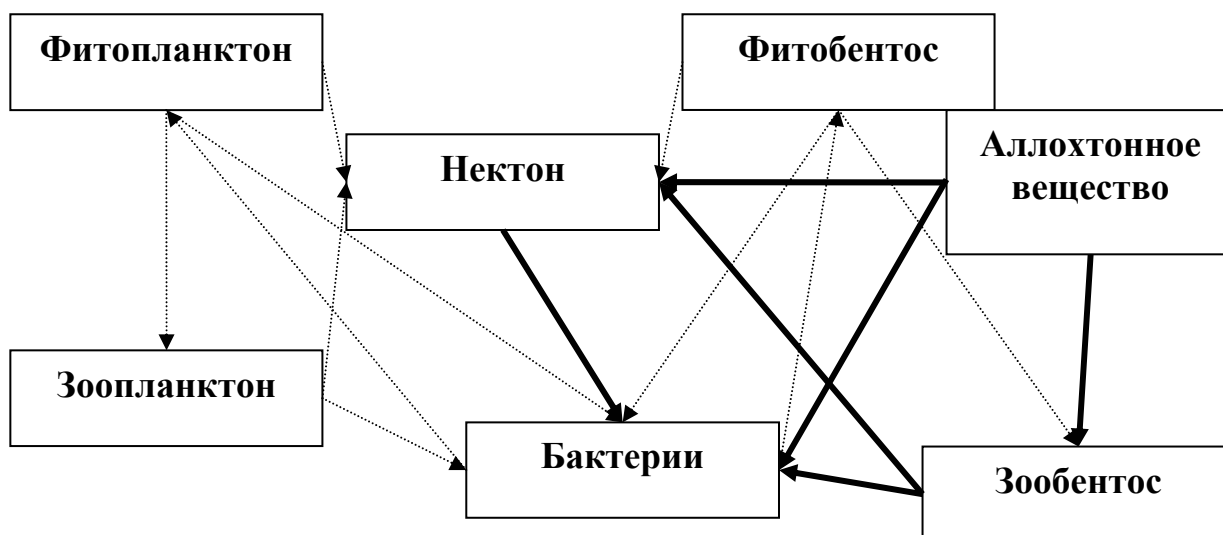


Рис. 8. Кругооборот вещества в идеализированной аллохтонной экосистеме гидробиоценоза транзитного типа (лотического).

14 БИОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР

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

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

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

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

Отличительным признаком олиготрофных водоемов является высокая прозрачность воды благодаря низкой численности планктонных водорослей, обусловленной низким содержанием биогенов. Содержание кислорода в воде в течение всего года близко к насыщению. Из-за малости биомассы первичных продуцентов биомассы на высших трофических уровнях также невысоки. Дно

водоемов песчаное или каменистое. Это, как правило, относительно глубокие и узкие озера. При малости биомасс компонентов, отличаются высоким разнообразием состава. Фауна и флора представлены характерными для олиготрофных водоемов видами.

Эвтрофные водоемы. Простейшим индикатором эвтрофности является низкая прозрачность воды, вызванная массовым развитием планктонных водорослей. Желто-зеленый цвет типичен для эвтрофных вод. Высокое содержание биогенов и варьирующее содержание кислорода. Концентрация кислорода в гипolimнионе значительно снижается как во время летней стратификации, так и подо льдом зимой. Во всех эвтрофных озерах вода в эвфотическом слое перенасыщена кислородом в дневное время суток благодаря фотосинтезу, а в ночное время уровень содержания кислорода падает из-за дыхания. Донные осадки эвтрофных озер чрезвычайно богаты биогенами, благодаря накоплению органического вещества, поступающего из фотической зоны. Поначалу, это ведет к росту биомассы укорененных макрофитов. Затем рост фитопланктона затеняет погруженные растения. Плотные заросли полупогруженных макрофитов от этого не страдают и часто присутствуют вдоль берегов эвтрофных озер. Важной чертой эвтрофных озер является значительный урожай на корню, на всех уровнях пищевой цепи, включая рыб. Эвтрофные озера, как правило, очень рыбопродуктивны. Из-за пониженного содержания кислорода и расположения в теплых низинах в эвтрофных озерах редко встречается форель. Летние и зимние заморы рыбы типичны для эвтрофных вод. В настоящее время эта классификация имеет следующий вид (см. таблицы 1, 2).

Таблица 1

Уровень биогенов, биомассы и продуктивности озер разных трофических категорий

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

Таблица 2

Некоторые лимнологические характеристики озер

	Эвтрофные	Олиготрофные	Дистрофные
Морфометрия			
Форма озера	Широкое, мелкое	Узкое и глубокое	Маленькое и мелкое
Дно озера покрыто	Мелкий органический ил	Камни и неорганический ил	Торфяной ил
Берег озера	Заросший	Каменистый	Каменистый или торфяной
Оптические свойства			
Прозрачность воды	Низкая	Высокая	Низкая
Цвет воды	Желтый, зеленый	Зеленый, голубой	Коричневый
Гидрохимия			
Растворенные вещества	Высокое содержание, много азота, кальция	Низкая минерализация, мало азота	Низкая минерализация, мало кальция
Взвешенные вещества	Много	Мало	Мало
Кислород	Высокое содержание у поверхности, низкое под термоклином и льдом	Высокое	Высокое
Растения			
Фитопланктон	Мало видов, высокая численность, Cyanophyta	Много видов, низкая численность, Chlorophyta	Мало видов, мало особей
Макрофиты	Много видов, обильны на мелководье	Много видов, встречается обилие в глубоких водах	Мало видов, некоторые обильны на мелководье
Животные			
Зоопланктон	Мало видов, многочисленны	Много видов, малая концентрация	Мало видов, мало особей
Зообентос	Мало видов, обильны	Много видов, низкая концентрация	Мало видов, малочисленны
Рыбы	Много видов, Cyprinidae	Мало видов, Salmonidae	Часто отсутствуют

15 МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СУКЦЕССИИ В ВОДОЕМАХ

Одна из концепций **сукцессии** озерных экосистем предполагает, что озера проходят последовательно разные трофности, начиная с олиготрофности. Последней стадией является эвтрофия, затем озеро замещается болотом и, наконец, сушей. Эта концепция получила название старения озер. Теории сукцессии озер основывались на ярких примерах сукцессии маленьких горных водоемов и под влиянием развития идей сукцессии для наземных биоценозов. Тем не менее, **сукцессия и климакс** обоснованы теоретически для озер не так хорошо, как для экосистем суши. Фактически, рассмотрение озер мира приводит к выводу, что идея изменения от олиготрофности к эвтрофности через мезотрофность является только одним возможным путем развития озера.

В действительности, два главных фактора контролируют эвтрофирование озера:

средняя глубина озера;

размеры и **плодородие** его бассейна.

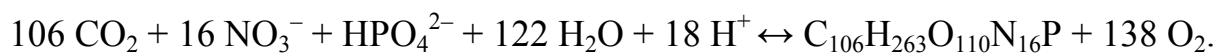
Скорость, с которой озеро движется к эвтрофности, определяется колебаниями местных климатических условий, особенно температурой и осадками. Существуют палеолимнологические свидетельства того, что озеро может становиться эвтрофным и возвращаться к олиготрофии. Этот цикл может повторяться несколько раз.

Теперь мы можем определить *эвтрофирование как нарушение баланса питательных веществ водной экосистемы, ведущее к изменению ее трофического статуса.*

16 ВЛИЯНИЕ БИОГЕНОВ НА ЛИМИТАЦИЮ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

Для **протоплазмы** нормальным соотношением весов главных структурных химических элементов является 1P:7N:40C, т.е., на два грамма фосфора приходится 14 граммов азота и 80 граммов углерода на один килограмм живого

веса (сырой биомассы) организмов. Т.е., если учитывать азот и фосфор в уравнении **фотосинтеза/дыхания**, мы получим:



Считая, что источником углерода для водорослей является повсеместно имеющаяся углекислота, можно заключить, что ограничивать (лимитировать) интенсивность новообразования органического вещества (первичной продукции) могут азот и фосфор. Если в системе присутствует только 1 г фосфора и 7 г азота, масса органического вещества не может превысить 500 г. Идентичный результат будет, если фосфора будет 10 г, а азота 7 г. Или азота – 50 г, а фосфора – 1 г. Таким образом, лимитирующим фактором неизбежно выступает тот элемент, пропорция которого в среде меньше, чем **стехиометрическое соотношение для протоплазмы**.

Если в водоеме соотношение числа атомов растворенных форм азота к числу атомов растворенного фосфора превышает 16:1 (7:1 по весовой концентрации), мы наблюдаем лимитирование по фосфору. Привнесение минеральных или органических соединений фосфора в такой водоем должно вызвать развитие водорослей. Если соотношение азота и фосфора меньше 16:7 (7:1, соответственно), то водоем лимитирован по азоту и вспышку развития водных растений вызовет добавка азота.

17 ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОДОЕМОВ. АНТРОПОГЕННОЕ

ЭВТРОФИРОВАНИЕ: ПРИЧИНЫ И КОНТРОЛЬ

Важное последствие бытового загрязнения вытекает из того, что коммунальные сточные воды, кроме большого количества органических веществ, несут и много биогенных элементов. Результатом этого становится антропогенное эвтрофирование водоемов и водотоков. Ряд авторов разделяет эвтрофирование – естественный процесс старения экосистем водоемов и эвтрофикацию, антропогенную или экспериментальную. Было даже предложено этот процесс именовать дистрификацией. В отечественной литературе, в отличие от англоязычной, где термин один (eutrophication)

существуют варианты термина: *эвтрофирование, эвтрофикация, эвтрофизация, эвтрификация, эвтрофия, евтрофирование, евтрификация, евтрофия*. Особо нужно выделить английский термин – в англоязычной литературе «антропогенное» эвтрофирование называется «культурным» (cultural eutrophication).

17.1 Агенты эвтрофирования

Главными агентами эвтрофирования могут выступать соединения азота и фосфора, главным образом, в виде нитратов и фосфатов.

В конце 1960-х было широко распространено убеждение о загрязнении рек, озер и подземных вод нитратами из бытовых сточных вод, сточных вод животноводческих комплексов и, особенно, возделываемых полей. Наибольшие опасения вызывал тот факт, что высокое содержание нитратов в воде может вызвать заболевания. Например, метгемоглобинемию, или синдром «blue-baby» – у детей младше 6 мес. Заболевание это чрезвычайно редкое, но между 1945 и 1960 в мире было зарегистрировано 2000 его случаев. В США погиб 41 младенец, в Европе – 80. Нитраты подозревались и в том, что они могут реагировать с аминами и амидами с образованием канцерогенов: нитрозаминов и нитрозамидов. Экспериментальные исследования сняли эти подозрения. Главной угрозой, которую представляют нитраты для окружающей среды, является эвтрофирование водоемов.

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, неправильное использование земель).
- Сбросы детергентов, содержащих фосфаты.
- Поступление нитратов из атмосферы.

17.2 Стадии эвтрофирования

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, увеличивается 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.

Опасности эвтрофирования подвергаются даже моря. Так, в настоящее время Северное море получает азота в 4 раза больше фонового уровня, фосфатов в 7 раз больше фонового. От этого прироста 37% азота и 68% фосфата – из бытовых сточных вод, 60% азота и 25% фосфатов – из сельскохозяйственных смывов.

17.3 Хозяйственные последствия эвтрофирования

Обильная растительность может препятствовать движению воды и водного транспорта, вода может стать непригодной для питья даже после обработки, рекреационная ценность водоема может снизиться, могут исчезнуть коммерчески важные виды (такие как форель). Наконец, эвтрофирование приводит к вспышкам «цветения» (массового развития) водорослей.

Цветение водорослей наносит двойной ущерб водной системе. Во-первых, они снижают освещенность, вызывая гибель водных растений. Тем самым нарушаются естественные местообитания многих гидробионтов. Во-вторых, при отмирании водорослей потребляется много кислорода, что может привести к тем же последствиям, что и прямое внесение органики в воду. В 1988, 1989 в восточном Северном море наблюдалась вспышка развития *Chrysochromulina* sp. в богатых биогенами водах, выносимых Рейном. При этом были отмечены массовые заморы рыбы в шведских и норвежских водах.

Для обозначения цветения вод в английском языке используется термин *discoloured waters*. Кроме того, есть специальные термины для массового развития конкретных видов водорослей. Так, *brown tide* (бурый прилив) – массовое развитие *Phaeocystis* sp., *red tide* (красный прилив) – обычно вызывается массовым развитием *Gymnodinium* sp., *Mesodinium* sp.

Кроме обогащения воды легкоокисляемой органикой, приводящей к заморам, водоросли способны продуцировать и токсические вещества (**альготоксины**). Так, *Alexandrium tamarense* вырабатывает сакситоксин нервно-паралитического действия, аккумулируемый съедобными моллюсками. *Prymnesium parvum* выделяет вещества, высокотоксичные для рыб. Токсины, образуемые *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena* действуют на печень и могут быть нейротоксичны. Например, в 1989 г. при массовом развитии сине-зеленых водорослей в английских озерах погибло несколько собак.

17.4 Борьба с эвтрофированием

Как и любые меры по охране окружающей среды борьба с эвтрофированием складывается из двух групп методов: восстановительных и профилактических.

Восстановительные методы включают в себя:

- отвод стока для снятия нагрузки по биогенам;
- разбавление вод для снижения концентрации биогенных элементов;
- углубление дна для увеличения объема гипolimниона;

- драгирование для изъятия биогенных элементов, депонированных в донных осадках;
- изъятие вод из гиполимниона;
- спуск водохранилищ;
- химическую обработку для связывания и осаждения биогенных элементов или уничтожения водорослей;
- нарушение стратификации и реэрацию;
- сбор фитомассы и биоманипуляцию.

Профилактические методы, используемые для предотвращения эвтрофирования:

- контроль сброса биогенных веществ;
- удаление биогенных веществ из сточных вод;
- использование предварительных отстойников;
- стратегическая перестройка управления водопользованием в бассейне.

18 РОЛЬ БИОТЫ В САМООЧИЩЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Самоочищение. Роль физических, химических, биологических процессов в самоочищении водоемов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Авакян А. Б. Водоохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М.: Мысль, 1987. – 325 с.
- Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А. Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
- Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования экосистем / А. Ф. Алимов. – СПб.: ЗИН РАН, 2000. – 147 с.
- Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов / И. А. Киселев. – Л.: Наука, 1969. – Т. 1. Вводные и общие вопросы планктологии. – 658 с. – 1980 – Т. 2. Распределение, сезонная динамика и значение. – 440 с.

- Кожова О. М. Введение в гидробиологию / О. М. Кожова; Учеб. пособие. – Красноярск, 1987. – 244 с.
- Константинов А. С. Общая гидробиология / А. С. Константинов; Учеб. пособие. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1986. – 472 с.
- Одум Ю. Экология. В 2 т. / Ю. Одум; Пер. с англ. Ю. М. Фролова; Под ред. В. Е. Соколова. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328 с.; Т. 2. – 376 с.
- Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н. Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1996. – 367 с.
- Страшкраба М. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / М. Страшкраба, А. Гнаука; Пер. с англ. В. А. Пучкина; Под ред. В. И. Беляева. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
- Хатчинсон Д. Э. Лимнология / Д. Э. Хатчинсон; Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1969. – 591 с.
- Хендерсон–Селлерс Б. Инженерная лимнология / Б. Хендерсон; Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 335 с.
- Хендерсон–Селлерс Б. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон–Селлерс, Х. Р. Маркленд; Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 487 с.
- Шитиков В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
- Шитиков В. К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко: Ин-т экологии Волжс. Бассейна. – М.: Наука, 2005. – Кн.1. – 281 с. – Кн.2. – 337 с.
- Эдельштейн К. К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998. – 277 с.
- Эрхард Ж. П. Планктон / Ж. П. Эрхард, Ж. Сежен; пер. с франц. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 256 с.

Дополнительная

- Аксенов С. И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов / С. И. Аксенов. – М.: Наука, 1990. – 117 с.
- Виноградова М. Е. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана / М. Е. Виноградова, Э. А. Шушкина. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
- Гольд З.Г. Словарь терминов и понятий по водным экосистемам (биологическая структура, качество вод, охрана): Учебно-метод. пособие / З. Г. Гольд, И. И. Морозова; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 2004. – 94 с.
- Дмитриевский Ю. Д. Озера Африки / Ю. Д. Дмитриевский, И. Н. Олейников. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 184 с.
- Гутельмахер Б. Л. Метаболизм планктона как единого целого: трофометаболические взаимодействия зоо– и фитопланктона / Б. Л. Гутельмахер. – Л.: Наука, 1986. – 155 с.
- Зилов Е. А. Модельные экосистемы и модели экосистем в гидробиологии / Е. А. Зилов, Д. И. Стом. – Иркутск: Изд-во ун-та, 1992. – 72 с.
- Израэль Ю. А. Антропогенная экология океана / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
- Камшилов М. М. Эволюция биосферы / М. М. Камшилов. – М.: Наука, 1979. – 256 с.
- Кожова О. М. Прогноз состояния водных экосистем и приемы экологической оценки действия антропогенных факторов / О. М. Кожова // Прогнозирование экологических процессов. – Новосибирск, 1986. – С. 27–34.
- Крючкова Н. М. Трофические взаимоотношения зоо– и фитопланктона / Н. М. Крючкова. – М.: Наука, 1989. – 124 с.
- Лосев К. С. Вода / К. С. Лосев. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 272 с.
- Маргалев Р. Облик биосферы / Р. Маргалев. – М.: Наука, 1992. – 214 с.
- Методические аспекты лимнологического мониторинга. – Л.: Наука, 1988. – 177 с.

- Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – М.: Высш. шк., 2005. – 463 с.
- Михайловский Г. Е. Жизнь и ее организация в пелагиали Мирового океана / Г. Е. Михайловский. – М.: Наука, 1992. – 270 с.
- Михайловский Г. Е. Описание и оценка состояния планктонных сообществ / Г. Е. Михайловский. – М.: Наука, 1988. – 214 с.
- Мусатов А. П. Пространственно–временная структура водных экосистем / А. П. Мусатов. – М.: Наука, 1994. – 118 с.
- Никаноров А. М. Гидрохимия / А. М. Никаноров. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 352 с.
- Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на Земле / Ю. В. Новиков, М. М. Сайфутдинов. – М.: Наука, 1981. – 184 с.
- Посохов Е. В. Химическая эволюция гидросферы / Е. В. Посохов. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 285 с.
- Синюков В. В. Вода известная и неизвестная / В. В. Синюков. – М.: Знание, 1987. – 176 с.

Для углубленного изучения курса

- Алексеев В. А. Основа биоиндикации качества поверхностных вод на уровне организмов / В. А. Алексеев // Водные ресурсы. – 1984. – № 2. – С. 107–121.
- Алексеев В. В. Теоретические и экспериментальные исследования экологических систем / В. В. Алексеев // Итоги науки и техники. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. – М., 1980. – Т. 5. – С. 58 – 104.
- Алимов А. Ф. Подходы к оценке состояния водных экосистем / А. Ф. Алимов, Е. В. Балущкина, А. А. Умнов // Экологическая экспертиза и критерии экологического нормирования. – СПб.: СПбНЦ РАН, 1996. – С. 37 - 47.
- Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов / А. И. Баканов // Биол. внутр. вод. – 2000. – № 1. – С. 68-82.

- Баканов А. И. Использование комбинированных индексов для мониторинга пресноводных водоемов по зообентосу / А. И. Баканов // Водн. ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 1. – С. 108-111.
- Баканов А. И. О некоторых методологических вопросах применения системного подхода для изучения структур водных экосистем / А. И. Баканов // Биол. внутр. вод. – 2000. – № 2. – С. 5-18.
- Баканов А. И. Способ ранжирования гидробиологических данных в зависимости от экологической обстановки в водоеме / А. И. Баканов // Биол. внутр. вод. – 1997. – № 1. – С. 53-58.
- Балушкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ / Е. В. Балушкина // Реакция озерных экосистем на изменение внешних условий. – СПб.: ЗИН РАН, 1997. – С. 266-292.
- Балушкина Е. В. Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: оценка качества вод р. Ижоры по структурным характеристикам донных животных в разные годы / Е. В. Балушкина // Биол. внутр. вод. – 2002. – № 4. – С. 61-68.
- Башкин В. Н. Оценка степени риска при критических нагрузках загрязняющих веществ на экосистемы / В. Н. Башкин // География и природные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 35-39.
- Изместьева Л. Р. Опыт организации гидробиологического мониторинга / Л. Р. Изместьева, О. М. Кожова // Методология оценки состояния экосистем. – Новосибирск, 1998. – С. 95 – 110.
- Изместьева Л. Р. Опыт организации гидробиологического мониторинга и создания ГИС / Л. Р. Изместьева, О. М. Кожова // Методология оценки состояния экосистем. – Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2000. – С. 96–105.
- Golterman H. L. *Physiological Limnology* / H. L. Golterman. – Amsterdam: Elsevier, 1975. – 490 p.
- Hashimoto M. (Ed.) *Socio-Economic Aspects of Lake Reservoir Management*. – Shiga: ILEC, 1991. – 229 p.

- Henderson–Sellers B. *Engineering Limnology* / B. Henderson–Sellers. – Boston, London, Melbourne: Pitman Advanced Publishing Program, 1984. – 336 p.
- Hill I. R. *et al.* (Ed.) *Freshwater Field Tests for Hazard Assessment of Chemicals*. – Boca Raton: Lewis Publishers, 1994 – 562 p.
- Horne A. J. *Limnology* / A. J. Horne, C. R. Goldman. – McGraw–Hill, Inc., 1994.
- Jørgensen S. E. (Ed.) *Management of Lake Acidification*. – Shiga: ILEC, 1993. – 195 p.
- Jørgensen S. E., Löffler H. (Eds.) *Lake Shore Management*. – Shiga: ILEC, 1990. – 174 p.
- Jørgensen S. E., Vollenweider R. A. (Eds.) *Principles of Lake Management*. – Shiga: ILEC, 1988. – 200 p.
- Kalbe L. *Limnische Oekologie* / L. Kalbe. – Stuttgart; Leipzig: B.G.Teubner–Verlagsgesellschaft, 1997. – 296 S.
- Kalff J. *Limnology: Inland Water Ecosystems*/ J. Kalff. – Prentice Hall, 2002.
- Kausch H. & W. Lampert (Hrsg.) *Ergebnisse der Limnologie*. – Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1994. – 508 S.
- Lalli C. M. (Ed.) *Enclosed Experimental Marine Ecosystems: A Review and Recommendations*. – New York: Springer Verlag, 1990. – 218 p.
- Lampert W., Sommer U. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams* / W. Lampert, U. Sommer. – Oxford: University Press, 1997. – 382 p
- Margalef R. *Limnologia* / R. Margalef. – Barcelona: Omega, 1983. – 1010 p.
- Matsui S. (Ed.) *Toxic Substances Management in Lakes and Reservoirs*. – Shiga: ILEC, 1991. – 170 p.
- Schwoerbel J. *Handbook of Limnology* / J. Schworbel. – New York: J. Wiley & Sons, 1987. – 228 p.
- Shi Y. (Ed.) *ANSWER'97*. – Nanjing, 1997. – 602 p.
- Straskraba M. *Reservoir Water Quality Management* / M. Straskraba, J. G. Tundisi. – Shiga: ILEC, 1999. – 230 p.
- Sustainable Lake Management*. – Copenhagen, 1999. – 900 p.

ГИДРОБИОЛОГИЯ И ВОДНАЯ ЭКОЛОГИЯ:

Предмет, методы, цели и задачи, история, терминология гидробиологии

Методические указания

Составитель: Зилов Евгений Анатольевич

Подготовлено к печати
Верстка

М. А. Айзиман
И. В. Карташова-Никитина

Темплан 2006 г. Поз. 42. Подписано в печать _____ Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ.л. 1,6.

Уч.-изд.л.1.5. Тираж 100 экз. План 2005 г. Поз. 41. Зак.

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

Иркутского государственного университета

664003, Иркутск, бульвар Гагарина, 36