

**Е. В. Логинова, П. С. Лопух**

# **ГИДРОЭКОЛОГИЯ**

**Учебное пособие**

**Е. В. Логинова, П. С. Лопух**

# **ГИДРОЭКОЛОГИЯ**

*Курс лекций*

**МИНСК  
БГУ  
2011**

**УДК 502.51(28)**  
**ББК 20.18**

**Р е ц е н з е н т ы:**

Доктор географических наук, профессор *А.А. Волчек*;  
Доктор географических наук, главный научный сотрудник Ин-  
ститута природопользования НАН Беларуси *Т. И. Кухарчик*

**Логинова, Е.В., Лопух П.С.**

В 70 Гидроэкология: курс лекций / Логинова, Е.В., Ло-  
пух П.С. – Минск: БГУ, 2011.– 300 с. : ил.  
ISBN

В курсе лекций рассматриваются вопросы экологии водных  
объектов, особенности их режима, качественные характеристики их  
вод.

Предназначается для студентов географического факультета  
БГУ специальности гидрометеорология

**УДК 502.51(28)**  
**ББК 20.18**

ISBN

**© Логинова Е.В.,  
Лопух П.С., 2011  
© БГУ, 2011**

## Введение

В цикле гидрологических наук экология занимает одно из ведущих положений. Во многих университетах страны со середины 80-х годов наряду с курсом «Общая экология», «Экология», «Геоэкология» на природоведческих факультетах читаются общие профессиональные курсы с учетом специфики специальности. Так, для гидрогеологов читается курс «Экологическая гидрогеология», «Экологическая геохимия», и др. Внутри многих наук сформировались научные направления, занимающиеся проблемами экологии и охраны окружающей среды. Процесс формирования прикладных направлений продолжается.

Специальный курс «Гидроэкология» читается для студентов производственного направления «Гидрометеорология» в рамках специальности «География». В курсе рассматриваются как общие вопросы экологии гидросферы, так и региональные особенности водоемов и водотоков Беларуси. В отличие от других направлений «Гидроэкология» имеет свой объект и предмет исследования. Однако, авторам пока не удалось отойти от общих вопросов экологии. Поэтому отдельные вопросы гидроэкологии включают общие вопросы экологии, основные законы и постулаты экологии (Реймерс Н.Д.).

В учебном пособии сделана попытка на фоне вопросов общей гидроэкологии рассмотреть вопросы гидроэкологии малых озер, водохранилищ и рек Беларуси. Поэтому данный курс следует рассматривать как и курс региональной гидроэкологии. В связи с этим наряду со сформировавшимися новыми направлениями в белорусской лимнологической школе «Лимнология», «Озероведение», «Гидрология водохранилищ», «Гидрология прудов» целесообразно выделить и самостоятельные гидроэкологические курсы регионального плана: «Гидроэкология озер», «Гидроэкология водохранилищ», «Гидроэкология прудов», «Гидроэкология рек». В совокупности они представляют собой самостоятельные разделы «Гидроэкологии».

При изучении гидроэкологических вопросов водотоков и водоемов они рассматриваются в тесной связи с водосбором. «Водосбор – водоем (водоток)» представляют единую гидроэкосистему. «Гидроэкосистема» – понятие, отражающее целостность водоема или водотока, характеризующее взаимосвязь с водосбором, единство процессов, протекающих в них. Поэтому гидроэкология как самостоятельная наука наряду со специальными гидрологическими, использует все ме-

тоды исследований, используемых в физической географии.

Процесс формирования гидроэкологии как самостоятельного курса продолжается и будет развиваться параллельно гидрологии и гидрологии отдельных водоемов. Поэтому авторы просят высказать свои замечания и пожелания по содержанию курса, которые будут учтены авторами в дальнейшей работе.

# **Глава 1. ГИДРОЭКОЛОГИЯ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК**

## **1.1. Гидроэкология как самостоятельная наука**

Истоки гидроэкологии уходят в далекое прошлое и связаны с необходимостью добычи пищи на стадии становления и развития человеческого общества, со становлением и формированием экологии и геоэкологии. Термин экология (экос – дом, логос – учение, гр.) в науку ввел немецкий биолог Эрнест Геккель. В 1866 году в работе "Всеобщая морфология организмов" он писал: "...суммы знаний, относящихся к экономике природы: изучению всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и, прежде всего – его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт".

Это определение позволяет отнести экологию к биологическим наукам. В последующем, содержание понятия экологии многократно расширилось. Под ней стали понимать науку, изучающую среду обитания всех живых существ, включая человека. Иногда уместно ограничить содержание экологии лишь природной средой. В этом случае гидроэкологию можно рассматривать как «водную экологию». Воздействуя на водные объекты и изменяя их, человек тем самым меняет условия существования не только растений и животных, но и самого себя, человек сам попадает под воздействие производства и измененной природы. Поэтому правомерно рассматривать всю окружающую человека среду.

И не только природную, но также социальную и производственную. Поскольку взаимодействие организмов между собой и окружающей их средой всегда системно, то есть всегда реализуется в форме некоторых систем взаимосвязей, поддерживающихся обменом вещества, энергии и информации. Поэтому основным объектом исследования гидроэкологии являются водные экосистемы. Самой крупной в иерархии экосистем в гидроэкологии является гидросфера, в экологии – биосфера.

Учение о биосфере – это обширная область знания о функционировании и развитии биосферы, включающая в себя целый ряд науч-

ных направлений естественнонаучного и общественного профиля. Учение о биосфере в том числе включает в себя общую экологию, которая состоит из четырех основных разделов: биоэкологии, геоэкологии, экологии человека и прикладной экологии (рис.1.1.).

Гидроэкология представляет собой часть географической экологии, но на качественно более высоком уровне. Гидроэкология – результат дифференцирования общей экологии и геоэкологии, процесса характерного для большинства естественных наук. Многие научные исследования в настоящее время проводятся на стыке гидрологии, биологии, экологии, географии. Поэтому можно характеризовать гидроэкологию как результат интеграции этих наук.

*Биоэкология* состоит из экологий естественных биологических систем: особей, видов (аутоэкология), популяций и сообществ (синэкология) и экологии биоценозов. Эволюционная экология рассматривает экологические аспекты эволюции биологических систем.



**Рис 1.1. Структура общей экологии (по В.Ф. Попову)**

*Географическая экология (геоэкология)* изучает биосферные оболочки Земли, в том числе подземную гидросферу, как компоненты окружающей среды, минеральную основу биосферы и происходящие в них изменения под влиянием природных и техногенных процессов. Геоэкологические исследования носят комплексный характер и вклю-

чают в себя изучение ландшафтов, почв, поверхностных и подземных вод, горных пород, воздуха, растительного покрова. Геоэкология, таким образом, требует интеграции геологии и географии, почвоведения и геохимии, гидрогеологии и гидрологии, горных наук в единую систему знаний о геологической и географической средах как единой геоэкологической среде.

*Экология человека* – комплекс дисциплин, исследующих взаимодействие человека как биологической особи (биоэкология человека) и личности с окружающей его природной, социальной и культурной средами. Здоровье людей связано с экологической обстановкой и образом жизни (медицинская экология), на человека оказывает влияние среда морали, воззрений, традиций и трудно уловимой духовности (экология духа).

*Прикладная экология* представлена комплексом дисциплин, связанных с различными областями человеческой деятельности и взаимоотношений между человеком и природой. Она исследует механизмы техногенных и антропогенных воздействий на экосистемы, формирует экологические критерии и нормативы в промышленности, транспорте и сельском хозяйстве (экология природно-технических геосистем (ПТГС) и сельскохозяйственная экология). *Инженерная экология* изучает законы формирования техносферы и способы инженерной защиты природной среды. *Экологический менеджмент* изучает управление взаимодействием общества и природы на основе использования экономических, административных, социальных, технологических и информационных факторов с целью достижения планируемого качества (состояния) окружающей среды. *Экологическое образование* формирует экологическое мышление, под которым понимается состояние человеческого познания и нравственности, обеспечивающее анализ и последующий синтез взаимосвязанных природных и техногенных объектов и процессов, как основу прогнозирования их развития и приоритетного выбора оптимальных в экологическом отношении решений и действий.

Таким образом, в последние десятилетия экология фактически вышла за рамки только биологии и переживает развитие в различных направлениях. Современная экология не только изучает законы функционирования природных и техногенных систем, но и ищет пути гармонического взаимоотношения природы и общества. От характера которого зависит не только здоровье людей и их экономическое процве-

тание, но и сохранение человека как биологического вида. Решение экологических проблем требует огромной работы во всех областях науки и техники. Поэтому идеи и проблемы экологии всемерно проникают в другие научные дисциплины и внедряются в общественное развитие. Этот процесс называется *экологизацией*. Поэтому *гидроэкология*, как составная часть географической экологии имеет непосредственный практический аспект. Исходя из этого гидроэкология это наука, которая изучает:

1) общие законы функционирования гидроэкосистем различного порядка (раздел гидрологии);

2) живые системы в их взаимодействии с водной средой (одно из направлений биологических науки);

3) комплексная наука, синтезирующая данные естественных и общественных наук о природе и взаимодействии общества и природы (географическая экология);

4) особые экологические подходы к исследованию проблем взаимодействия организмов, биосистем и преимущественно водной среды (методология и методика исследований);

5) совокупность научных и практических проблем взаимоотношений человека и водных объектов (экологические проблемы).

Развиваясь на стыке географии и биологии гидроэкология имеет два аспекта. С биологической точки зрения гидроэкология – это наука о взаимоотношениях организмов, обитающих в водной среде, между собой и с окружающей их неорганической средой, о связях в надорганизменных системах, о структуре и функционировании этих систем. С географической точки зрения, гидроэкология – наука, изучающая исключительно свойства водных объектов, занимается изучением особенностей водных объектов в современных условиях, их качественных характеристик, прогнозированием изменения количества и качества водных ресурсов водоемов и водотоков.

Другими словами, гидроэкология – это научная дисциплина, которая занимается изучением влияния природных и антропогенных факторов на процессы, происходящие в водоемах и водотоках.

## 1.2. Предмет и задачи гидроэкологии

*Объектом изучения* гидроэкологии являются водные экосистемы (*гидроэкосистемы*) в их связи с окружающей средой. Это водотоки и водоемы, как сложные природные и природно-технические системы, находящиеся под влиянием хозяйственной деятельности общества.

*Предметом изучения* гидроэкологии является вода как активная среда, воздействующая на берега, русло и природные и хозяйственные объекты, ее экологическое состояние, закономерности развития гидроэкосистем под влиянием внутренних (биотических) и внешних (в основном абиотических и антропогенных) факторов, а также способы защиты гидроэкосистем от загрязнения и истощения, пути принятия решений для улучшения качества водной среды. В связи с этим в состав дисциплины «Гидроэкология» включены основные данные о физико-химических и биологических свойствах воды, гидробионтов, русловых процессах, роли гидробионтов в процессах самоочищения воды, комплексном использовании водных ресурсов в хозяйстве, негативных воздействиях природного и антропогенного характера на гидроэкосистемы, внедрение экологически безопасных технологий.

*Общими задачами гидроэкологии* являются:

- Выявление природных и антропогенных факторов, воздействующих на гидроэкосистемы;
- Оценка экологического состояния водных объектов по различным показателям;
- Оценка действующей системы мониторинга за состоянием водной среды.
- Оценка экологической напряженности и стадий развития гидроэкосистем;
- Решение задач по предотвращению и ликвидации ситуаций природного и техногенного характера;
- Оценка экономических и социальных последствий антропогенного влияния на гидроэкосистемы.

Гидроэкология возникла на стыке экологии и других научных дисциплин (медицины, педагогики, юриспруденции, химии, технологии, агрономии и так далее). Поэтому в широком смысле слова гидроэкология выходит за рамки чисто географической и биологической отраслей знаний.

К экологии иногда неверно относят такие дисциплины как природопользование и охрана природы. Однако в последнее время стало ясно, что нельзя организовывать природопользование и охрану природу, не применяя экологических методов и не используя экологические знания. Только знания о взаимосвязи природных объектов, об устойчивости природных систем может определить возможные механизмы взаимодействия с ними. Этим и объясняется справедливый всеобщий интерес к экологии как науке о взаимосвязях живых организмов и окружающей их среды.

В связи с тем, что гидроэкология – наука гидрологического цикла, она тесно связана с гидрологией, использует данные, полученными при гидрологических исследованиях. Такие, например, как температура воды, ледовые явления, характеристика наносов, морфометрические показатели водоемов и другие. Гидроэкология часто пользуется знаниями, используемые в гидротехнике. Данные используются для оценки качества воды, последствий гидротехнического строительства.

Гидроэкология как наука тесно связана с *гидрохимией*, так как у нее есть общий предмет изучения – экологическое (гидрохимическое) состояние воды водоемов и водотоков.

Тесна связь также с *гидробиологией* и *биоэкологией* – дисциплинами биологического цикла, изучающими условия развития гидробионтов и их реакции на поллютанты.

Общие проблемы также есть с науками ветеринарно-медицинскими, например, с *ихтиопатологией* и *водной токсикологией*.

С науками экономического цикла – поскольку среди задач гидроэкологии существует задача поиска наименее затратных и экологических решений по улучшению качества водной среды. Такая связь, например, существует с экономикой природопользования, так как в гидроэкологии часто приходится решать задачи, связанные с подсчетом материального ущерба от загрязнения и истощения водных и биологических ресурсов.

Гидроэкология тесно связана с частными экологиями: экологией растений (геоботаникой), лесоведением, почвоведением, экологией животных, гидробиологией, экологией человека, биоценологией, ландшафтоведением и др.

### 1.3. История развития гидроэкологии

Область знаний, отражающая взаимоотношение живых тел и различного рода их объединений с неживым и живым окружением имеет более чем 2000-летнюю историю. Но, только в середине XIX века эта область знаний, благодаря трудам К.Ф.Рулье и Э.Геккеля, приобрела статус самостоятельной науки. В своих работах, опубликованных в 1866 и 1868 гг. Эрнст Геккель так определяет новую науку: "Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего – его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт.

Современная гидроэкология вбирает в себя проблемы окружающей среды, использует науки о Земле, физику, химию, компьютерные науки и т.д. развивалась вместе с экологией. В истории её развития можно выделить три этапа:

**1 этап.** С древних времён – до 60-х годов 19-го века. Первые сообщения экологического характера связаны с такими центрами древней культуры, как Китай, Египет, Индия, Греция. Уже в работах древнегреческих философов Гераклита (530 – 470 гг. до н.э.), Гиппократ (460 – 356 гг. до н.э.), Аристотеля (384 – 322 гг. до н.э.), Теофраста Эрезийского (372 – 287 гг. до н.э.), Плиния Старшего (23 – 79 гг.) и других содержатся сведения экологического характера. Например, в трактате Гиппократ «О воздухе, воде и местности» содержатся сведения о влиянии условий окружающей среды на здоровье человека. Аристотель описал 500 известных ему видов животных, особенности их поведения и приспособления к условиям окружающей среды. Ученик Аристотеля Теофраст Эрезийский – “отец ботаники”, как его часто называют, описывал особенности роста растений в разных условиях среды, зависимость их форм и особенностей их роста от грунта и климата.

В эпоху Возрождения продолжалось накопление данных о растительном и животном мире. Первые систематики Д. Цезалпин (1519 – 1603), Д.Рей (1627 – 1705), Ж.Турнефор (1556 – 1708) в своих трудах приводят сведения экологического характера, в частности, зависимость распространения растений от условий их произрастания.

Т. Мальтус ещё в 1798 г. описал уравнение экспоненциального роста популяции, на основе которого строил демографические концепции.

**2 этап.** 60–е годы 19-го века – 50–е годы 20-го века. Важный этап в становлении экологии как новой области знания. Ознаменовался выходом работ русских учёных Н.А.Северцова, В.В.Докучаева, В.И.Вернадского. Неоценимый вклад в развитие науки внёс в своё время Ч. Дарвин, которые ввёл понятие «борьба за существование». Это обстоятельство следует рассматривать как взаимодействие живых организмов с биотическими и абиотическими условиями среды.

С введением практически однозначных понятий «экосистема» А.Тенсли и «биогеоценоз» В.Н.Сукачёвым стали интенсивно развиваться экологические исследования надорганизменного уровня. Это направление широко использовало количественные методы определения функций экосистем и математическое моделирование биологических процессов.

**3 этап.** 60–е годы 20-го века – до наших дней. С середины столетия экология оказывается в центре общечеловеческих проблем, наблюдается превращение экологии в комплексную междисциплинарную науку. Продолжаются исследования свойств биосферы, начатые В.И. Вернадским.

Стало ясно, что популяция – не просто «население», т. е. сумма особей на какой-то территории, а самостоятельная биологическая (экологическая) система надорганизменного уровня, обладающая определенными функциями и механизмами авторегуляции, которые поддерживают ее самостоятельность и функциональную устойчивость. Это направление наряду с интенсивным исследованием многовидовых систем занимает важное место в современной классической экологии. Выдающимися представителями классической экологии этого периода являются Ю. Одум, Н.Ф. Реймерс, Н.П. И.А. Наумов, С.С. Шварц. Постепенно раскрывается роль многовидовых совокупностей живых организмов в осуществлении биогенного круговорота веществ и поддержании жизни на Земле.

## 1.4. Основные методы гидроэкологии

Методы могут быть подразделены на следующие три группы: общие, особенные и частные методы.

*Общие методы* касаются всей геоэкологии. Это различные формы диалектического метода, дающего возможность связывать воедино все стороны процесса познания, все его ступени. В естествознании диалектический метод выступает как сравнительный (например, в биологии, географии, химии) метод, с помощью которого раскрывается всеобщая связь явлений, или как исторический. Иногда оба этих метода сочетаются в единый сравнительно-исторический метод, который глубже и содержательней каждого из них в отдельности и широко используется в гидроэкологии.

*Особенные методы* касаются не предмета в целом, а лишь одной из его сторон (явления, сущности явления, количественной стороны) или же определенного приема исследований. К особенным методам относятся, в частности, анализ и синтез, индукция и дедукция.

Анализ (греч. analysis– разложение) и синтез (греч. synthesis– соединение) в самом общем значении– это процессы мысленного или фактического разложения целого на составные части и восстановления целого из частей соответственно. Цель анализа – познание частей как элементов сложного целого.

Синтез, напротив, есть процесс объединения в единое целое частей, свойств, отношений выделенных посредством анализа. Синтез дополняет анализ и находится с ним в неразрывном единстве.

Дедукция (от лат. deductio– выведение) – один из основных способов рассуждения (умозаключения) и методов исследования. Под дедукцией в широком смысле понимается любой вывод вообще, в более специфическом и наиболее употребительном смысле – доказательство или выведение утверждения (следствия) из одного или нескольких других утверждений (посылок) на основе законов логики, носящее достоверный характер.

Индукция (от лат. inductio– наведение) еще один тип умозаключения и метод исследования. Как форма умозаключения индукция обеспечивает возможность перехода от единичных фактов к общим положениям. В качестве метода исследования индукция понимается как путь опытного изучения явлений, в ходе которого от отдельных

фактов совершается переход к общим положениям. Отдельные факты как бы наводят на общее положение. В реальном познании индукция всегда выступает в единстве с дедукцией.

Особенными методами являются также практические методы: наблюдение, эксперимент, сравнение, измерение. Исключительно важны математические приемы и методы, роль которых неуклонно возрастает по мере все более широкого применения счетно-вычислительных машин.

К *частным методам* относятся специальные методы, действующие либо только в пределах отдельной отрасли естествознания, либо за пределами той отрасли, где они возникли. Так методы физики, используемые в других отраслях естествознания привели к созданию геофизики и физической химии. Распространение химических методов привело к созданию геохимии, биохимии и т.д.

В ходе прогресса методы могут переходить из более низкой категории в более высокую: частные превращаются в особенные, особенные в общие.

Методическую основу гидроэкологии как современной науки составляет сочетание системного подхода, натурных наблюдений, эксперимента и моделирования. Экологическая практика охватывает собой множество приемов и методов исследований, адекватных многообразию направлений экологии и потому здесь перечислены лишь некоторые из них.

- Режимные систематические (мониторинговые) наблюдения за состоянием водных объектов и процессов и влияющими на них антропогенными (техногенными) факторами;
- аналитические исследования природных и искусственных объектов;
- исследования морфологических параметров природных водных объектов;
- статистические методы оценки процессов и явлений, происходящих на водных объектах и их водосборах;
- дистанционные методы исследований и методы специальной картографии водотоков и водосборов;
- методы математического моделирования гидроэкологических процессов;
- системный анализ гидроэкологической информации;
- методы социальной демографии;

- паспортизация природных и искусственных водных объектов;
- экологический менеджмент;
- экологический аудит.

Как правило, в гидроэкологических исследованиях эти и другие применяемые методы исследований используются совместно или комплексно.

Будучи одной из наук гидрологического цикла, гидроэкология использует общие для него теоретические и эмпирические методы: анализ и синтез, дедукцию и индукцию, наблюдение, сравнение (включая измерение) и эксперимент (включая моделирование). Эмпирические методы подразделяются на "полевые" и "лабораторные", соответственно тому, проводятся ли они в условиях, приближенных к естественным или в условиях, контролируемых исследователем. И те и другие могут предполагать использование инструментария: измерительного и аналитического оборудования, устройств для фиксации, снятия и обработки данных. Эмпирические данные могут быть использованы лишь после их теоретической обработки, то есть после включения в логическую конструкцию: гипотезу, теорию, концепцию.

В последнее время особую важность приобрели планомерные, поддающиеся эффективному анализу экологические исследования, складывающиеся в мониторинг – систему долгосрочных наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния и изменения объектов. Мониторинг принято делить на фоновый, глобальный, региональный и импактный (в особо опасных зонах и местах). По способам ведения различают космический, авиационный и наземный мониторинг. В систематизации и анализе накапливаемых данных особое значение имеет создание баз данных и использование ГИС-технологий.

## Глава 2. ГИДРОСФЕРА

### 2.1. Вода как среда обитания

В процессе исторического развития живые организмы освоили четыре среды обитания. Первая – вода. В воде жизнь зародилась и развивалась многие миллионы лет. Вторая – наземно-воздушная – на суше и в атмосфере возникли и бурно адаптировались к новым условиям растения и животные. Постепенно преобразуя верхний слой суши – литосферы, они создали третью среду обитания – почву, а сами стали четвертой средой обитания.

Вода покрывает 71 % площади земного шара и составляет 1/800 часть объема суши. Основная масса воды сосредоточена в морях и океанах – 94–98 %, в полярных льдах содержится около 1,2 % воды и совсем малая доля – менее 0,5 %, в пресных водах рек, озер и болот. Соотношения эти постоянны, хотя в природе, не переставая, идет круговорот воды.

В водной среде обитает около 150 000 видов животных и 10 000 растений, что составляет соответственно всего 7 и 8 % от общего числа видов Земли. В Мировом океане, как в горах, выражена вертикальная зональность. Особенно сильно различаются по экологии пелагиаль – вся толща воды, и бенталь – дно.

Особенно чётко зональность проявляется в озёрах умеренных широт (рис. 2.1). В водной массе как среде обитания организмов по вертикали может быть выделено 3 слоя: эпилимнион, металимнион и гиполимнион. Воды поверхностного слоя – эпилимниона летом прогреваются и перемешиваются под воздействием ветра и конвекционных токов. Осенью поверхностные воды, охлаждаясь и становясь более плотными, начинают погружаться, и температурная разность слоев выравнивается. При дальнейшем охлаждении воды эпилимниона становятся холоднее вод гиполимниона. Весной происходит обратный процесс, заканчивающийся периодом летнего застоя. Дно озёр (бенталь) подразделяется на 2 зоны: более глубоководную – профундаль, примерно соответствующую части ложа, заполненной водами гиполимниона, и прибрежную зону – литораль, обычно простирающуюся вглубь до границы произрастания макрофитов. По поперечному профилю реки различают прибрежную зону – рипаль и открытую – медиаль. В открытой зоне скорости течения выше, население количественно беднее, чем в прибрежной.



Рис. 2.1. Вертикальная экологическая зональность озера (по М.С. Гилярову)

*Экологические группы гидробионтов.* Наибольшим разнообразием жизни отличаются теплые моря и океаны (40000 видов животных) в области экватора и тропиках, к северу и югу происходит обеднение флоры и фауны морей в сотни раз. Что касается распределения организмов непосредственно в море, то основная масса их сосредоточена в поверхностных слоях (эпипелагиаль) и в сублиторальной зоне. В зависимости от способа передвижения и пребывания в определенных слоях, морские обитатели подразделяются на три экологические группы: нектон, планктон и бентос.

Нектон (nektos – плавающий) – активно передвигающиеся крупные животные, способные преодолевать большие расстояния и сильные течения: рыбы, кальмары, ластоногие, киты. В пресных водоемах к нектону относятся и земноводные и множество насекомых.

Планктон (planktos – блуждающий, парящий) – совокупность растений (фитопланктон: диатомовые, зеленые и сине-зеленые (только пресные водоемы) водоросли, растительные жгутиконосцы, перидинии и др.) и мелких животных организмов (зоопланктон: мелкие ракообразные, из более крупных – крылоногие моллюски, медузы, гребневники, некоторые черви), обитающих на разной глубине, но не способных к активным передвижениям и к противостоянию течениям. В состав планктона входят и личинки животных, образуя особую группу – нейстон. Это пассивно плавающее «временное» население самого

верхнего слоя воды, представленное разными животными (десятиногие, усконогие и веслоногие ракообразные, иглокожие, полихеты, рыбы, моллюски и др.) в личиночной стадии. Личинки, взрослея, переходят в нижние слои пелагели. Выше нейстона располагается плейстон – это организмы, у которых верхняя часть тела растет над водой, а нижняя – в воде (ряска, кубышки, кувшинки и др.). Планктон играет важную роль в трофических связях биосферы, т.к. является пищей для многих водных обитателей, в том числе основным кормом для усатых китов.

Бентос (benthos – глубина) – гидробионты дна. Представлен в основном прикрепленными или медленно передвигающимися животными (зообентос: фораминиферы, рыбы, губки, кишечнорастворимые, черви, плеченогие моллюски, асцидии, и др.), более многочисленными на мелководье. На мелководье в бентос входят и растения (фитобентос: диатомовые, зеленые, бурые, красные водоросли, бактерии). На глубине, где нет света, фитобентос отсутствует. У побережий встречаются цветковые растения zostera, рупия. Наиболее богаты фитобентосом каменистые участки дна.

В озерах зообентос менее обилен и разнообразен, чем в море. Его образуют простейшие (инфузории, дафнии), пиявки, моллюски, личинки насекомых и др. Фитобентос озер образован свободно плавающими диатомеями, зелеными и сине-зелеными водорослями; бурые и красные водоросли отсутствуют.

Укореняющиеся прибрежные растения в озерах образуют четко выраженные пояса, видовой состав и облик которых согласуются с условиями среды в пограничной зоне «суша-вода». В воде у самого берега растут гидрофиты – полупогруженные в воду растения (стрелолист, белокрыльник, камыши, рогоз, осоки, трищетинник, тростник). Они сменяются гидатофитами – растениями, погруженными в воду, но с плавающими листьями (лотос, ряски, кубышки, чилим, такла) и – далее – полностью погруженными (рдесты, элодея, хара). К гидатофитам относятся и плавающие на поверхности растения (ряска).

Высокая плотность водной среды определяет особый состав и характер изменения жизнеобеспечивающих факторов. Одни из них те же, что и на суше – тепло, свет, другие специфические: давление воды (с глубиной увеличивается на 1 атм. на каждые 10 м), содержание кислорода, состав солей, кислотность. Благодаря высокой плотности

среды, значения тепла и света с градиентом высоты изменяются гораздо быстрее, чем на суше.

*Тепловой режим.* Для водной среды характерен меньший приход тепла, т.к. значительная часть его отражается, и не менее значительная часть расходуется на испарение. Сопоставляя с динамикой наземных температур, температура воды обладает меньшими колебаниями суточных и сезонных температур. Более того, водоемы существенно выравнивают ход температур в атмосфере прибрежных районов. При отсутствии ледового панциря моря в холодное время года оказывают согревающее действие на прилегающие территории суши, летом – охлаждающее и увлажняющее.

Диапазон значений температуры воды в Мировом океане составляет  $38^{\circ}$  (от  $-2$  до  $+36^{\circ}\text{C}$ ), в пресных водоемах –  $26^{\circ}$  (от  $-0,9$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ ). С глубиной температура воды резко падает. До 50 м наблюдаются суточные колебания температуры, до 400 – сезонные, глубже она становится постоянной, опускаясь до  $+1-3^{\circ}\text{C}$  (в Заполярье близка к  $0^{\circ}\text{C}$ ). Поскольку температурный режим в водоемах сравнительно стабилен, их обитателям свойственна stenothermность. Незначительные колебания температуры в ту или иную сторону сопровождается существенными изменениями в водных экосистемах.

Примеры: «биологический взрыв» в дельте Волги из-за понижения уровня Каспийского моря – разрастание зарослей лотоса (*Nelumbo kaspium*), в южном Приморье – зарастание белокрыльником стариц рек (Комаровка, Илистая и др.) по берегам которых вырублена и сожжена древесная растительность. Для Беларуси можно привести случаи разрастания в водоемах таких несвойственных для нашей природной зоны гидробионтов как водяная сосенка и водный гиацинт в некоторых водоемах Полесья.

В связи с разной степенью прогревания верхних и нижних слоев в течение года, приливами и отливами, течениями, штормами происходит постоянное перемешивание водных слоев. Роль перемешивания воды для водных обитателей (гидробионтов) исключительно велика, т.к. при этом выравнивается распределение кислорода и питательных веществ внутри водоемов, обеспечивая обменные процессы между организмами и средой.

В стоячих водоемах (озерах) умеренных широт весной и осенью имеет место вертикальное перемешивание, и в эти сезоны температура во всем водоеме становится однородной, т.е. наступает гомотер-

мия. Летом и зимой в результате резкого усиления прогревания или охлаждения верхних слоев перемешивание воды прекращается. Это явление называется температурной дихотомией, а период временного застоя – стагнацией (летней или зимней). Летом более легкие теплые слои остаются на поверхности, располагаясь над тяжелыми холодными. Зимой, наоборот, в придонном слое более теплая вода, так как непосредственно подо льдом температура поверхностных вод меньше  $+4^{\circ}\text{C}$  и они в силу физико-химических свойств воды становятся более легкими, чем вода с температурой выше  $+4^{\circ}\text{C}$ .

В периоды стагнаций четко выделяются три слоя: верхний (эпилимнион) с наиболее резкими сезонными колебаниями температуры воды, средний (металимнион или термоклин), в котором происходит резкий скачок температур, и придонный (гиполимнион), в котором температура в течение года изменяется слабо. В периоды стагнаций в толще воды образуется дефицит кислорода – летом в придонной части, а зимой и в верхней, вследствие чего в зимний период нередко происходят заморы рыбы. В стоячих водоемах (озерах) умеренных широт весной и осенью имеет место вертикальное перемешивание, и в эти сезоны температура во всем водоеме становится однородной, т.е. наступает гомотермия. Летом и зимой в результате резкого усиления прогревания или охлаждения верхних слоев перемешивание воды прекращается. Это явление называется температурной дихотомией, а период временного застоя – стагнацией (летней или зимней). Летом более легкие теплые слои остаются на поверхности, располагаясь над тяжелыми холодными. Зимой, наоборот, в придонном слое более теплая вода, так как непосредственно подо льдом температура поверхностных вод меньше  $+4^{\circ}\text{C}$  и они в силу физико-химических свойств воды становятся более легкими, чем вода с температурой выше  $+4^{\circ}\text{C}$ .

В периоды стагнаций четко выделяются три слоя: верхний (эпилимнион) с наиболее резкими сезонными колебаниями температуры воды, средний (металимнион или термоклин), в котором происходит резкий скачок температур, и придонный (гиполимнион), в котором температура в течение года изменяется слабо. В периоды стагнаций в толще воды образуется дефицит кислорода – летом в придонной части, а зимой и в верхней, вследствие чего в зимний период нередко происходят заморы рыбы.

*Световой режим.* Интенсивность света в воде сильно ослаблена из-за его отражения поверхностью и поглощения самой водой. Это

сильно сказывается на развитии фотосинтезирующих растений. Чем меньше прозрачность воды, тем сильнее поглощается свет. Прозрачность воды лимитируется минеральными взвешьями, планктоном. Уменьшается она при бурном развитии мелких организмов летом, а в умеренных и северных широтах – еще и зимой, после установления ледового покрова и укрытия его сверху снегом.

В небольших озерах на глубину 2 м проникает всего лишь десятые доли процента света. С глубиной становится все темнее, и цвет воды становится вначале зеленым, затем голубым, синим и в конце – сине-фиолетовым, переходя в полный мрак.

Соответственно меняют цвет и гидробионты, адаптирующиеся не только к составу света, но и к его недостатку – хроматическая адаптация. В светлых зонах, на мелководьях, преобладают зеленые водоросли (*Chlorophyta*), хлорофилл которых поглощают красные лучи, с глубиной они сменяются бурными (*Phaeophyta*) и далее красными (*Rhodophyta*). На больших глубинах фитобентос отсутствует.

К недостатку света растения приспособились развитием хромофоров крупных размеров, обеспечивающих низкую точку компенсации фотосинтеза, а также увеличением площади ассимилирующих органов (индекса листовой поверхности). Для глубоководных водорослей типичны сильно рассеченные листья, пластинки листьев тонкие, просвечивающиеся. Для полупогруженных и плавающих растений характерна гетерофиллия – листья над водой такие же, как у наземных растений, имеют цельную пластинку, развит устьичный аппарат, а в воде листья очень тонкие, состоят из узких нитевидных долей.

Животные, как и растения, закономерно меняют свою окраску с глубиной. В верхних слоях они ярко окрашены в разные цвета, в сумеречной зоне (морской окунь, кораллы, ракообразные) окрашены в цвета с красным оттенком – удобнее скрываться от врагов. Глубоководные виды лишены пигментов.

## 2.2. Общая характеристика гидросферы

Общепринятое и наиболее обоснованное определение понятия «гидросфера» – прерывистая водная оболочка Земли. По некоторым прежним представлениям, рамки гидросферы ограничивались Мировым океаном. Но воды рек и озер, так же как и подземные воды, являются составными частями гидросферы. А эти воды в отличие от океана дискретны. Отсюда и появляется необходимость определения гидросферы как прерывистой оболочки. Гидросфера отличается высокой динамичностью, движущей силой которой служит круговорот воды.

Воды гидросферы не связаны химически и физически в земной коре, т. е. могут двигаться под влиянием гравитационной, сорбционных, капиллярных сил, а также под влиянием тепла. В понятие движения входит и переход воды из одного агрегатного состояния в другое. Переход воды через парообразную фазу служит механизмом естественного опреснения воды. Происхождение гидросферы связывается с дегазацией воды из мантии Земли, в которой содержится около 20 млрд. км<sup>3</sup> воды.

Из определения гидросферы и ее краткой характеристики видно, что эта сфера Земли находится в тесной взаимосвязи с другими сферами – литосферой, атмосферой и биосферой.

Данные по объему гидросферы представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Состав гидросферы [По Львовичу М.И., 1986]

Части гидросферы	Объем воды тыс. км <sup>3</sup>	% от общего объема
Мировой океан	1 370 323	93,96
Подземные воды	60000	4,12
В том числе зоны активного водообмена	4 000	0,27
<b>Ледники</b>	24 000	1,65
Озера	280*	0,019
Почвенная влага	85**	0,006
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Итого	1454193	100

\* В том числе около 5 тыс. км<sup>3</sup> воды в водохранилищах.

\*\* В том числе около 2 тыс. км<sup>3</sup> оросительных вод.

Весь объем гидросферы, по современным подсчетам, несколько превышает 1,4 млрд. км<sup>3</sup>.

Приблизительное представление о пресноводной части гидросферы дают данные табл. 2.2. Общий объем пресных вод на Земле достигает приблизительно 28,25 млн. км<sup>3</sup>, что составляет около 2 % общего объема гидросферы. Но если учесть, что основная часть пресных вод, законсервированных в полярных ледниках в виде льда, недоступна для использования, то объем остальной части пресных вод составляет всего лишь немногим более 4,2 млн. км<sup>3</sup>, или 0,3 % объема гидросферы.

Таблица 2.2

**Пресные воды гидросферы [По М.Л. Львовичу, 1986]**

Части гидросферы	Объем пресной воды, км <sup>3</sup>	% от данной части гидросферы	% от общего объема пресной воды
Ледники	24 000 000	100	85
Подземные воды	4 000 000	6,7	14
Озера и водохранилища	155000	55	0,6
Почвенная влага	83 000	98	0,3
Пары атмосферы	14000	100	0,05
Речные воды	1 200	100	0,004
Итого	28 253 200	—	100

### 2.3. Водные ресурсы и их особенности

К водным ресурсам относятся все виды воды, исключая воду, физически и химически связанную с горными породами и биосферой. Они делятся на две различные группы, состоящие из стационарных запасов воды и возобновимых запасов, участвующих в процессе круговорота воды и оцениваемых балансовым методом. Для практических нужд необходимы в основном пресные воды.

Распределение и потребление воды по территории Земли и отдельным регионам неравномерно (табл. 2.3).

Водные ресурсы не всегда соответствуют требованиям хозяйства. Это относится к качеству воды, устойчивости водных ресурсов во времени и распределению по территории. Наиболее высокие требования к качеству водных ресурсов предъявляются при использовании их в

рыборазведении и для питьевого водоснабжения.

Для использования речного стока в связи с его неравномерным территориальным и временным распределением необходимо регулирование стока, что достигается путем создания водохранилищ и переброской стока.

Первые стандарты качества питьевой воды были утверждены в СССР и в США в 1937 г. Советский стандарт включал 30 обязательных показателей. Всемирная организация здравоохранения рекомендует учитывать более 100 показателей качества питьевой воды. Полномасштабный контроль качества воды требует значительных вложений, направленных на организацию соответствующих служб, создание приборов, разработку систем очистки.

Таблица 2.3

**Распределение воды и ее потребление по континентам (общее/безвозвратное) [по Глухову В.В., 1999]**

Континент	Среднегодовой сток рек	Водопотребление,			
		км <sup>3</sup> /год		% к стоку	
		1970	2000	1970	2000
Европа	3210	320/100	730/240	10/3,1	23/7,5
Азия	14410	1500/1130	3200/2000	10,4/7,6	22,7/13,9
Африка	4570	130/100	380/250	2,8/2,2	8,3/5,5
Северная Америка	8200	540/160	1300/280	6,6/2,0	15,8/3,4
Южная Америка	11760	70/50	300/130	0,6/0,4	2,5/2,1
Австралия и Океания	2390	23/12	60/30	1,0/0,5	2,5/2,1
Весь мир	46540	2583/1552	5970/5930	5,8/3,4	13/6,7

Особенностью природных водоемов является их способность к самоочищению за счет осаждения примесей, деятельности водных растений, разложения веществ в воде, кругооборота воды.

На территории бывшего СССР около 2870 тыс. рек и других естественных водотоков длиной больше 0,5 км формируют сток, среднегодовой объем которого составляет более 4 тыс. км<sup>3</sup> в год.

По величине формируемого стока территория СНГ естественным образом делилась на регионы, принадлежащие к водосборным бассейнам трех океанов или их частям. Наибольший речной сток формируется

на западном, северном и восточном склонах территории бывшего СССР, а также в бассейнах Балтийского моря и Тихого океана. Особенно низкий сток характерен для бессточной области Казахстана и Средней Азии.

Распределение речного стока по территории Беларуси и сопредельных государств очень неравномерно, о чем свидетельствует табл. 2.4. В ней приведены данные о местном речном стоке, формируемом на территории какой-либо республики или СССР в целом, и общем стоке рек, представляющем сумму местного и поступающего извне речного стока.

Таблица 2.4

**Ресурсы речного стока Беларуси и сопредельных стран**

Республика	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Речной сток, км <sup>3</sup> /год	
		Местный	Общий
Россия	17075,4	4043	4270
Украина	603,7	52,4	209,8'
Беларусь	207,6	34,1	55,8
Латвия	64,5	15,2	31,9
Литва	65,2	12,8	23,2
Эстония	45,1	10,9	15,6
Бывший СССР в целом	22403,2	4414	4740

Значительная доля общего речного стока приходится на приток речных вод извне (транзитный сток). Это объективно создает трудности в управлении располагаемыми водными ресурсами рек, которые иногда довольно трудно использовать. Например, около 73 % общих ресурсов речного стока на Украине – это сток р. Дунай.

Наибольший речной сток формируется в Грузии, величина слоя стока достигает 765 мм. Хорошо обеспечены собственным речным стоком Армения, Киргизия, Прибалтийские республики, Россия и Таджикистан. Небольшими ресурсами поверхностных вод располагают Молдавия и Узбекистан, а наименьшими – Туркмения, где удельная величина речного стока составляет лишь 2,3 мм.

Республика Беларусь относительно небогата водными ресурсами. Это обусловлено рядом объективных и других факторов, которые показывают реальную ситуацию с проблемами обеспечения и использования поверхностных и подземных вод республики.

Чтобы правильно оценить реальные запасы водных ресурсов необходимо учитывать следующие аспекты, которые возникают при их использовании и которые в разной степени ограничивают их использование в хозяйстве:

- Неравномерность размещения ресурсов по территории республики;
- Их изменение на протяжении года и по отдельным годам;
- Необходимость в воде в связи с развитием хозяйства;
- Загрязнение воды сточными водами;
- Загрязнение верхних горизонтов подземных и грунтовых вод, которые используются для обеспечения сельского и городского населения питьевой водой;
- Загрязнение воды радионуклидами после аварии на ЧАЭС, нитратами и нитритами.

Таблица 2.5

**Удельные ресурсы речного стока**

Республика	Население, тыс. чел (1987 г.)	Речной сток, мм		Обеспеченность одного жителя речным стоком в средний по водности год, тыс. м <sup>3</sup>	
		местный	общий	местного формирования	общим
Россия	145311	236	250	29,2	29,4
Украина	51201	86,8	348	1,02	4,10
Беларусь	10078	164	269	3,38	5,54
Латвия	2647	239	495	5,74	12,1
Литва	3641	196	356	3,52	6,37
Эстония	1556	242	346	7,01	10,0
Грузия	5266	765	878	10,1	11,6
СССР	281700	198	212	15,7	16,8

По степени водообеспеченности страны Европейской части СНГ разделены на 3 зоны: высокой, средней и низкой обеспеченности.

Зона высокой обеспеченности занимает около половины территории, в которой наблюдаются излишки воды, что приводит к образованию болот и заболоченных земель.

Зона средней обеспеченности отличается достаточным количеством водных ресурсов для нужд хозяйства (Центральная Россия, Урал).

Зона низкой, или недостаточной водообеспеченности включает юг Украины, Крым, Донбасс, Заволжье и т. д., где водные ресурсы составляют несколько процентов от всех запасов, а для обеспечения водой необходима переброска воды из других речных бассейнов.

Территория республики Беларусь относится ко второй зоне. По данным ГВК преобладают самые малые и малые реки (табл. 2.6.)

Таблица 2.6

**Число рек Беларуси и их длина**

Градации	Интервалы длины, км	Число рек	Общая длина, км	% от общей длины речной сети
Самые малые	Менее 25	20 403	65 966	72
Малые	26 – 100	329	14 554	16
Средние	101 – 500	41	6 702	8
Большие	Более 501	7	3 409	4
Всего		20 780	90 631	100

Однако, значительная часть воды находится в водоемах замедленного водообмена, круговорот ресурсов которых происходит за длительный период (табл. 2.7.).

Таблица 2.7

**Объемы воды и площадь водной поверхности водотоков и водоемов  
Беларуси**

Водные объекты	Объем воды		Площадь поверхности	
	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%
Реки	3,08	29,7	1 028	26,6
Озера	6,00	50,0	2 000	50,2
Водохранилища	2,43	20,0	606	16,2
Пруды	0,38	0,3	301	8,0
Всего	11,89	100	3 935	100

## 2.4. Происхождение воды и гидросферы

Существует шесть гипотез появления воды на земном шаре.

*Первая гипотеза* исходит из «горячего» происхождения Земли. Считается, что некогда Земля была расплавленным огненным шаром, который, излучая тепло в пространство, постепенно остывал. Появилась первородная кора, возникли химические соединения элементов и среди них соединение водорода с кислородом, или, проще говоря, вода.

Пространство вокруг Земли все более заполнялось газами, которые непрерывно извергались из трещин остывающей коры. По мере охлаждения пары образовывали облачный покров, плотно окутавший нашу планету. Когда температура в газовой оболочке упала настолько, что влага, содержащаяся в облаках, превратилась в воду, пролились первые дожди. Тысячелетие за тысячелетием низвергались дожди. Они-то и стали тем источником воды, которая постепенно наполнила океанические впадины и образовала Мировой океан.

*Вторая гипотеза* исходит из «холодного» происхождения Земли с ее последующим разогревом. Разогрев стал причиной вулканической деятельности. Извергаемая вулканами лава выносила на поверхность планеты пары воды. Часть паров, конденсируясь, заполняла океанические впадины, а часть образовала атмосферу. Как теперь подтверждено, главной ареной вулканической деятельности на первых стадиях эволюции Земли действительно являлось дно современных океанов.

Согласно этой гипотезе вода содержалась уже в той первичной материи, из которой сложилась наша Земля. Подтверждением такой возможности является наличие воды в падающих на Землю метеоритах.

*Третья гипотеза* также исходит из «холодного» происхождения Земли с последующим ее разогревом. В мантии Земли на глубинах 50–70 км из ионов водорода и кислорода начал возникать водяной пар. Однако высокая температура мантии не позволяла ему вступать в химические соединения с веществом мантии.

Под действием давления пар выжимался в верхние слои мантии, а затем и в кору Земли. В коре более низкие температуры стимулировали химические реакции между минералами и водой, в результате разрыхления пород, образовались трещины и пустоты, которые немедленно заполнялись свободной водой. Под действием давления воды

трещины раздавались, превращались в разломы, и вода через них устремлялась на поверхность. Так возникли первичные океаны.

В пользу приведенной гипотезы свидетельствует резкое возрастание скорости сейсмических волн на глубине 15–20 км, т. е. как раз там, где должна пролегать граница предполагаемого раздела между гранитом и поверхностью рассола, граница резкого изменения физико-химических свойств вещества.

Приведенную гипотезу подтверждает и так называемый дрейф материков. Гранитные громады материков перемещаются. Они «плывут», хотя скорость их движения составляет всего несколько сантиметров в столетие.

*Четвертая гипотеза* принадлежит английскому астрофизику Хойлу и опубликована сравнительно недавно, в 1972 г. Она представляет собой следствие из гипотезы происхождения Солнечной системы. Конденсация протопланетного облака, окружавшего протосолнце, протекала неравнозначно на разных расстояниях от Солнца. Чем дальше от него, тем температура облака была ниже. Ближе к Солнцу могли конденсироваться, скажем, металлы как вещества более тугоплавкие. А там, где проходят орбиты Урана, Нептуна и Плутона, по расчетам Хойла, температура составляла примерно 350 К, что уже достаточно для конденсации паров воды. Именно этим обстоятельством можно объяснить «водную» природу Урана, Нептуна и Плутона, образовавшихся в процессе слияния частиц льда и снега. «Водную» природу указанных планет подтверждают новейшие астрономические наблюдения.

Расчеты, выполненные Хойлом, подтверждают возможность образования земных океанов из ледяных дождей, для чего потребовалось всего несколько миллионов лет.

*Пятая гипотеза*, как и четвертая, предполагает космическое происхождение воды, но из других источников. Дело в том, что на Землю из глубин космоса непрерывно низвергается ливень электрически заряженных частиц. И среди этих частиц изрядную долю составляют протоны – ядра атомов водорода. Пронизывая верхние слои атмосферы, протоны захватывают электроны и превращаются в атомы водорода, которые тут же вступают в реакцию соединения с кислородом атмосферы. Образуются молекулы воды. Расчет показал, что космический источник такого рода способен дать почти 1,5 т воды в год, и эта вода в виде осадков достигает земной поверхности.

*Шестая гипотеза.* Как установлено учеными, примерно 250 млн. лет назад на Земле был единый континент. Затем, неизвестно по каким причинам, он треснул, и части его начали расползаться, «уплывать» друг от друга.

Доказательствами существования некогда единого материка является не только подобие береговых линий, но также сходство флоры и фауны, сходство геологических структур побережий.

Исследования последних лет подтвердили: материки «плывут», расстояние между ними непрерывно увеличивается. Передвижение материков блестяще объясняет гипотеза расширяющейся Земли. Гипотеза утверждает: первоначально Земля имела радиус вдвое меньший, чем сейчас. Материки, слитые тогда воедино, опоясывали планету.

Океанов не существовало. И вот на границе протерозоя и мезозоя (250–300 млн. лет назад) Земля начала расширяться. Единый материк дал трещины, которые, наполнившись водой, превратились в океаны.

Однако по мере уплотнения пылевого облака происходило его гравитационное сжатие, и давление внутри прото-Земли возрастало. Соответственно росла и степень поглощения водорода металлами группы железа. Сжатие порождало антипод давления – разогрев. А так как наибольшему сжатию подвергались центральные области образовавшейся планеты, то там стремительнее росла и температура.

И вот на какой-то стадии разогрева, когда температура в ядре Земли достигла определенного критического значения (переход количественного роста в новое качественное состояние!), начался обратный процесс – выделение водорода из металлов.

Таким образом, дегазация водорода сопровождалась расширением Земли. Между тем водород, пронизывая огромную толщу планеты, захватывал по пути атомы кислорода, и на поверхность ее вырывались уже пары воды. Конденсируясь, вода заполняла разломы в коре. Постепенно образовались океаны.

## 2.5. Круговороты веществ

*Вода и ее круговорот.* Воды земного шара находятся в постоянном взаимодействии и в процессе круговорота связаны воедино. Под влиянием солнечной радиации с поверхности океанов, морей, рек, озер, ледников, снежного покрова и льда, почвы и растительности происходит испарение воды. Испарение с поверхности океанов и морей – основной источник поступления влаги в атмосферу. Большая часть этой влаги выпадает в виде атмосферных осадков непосредственно на поверхность океанов и морей, совершая так называемый малый круговорот. Меньшая ее доля участвует в большом круговороте, вступая в сложные взаимодействия с земной поверхностью. Большой круговорот включает в себя ряд местных влагооборотов и представляет собой многообразный процесс перемещения, расходования и возобновления влаги на земной поверхности, в недрах земли и в атмосфере. Атмосферные осадки, орошая поверхность материков, частично просачиваются в почву, частично стекают по склонам и образуют ручьи, реки, озера, болота. Поглощенная почвой вода частью испаряется непосредственно или транспирируется растениями, частью просачивается вглубь и формирует подземные воды. Последние участвуют в питании рек, озер или достигают моря подземными путями.

Влага, поступившая в атмосферу в результате испарения с поверхности суши и ее водоемов, дополняет то количество ее, которое поступает с океана. Воздушными течениями она переносится вглубь материка и, выпадая в виде дождя и снега, орошает территории, более или менее удаленные от океана. Выпавшие осадки вновь испаряются, просачиваются, стекают по земной поверхности. Сток воды рек, впадающих в океан, завершает большой круговорот воды на земном шаре. Упрощенная схема представлена на рис. 2.3. В действительности явление круговорота значительно сложнее.

Круговорот воды состоит из нескольких звеньев, главные из которых атмосферное, океаническое, материковое. В атмосферном звене происходит перенос влаги в процессе атмосферной циркуляции и образование атмосферных осадков. Единовременный запас влаги в атмосфере невелик, всего 14 тыс. км<sup>3</sup>, но при постоянном возобновлении этой влаги в процессе испарения с поверхности Земли объем осадков, выпадающих на эту поверхность, равен 525 тыс. км<sup>3</sup>. Таким образом, в среднем каждые 10 суток влага атмосферы возобновляется.

Для океанического звена круговорота характерно непрерывное

восстановление запасов влаги в атмосфере путем испарения. С поверхности океанов в атмосферу поступает 86,0 % общего количества испарившейся влаги на земном шаре.

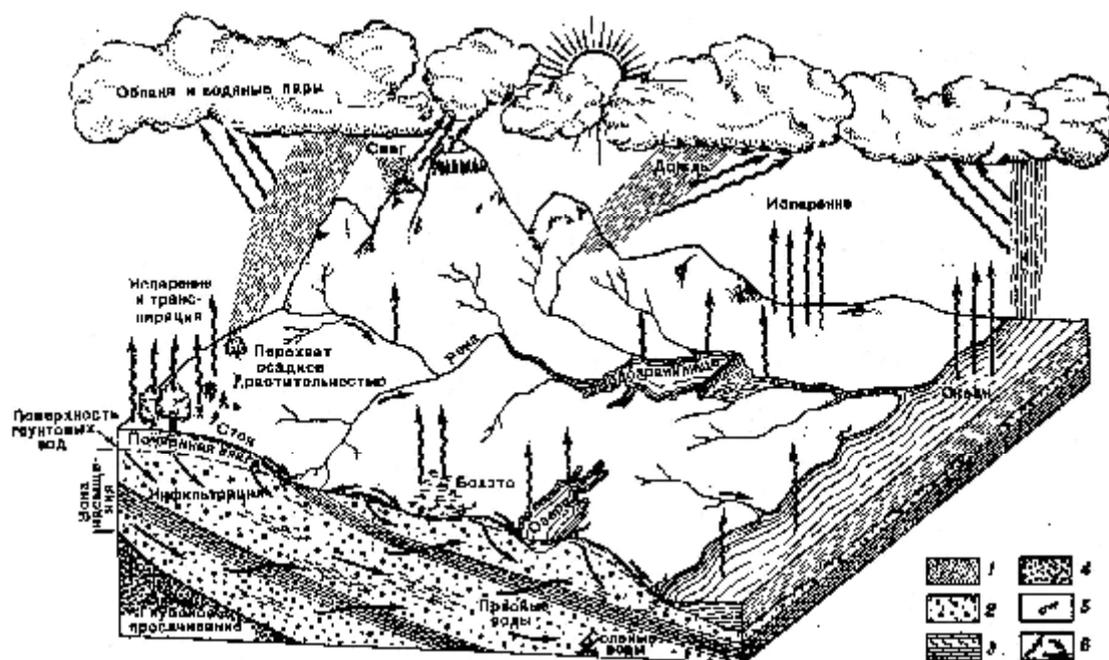


Рис. 2.3. Схема круговорота воды (по М.И. Львовичу) . 1 – осадки, 2 – водопроницаемые породы, 3 – слабопроницаемые породы, 4 – непроницаемые породы, 5– источник, 6 – направление движения воды и водяных паров

Материковое звено по активности участия его вод в круговороте отличается большим разнообразием. В этом звене М. И. Львович в свою очередь выделяет почвенное, литогенное, речное, озерное, ледниковое и биологическое звенья.

Почва осуществляет обмен влагой как с атмосферой, реками и озерами, так и с недрами земли – литогенным звеном. Обмен этот происходит путем просачивания, стекания по поверхности, испарения и транспирации сравнительно быстро, в пределах одного года.

Степень подвижности воды в литогенном звене неодинакова. Наиболее активно участвуют в общем круговороте воды подземные воды, залегающие вблизи земной поверхности до уровня дренирования их речной сетью и питающие реки. Продолжительность их обмена – от месяца до нескольких лет. С удалением от земной поверхности, на больших глубинах, подземные воды становятся менее подвижны.

Реки возвращают в океан воды, которые поступили в процессе круговорота на сушу. Обмен воды, содержащейся в руслах рек, происходит весьма быстро: в среднем, по данным разных авторов, за 12–25 суток. Но если к объему русловых вод прибавить объем проточных озер, то активность водообмена значительно уменьшится и его продолжительность возрастет до трех лет.

В ледниках как бы законсервированы большие массы воды в виде льда. Движение льда медленное, поэтому продолжительность обмена воды (льда) в ледниках колеблется, по разным данным, от 8300 до 15 000 лет.

Анализ активности водообмена раскрывает весьма интересную и важную черту ресурсов пресных вод – их относительно быстрое возобновление.

Таким образом, круговорот воды в природе, совершающийся под влиянием солнечного тепла и силы тяжести, объединяет несколько геофизических процессов, происходящих в его звеньях, – это испарение, перенос влаги в атмосфере, ее конденсация и выпадение осадков, просачивание их в почву и горные породы, сток поверхностных и подземных вод.

Особую роль в круговороте воды занимают биологические процессы – транспирация и фотосинтез. В среднем расход воды на транспирацию приблизительно равен  $30\,000\text{ км}^3$  в год (по Львовичу). Эта величина превышает 40 % суммарного испарения со всей суши и составляет 7 % испарения с поверхности земного шара, включая океан.

Воды, стекающие по земной поверхности, не все попадают в океаны и моря. Ниспадающие к океанам покатости, сток с которых направлен в океан, называются сточными или периферийными областями стока. Замкнутые пространства, не имеющие связи с океанами, сток с которых не достигает океана, называются областями внутреннего стока или бессточными (по отношению к океану). Воды этих областей расходуются на испарение либо по пути стока, либо с поверхности конечных замкнутых водоемов, куда они стекают. Области внутреннего стока обмениваются влагой с периферийными областями только путем переноса ее воздушными течениями в атмосфере или в незначительной мере подземными путями.

Общая площадь периферийных областей земного шара составляет 117 млн.  $\text{км}^2$  и почти в 4 раза превосходит площадь областей внутреннего стока, равную 32 млн.  $\text{км}^2$ . Большая периферийная область в нашей стране – ниспадающая к Арктическим морям, с которой собирают

свои воды реки Сибири: Обь, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма и др. Огромные периферийные области направлены к Атлантическому океану, с них стекают большие реки мира: Амазонка, Миссисипи, Нигер, Конго, и многие реки Европы: Нева, Западная Двина, Висла, Одра, Эльба, Рейн, Луара и др.

Большая область внутреннего стока – Арало-Каспийская, К ней принадлежат бассейны рек Волги, Урала, Куры, Сырдарьи, Амударьи и др. К бессточным же областям относятся пустыни Сахара, Аравийская и Центрально-Австралийская.

*Естественные циклы основных биогенных веществ.* Для обеспечения жизнедеятельности растений и животных требуются различные химические элементы, но только некоторые из них имеют преобладающее значение. Основа жизни – белки, углеводы и жиры складываются из шести основных элементов: водорода, углерода, азота, кислорода, фосфора и серы. Кроме фосфора они все образуют растворимые и летучие соединения и таким образом участвуют в повторном цикле воды.

В процессе фотосинтеза зеленые растения и водоросли на свету выделяют кислород, причем не из углекислого газа, как это считалось раньше, а из воды.

В первичной атмосфере Земли было мало или совсем не было кислорода, поэтому первые организмы были анаэробными. Накопление кислорода началось в докембрии. Сейчас запасы свободного кислорода оцениваются приблизительно в  $1,6 \cdot 10^{15}$  т.

Кислород является самым распространенным элементом на Земле. В гидросфере его содержится 85,82 % по массе, в литосфере 47 %, в атмосфере 23,15 %. Кислород стоит на первом месте по числу образуемых им минералов (1364). Среди них преобладают силикаты, кварц, окислы железа, карбонаты и сульфаты. В живых организмах содержится в среднем около 70 % кислорода. Он входит в состав большинства органических соединений (белков, жиров, углеводов и т.д.) и в состав органических соединений скелета.

Свободный кислород играет большую роль в биохимических и физиологических процессах, особенно в аэробном дыхании.

В области свободного кислорода формируются резко окислительные условия, в отличие от сред, в которых кислород отсутствует (в магме, глубоких горизонтах подземных вод, илах морей и озер, в болотах), где образуется восстановительная обстановка.

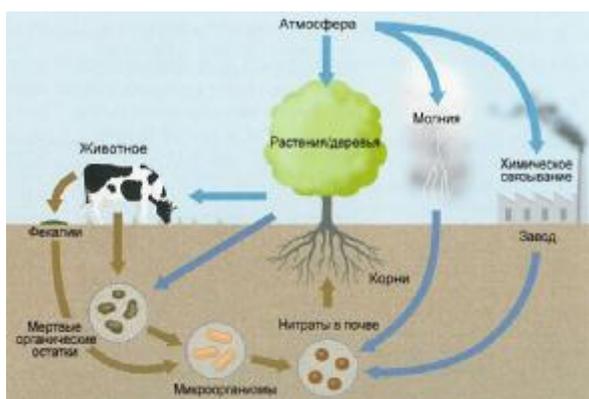
Огромное значение для атмосферы имеет также двуокись углерода. Его содержание в атмосфере до промышленной революции, в 1800 г составляло 0,029 %, а в настоящее время ее содержание превысило 0,033 %. В океане этого газа растворено в 50 раз больше.

Углерод в больших количествах содержится в земной коре, прежде всего в карбонатных породах –  $9,6 \cdot 10^{15}$  т и горючих ископаемых (угли, нефть, сланцы, битумы, газы, торф). Разведанные запасы горючих ископаемых по углероду оцениваются в  $10^{13}$  т.

Синтезированные растениями углеводы (глюкоза, сахароза, крахмал и другие) являются главным источником энергии для большинства гетеротрофных организмов.

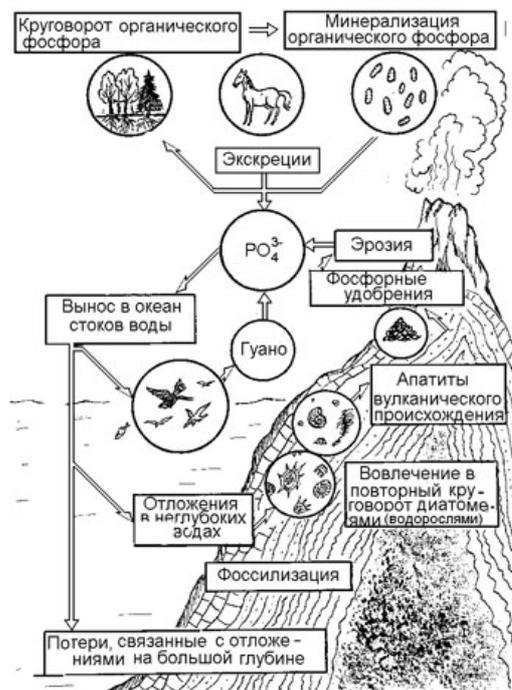
Воздух по объему почти на 80 % состоит из молекулярного азота  $N_2$  и представляет собой крупнейший резервуар этого элемента. Естественный цикл азота является более сложным, чем углерода. Большинство биологических форм не могут усваивать газообразный азот. Поэтому сначала происходит фиксация азота – превращение  $N_2$  в неорганические и органические соединения, которые происходят как физико-химическим, так и биологическим путем. Основными фиксаторами азота являются бактерии, грибки и водоросли (прежде всего синезеленые).

В процессе цикла продуцент – консумент – редуцент нитраты становятся составной частью белков, нуклеиновых кислот и других компонентов. Погибшие организмы являются объектом деятельности редуцентов – бактерий и грибов, при этом они азот превращают в аммиак. И далее в нитрит и обратно газообразный азот (рис 2.4).



**Рис. 2.4. Круговорот азота**

Фосфор, необходимый животным и растениям для построения белков протоплазмы, поступает в круговорот за счет эрозии фосфатных пород и гуано, минерализации продуктов жизнедеятельности и органических остатков. Фосфаты потребляются растениями. Не образующий летучих соединений фосфор имеет тенденцию накапливаться в море. Вынос фосфора из моря на сушу осуществляется в основном с рыбой и с пометом морских птиц (рис 2.5).



**Рис. 2.5. Круговорот фосфора (по П. Дювиньо и М. Тангу)**

Сера относится к весьма распространенным химическим элементам, которые встречаются в свободном состоянии – самородная сера и в виде соединений – сульфидов, полисульфидов и сульфатов. Известно более 150 минералов серы, среди которых доминируют сульфаты. В природе широко распространены процессы окисления сульфидов до сульфатов, которые обратно восстанавливаются до H<sub>2</sub>S и сульфидов. Эти реакции происходят при активном участии микроорганизмов, прежде всего десульфирующих бактерий и серобактерий.

В виде органических и неорганических соединений сера постоянно присутствует во всех живых организмах и является важным биогенным элементом, она входит в состав широко распространенных со-

единений: аминокислот, коферментов, витаминов.

Организмы в основном состоят из вышеперечисленных элементов, однако они не смогут жить, если не будут содержать в достаточных количествах некоторые катионы: калий, кальций, магний и натрий, которые относятся к группе макроэлементов, потому что их содержание выражается в сотых долях сухого вещества. Некоторые вещества нужны организмам в очень маленьких количествах, к ним, например, относятся железо, бор, цинк, медь, марганец, молибден и анион хлора. Микроэлементы выражаются в миллионных долях сухого вещества. В пищевую цепь они поступают в основном через круговорот воды. Они обладают высокой биологической активностью и участвуют во всех процессах жизнедеятельности: белковом, жировом, углеводном, витаминном, минеральном обмене, газо- и теплообмене, тканевой проницаемости, клеточном делении, образовании костного скелета, кроветворении, росте, размножении, иммунобиологических реакциях.

*Циклы некоторых токсичных элементов.* Второстепенные для живых организмов химические элементы, также как и жизненно важные, мигрируют между организмами и средой. В естественных экологических системах они содержатся в таких концентрациях и формах, что не оказывают отрицательного влияния на организмы. В настоящее время стала весьма острой проблема токсичных веществ.

Ртуть, также как и другие тяжелые металлы, почти не влиял на организмы до наступления индустриальной эры, потому что ее концентрации в природе были невелики, а она сама химически малоподвижна. Разработка месторождений и промышленное использование ртути (в электротехническом оборудовании, термометрах, красках и фунгицидах) увеличили ее поток в экосистемы. Чистый элемент не токсичен. Превращение в токсичные органические соединения ртути, такие как метилртуть и этилртуть, происходит благодаря бактериям, присутствующим в детритах и осадках. Эти соединения легко растворимы, подвижны и очень ядовиты. Химической основой агрессивного действия ртути является ее сродство с серой, в частности с сероводородной группой в белках. Эти молекулы связываются с хромосомами и клетками головного мозга. Рыбы и моллюски могут накапливать их до концентраций опасных для человека, употребляющего их в пищу, вызывая болезнь Минамата.

Кадмий представляет собой один из самых опасных токсикантов

среды, он значительно токсичнее свинца. В последние 30–40 лет он находит все большее техническое применение. Его попадание в пищевые цепи связано с его промышленными выбросами в воздух и воду. Кадмий имеет свойство накапливаться в организмах животных и растений. Отравление кадмием получило название кадмиоз или Болезнь Итай-итай (в переводе с японского «больно»).

Стронций-90 и цезий-137 – продукты деления атома, имеющие большой период полураспада. Эти ранее малоизученные элементы теперь являются объектами пристального внимания в связи с их большой опасностью для человека и животных. Они попадают в окружающую среду при производстве и использовании различных источников ядерной энергии. Эти вещества активно циркулируют по пищевым цепям и накапливаются в тканях животных и растений. Это связано с тем, что стронций по свойствам похож на кальций, а цезий – на калий. Стронций может оказывать также канцерогенное действие.

Дихлордифенилтрихлорэтан или просто ДДТ– пестицид (пестис – зараза, циде – убиваю, лат.), использовавшийся, а местами используемый до сих пор в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми. В свое время его открытие было отмечено Нобелевской премией. Он малорастворим и никогда не поступает в верхние слои атмосферы и при этом встречается повсюду. Его обнаруживают в тканях пингвинов Антарктиды. Он в основном мигрирует по пищевым цепям, при этом в конце пищевого цикла его концентрация может увеличиться в 1000 раз. Сейчас его использование запрещено.

Диоксины – это группа веществ, в которую входят сотни видов хлор-, бром- и хлорброморганических циклических эфиров. Диоксины образуются во многих технологических процессах различных производств, включая сжигание отходов, биологическую очистку сточной воды и сгорание топлива в двигателях. Эти вещества превосходят по своей токсичности соединения тяжелых металлов.

## Глава 3. ЭКОСИСТЕМЫ. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

### 3.1. Экосистемы

Под системой вообще понимается совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, то есть структурно-функциональное единство.

С одной стороны система в науке рассматривается как единое целое, с другой – как совокупность элементов. Причем целое имеет новые, особые свойства, которые отсутствуют у его составляющих элементов (например, молекула обладает иными свойствами, чем составляющие ее атомы). Это закон эмерджентности (неожиданное появление, англ.) известный с древности, как “целое больше суммы его частей”. Очевидно, что никакая система не может сформироваться из абсолютно идентичных элементов. Даже в кристаллической решетке алмаза положение атомов углерода делает их функционально различными. Это закон необходимого разнообразия. Нижний предел – не менее двух элементов, а верхний – бесконечность.

Все многообразие мира можно представить в виде четырех последовательно возникших иерархий: физико-химической, биологической, социальной и технической (рис. 3.1). При их взаимодействии или объединении появляются новые системы, являющиеся экономическими или экологическими. Системы, элементы которых взаимосвязаны переносами (потоками) вещества, энергии и информации называются динамическими.

Основными характеристиками любой системы будут: а) границы, б) свойства элементов и системы в целом, в) структура, г) характер связей и взаимодействия между элементами системы, а также между системой и ее внешней средой.

Экологическая система представляет собой любую совокупность живых организмов и среды их обитания, взаимосвязанных обменом веществ, энергии, и информации, которую можно ограничить в пространстве и во времени по значимым для конкретного исследования принципам.



Рис. 3.1. Уровни организации материального мира (по В.Ф. Попову):  
Ф-Х – физико-химическая, Б – биологическая, С – социальная, Т – техническая

Изучение природных экосистем в общем случае производится в структурном и функциональном аспектах.

Информационная сеть экосистемы состоит из потоков сигналов физико-химической природы. Управление в экосистемах основывается на обратной связи, по которой часть сигналов с выхода системы поступает обратно на ее вход.

В экосистемах формируются сложнейшие цепи и сети причинно-следственных связей, основанные на механизме обратной связи, которые часто образуют замкнутые кольца, именуемые контуром обратной связи. Простейшим примером такого контура служит модель "хищник–жертва".

Любая экологическая система является системой открытой, поскольку она всегда взаимодействует с внешней средой: солнечной радиацией, влагооборотом на поверхности и в грунтах, ветровым переносом и выносом материала. Следовательно, любые пространственные ограничения экосистемы всегда условны.

Понятие экологической системы иерархично. Это означает, что всякая экологическая система определенного уровня включает в себя ряд экосистем предыдущего уровня, меньших по площади и сама она, в свою очередь, является составной частью более крупной экосистемы. Например, правомерно рассматривать в качестве экосистемы озерную впадину, ограниченную склонами котловины. Продолжая этот ряд вверх, можно подойти к экологической системе Земли – био-

сфере, а двигаясь вниз – к биогеоценозу, как элементарной биохорологической (хора – пространство, гр.) единице биосферы. Учитывая решающее значение на развитие живого вещества Земли зональных факторов, правомерно представить себе такой территориальный ряд соподчиненных экосистем: элементарные – локальные – зональные – глобальные.

Надежная система может быть сложена из ненадежных элементов или подсистем, не способных к самостоятельному существованию. По отношению к экосистемам это правило может быть уточнено следующим образом: устойчивая экологическая система может состоять из менее устойчивых компонентов или подсистем; или – устойчивость экологической системы, как единого целого всегда выше устойчивости каждого отдельного ее компонента или подсистемы.

Классическим примером тому могут служить лишайники, коралловые рифы, сообщества “социально организованных” насекомых.

В открытых системах, к которым относятся и экологические, могут идти процессы как с возрастанием, так и уменьшением энтропии. При этом в экосистеме вещество распределяется таким образом, что в одних местах энтропия возрастает, а в других резко снижается. В целом же, система не теряет своей организованности или высокой упорядоченности.

Любая экосистема состоит из биотических (живые организмы) и абиотических (косная или неживая природа) компонентов.

Биоту (сообщество организмов), входящую в состав биогеоценоза или элементарной экосистемы, принято называть биоценозом (биос – жизнь, койнос – сообщество, гр.), а пространство им занятое – биотопом (топос – место, гр.). Совокупности природных факторов, в свою очередь, определяют и лимитируют развитие экосистем. Таким образом, абиотические компоненты в совокупности с биотическими и природными факторами, составляют экологические условия жизнеобитания.

Основой формирования и функционирования биогеоценозов, а следовательно и экосистем, являются продуценты – растения и микроорганизмы, способные производить (продуцировать) из неорганического вещества органическое, используя энергию света или химические реакции.

Они выделяют чистую первичную продукцию, обусловленную приростом биомассы, и валовую первичную продукцию, в которую

входит общее количество продуцируемой в ходе фотосинтеза органики, включая энергию израсходованную на жизнедеятельность (например, на дыхание и выделение ароматических веществ). При этом первичной продуктивностью называют биомассу, а также энергию и летучие биогенные вещества, производимые продуцентами на единице площади за единицу времени.

Продуценты, использующие для продуцирования органического вещества солнечную энергию называются автотрофами (автос – сам, троф – питаться, гр.), а использующие химическую энергию – хемотрофами. К последним относятся организмы, синтезирующие органическое вещество из неорганического за счет энергии окисления аммиака, сероводорода, железа и других веществ, находящихся в почве или подстилающих горных породах. Сероводород, газы нефтяного ряда могут поступать из недр земли по тектоническим разломам, а близ поверхности Земли осваиваться хемотрофными бактериями.

Определяющим фактором видового состава экосистем являются фитоценозы – растительные сообщества, адекватные условиям их существования. Они характеризуются:

- максимальной эффективностью использования солнечной энергии для производства и накопления органического вещества;
- видовым разнообразием, обеспечивающим возможности адаптации к меняющимся условиям среды (например – тропические леса);
- высотной ярусностью, обеспечивающей возможность наиболее полного использования солнечного света (ярусы древесной, кустарниковой, кустарничковой, напочвенной растительности);
- широтной зональностью, высотной поясностью, различием на склонах различной экспозиции;
- оптимальным соотношением кон и корневой системы растений.

В отличие от продуцентов, образующих первичную продукцию экосистем, организмы, использующие эту продукцию, получили название гетеротрофы (гетерос – разный, гр.). Они используют для формирования своих органов готовое органическое вещество других организмов и продукты их жизнедеятельности.

Гетеротрофностью обладают консументы (консумо – потреблять, лат.) – потребители живого органического вещества, к которым относятся фитофаги и зоофаги. Консументы определяют вторичную

продуктивность.

Фитофаги – травоядные (фитос – растение, фагос – пожиратель) или растительноядные. Фитофаги – вторичные аккумуляторы солнечной энергии, первоначально накопленной растениями. В животных тканях, особенно – жирах ее много больше, чем в растительных. Исключая семена злаков, бобовых и масличных культур.

Зоофаги – хищники, поедающие фитофагов и более мелких хищников. Хищники – важнейшие регуляторы биологического равновесия: они не только регулируют количество животных-фитофагов, но выступают как санитары, поедая в первую очередь животных больных и ослабевших. Их полезность несомненна. Примеры: хищные птицы питающиеся мышами-полевками и другими полевыми грызунами и регулирующие их численность, дятлы, поедающие насекомых – фитофагов, стрижи и ласточки – кровососущих насекомых.

Крупные хищники малочисленны – надобно много свободной территории, где бы им не мешал человек. Их сохранение обеспечивается организацией особо охраняемых территорий – заповедников, заказников, национальных и природных парков.

Симбиотрофы (симбиоз – сожительство, гр.) – микроорганизмы и грибы, живущие на корнях растений и вокруг них и получающие часть продуктов фотосинтеза в виде выделяемых корнями органических веществ. Они всасывают из почвы и передают растению воду и минеральные соли, переводят азот воздуха в формы, доступные для освоения растениями. Если взять все органическое вещество, которое продуцирует растение,  $2/3$  его сосредоточено в биомассе тканей самого растения, а  $1/3$  выделяется корнями в почву.

Симбиотрофы получают от корня растений органическое вещество, используя грибницу – гифы, тончайшие нити, опутывающие и внедряющиеся в корни растения и передают корням поглощенные из почвы воду и минеральные соединения. Бактерии минерализуют гумус, делают доступным органику почвы для растений, связывают недоступный растениям атмосферный азот в аммиак, который усваивается растениями. Азотфиксирующие бактерии развиваются вокруг корней бобовых.

Паразиты – консументы, начиная от вирусов и бактерий (микropаразитов) и кончая крупными растениями-паразитами или насекомыми. Паразиты – организмы, обитающие внутри или на поверхности животных или растений, которые питаются за счет орга-

низма хозяина, но не съедают его до гибели, а пользуются длительное время. Паразит использует жизненные ресурсы хозяина и способен сократить его жизнь. К ним также относятся:

- микропаразиты – вирусы и бактерии, вызывающие эпидемии, эпидемии, некоторые болезни растений;
- грибковые, поражающие растения, животных и человека (лишай);
- насекомые, откладывающие свои яйца в ткани растения или животного, включая другого насекомого. Используются для биологических методов борьбы;
- кровососущие (идеи Томирдиаро о гибели мамонтов).

Сапрофаги – животные, поедающие трупы и экскременты (вороны, галки, гиены, орлы-стервятники, жуки-навозники, мухи и т.п.). Погибшие организмы образуют детрит: запас органического вещества, который как бы выключен на какое то время из кругооборота органики. Детрит перерабатывают сапрофаги и редуценты (редуцере – возвращать назад, лат.). Собственно редуценты – микроорганизмы, разлагающие органическое вещество – детрит и экскременты животных до минеральных солей, которые возвращаются через почвенные растворы обратно корням растений. Переработка детрита, например упавших древесных стволов, процесс достаточно длительный.

Множество организмов – детритофагов живет в почве, королем почвы может быть назван дождевой червь, поедающий отмершие ткани растений. Пропуская их через свой кишечник он превращает их в экскременты с высоким содержанием органических веществ. Это один из активных производителей почвенного гумуса. Масса дождевых червей в почвах высокопродуктивных экосистем может быть выше массы наземных животных.

Связи при которых одни организмы поедают другие организмы или их останки или выделения (экскременты) называются трофическими (трофе – питание, пища, гр.). При этом пищевые взаимоотношения между членами экосистемы выражаются через трофические (пищевые) цепи. Примером цепей может служить одна из трофических цепей водоемов:

- микроскопические водоросли (фитопланктон) – жучки и дафнии (зоопланктон) – плотва – щука – чайки.

### 3.2. Основные законы и принципы гидроэкологии

Используя современные научные достижения в экологии и других смежных науках можно отметить несколько наиболее важных законов и принципов, которые применимы к гидроэкосистемам.

*Закон биогенной миграции атомов* (или закон Вернадского): миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется под превосходящим влиянием живого вещества, организмов. Так происходило и в геологическом прошлом, миллионы лет назад, так происходит и в современных условиях. Живое вещество или принимает участие в биохимических процессах непосредственно, или создает соответствующую, обогащенную кислородом, углекислым газом, водородом, азотом, фосфором и другими веществами, среду. Этот закон имеет важное практическое и теоретическое значение. Понимание всех химических процессов, которые происходят в геосферах, невозможно без учета действия биогенных факторов, в частности – эволюционных. В наше время люди влияют на состояние биосферы, изменяя ее физический и химический состав, условия сбалансированной веками биогенной миграции атомов.

*Закон внутреннего динамического равновесия*: вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных естественных систем и их иерархии очень тесно связанные между собою, так что любое изменение одного из показателей неминуемо приводит к функционально-структурным изменениям других, но при этом сохраняются общие качества системы – энергетические, информационные и динамические. Следствия действия этого закона обнаруживаются в том, что после любых изменений элементов естественной среды (вещественного состава, энергии, информации, скорости естественных процессов и т.п.) обязательно развиваются цепные реакции, которые стараются нейтрализовать эти изменения.

Изменения в больших экосистемах могут иметь необратимый характер, а любые локальные преобразования природы вызовут в биосфере планеты (то есть в глобальном масштабе) и в ее наибольших подразделениях реакции ответа, которые определяют относительную неизменность эколого-экономического потенциала. Искусственное возрастание эколого-экономического потенциала ограничено термодинамической стойкостью естественных систем.

*Закон исторической необратимости*: развитие биосферы и че-

ловечества как целого не может происходить от более поздней фаз к начальной, общий процесс развития однонаправленный. Повторяются лишь отдельные элементы социальных отношений (рабство) или типы хозяйничанья.

*Закон константности* (сформулированный В. Вернадским): количество живого вещества биосферы (за определенное геологическое время) есть величина постоянная. Этот закон тесно связан с законом внутреннего динамического равновесия. По закону константности любое изменение количества живого вещества в одном из регионов биосферы неминуемо приводит к такому же по объему изменению вещества в другом регионе, только с обратным знаком. Следствием этого закона является правило обязательного заполнения экологических ниш.

*Закон генетического разнообразия*: все живое генетически разное и имеет тенденцию к увеличению биологической разнородности.

Закон имеет важное значение в природопользовании, особенно если не сразу можно предусмотреть результат нововведений во время выращивания новых микрокультур через возникающие мутации или распространение действия новых биопрепаратов не на те виды организмов, на которые они рассчитывались.

*Закон корреляции* (сформулированный Ж. Кювье): в организме как целостной системе все его части отвечают одна другой как за строением, так и за функциями. Изменение одной части неминуемо вызовет изменения в других.

*Закон максимизации энергии* (сформулированный Г. и Ю. Одумами и дополненный М. Рэймерсом): в конкуренции с другими системами сохраняется та из них, которая наибольшее оказывает содействие поступлению энергии и информации и использует максимальную их количество наиболее эффективно. Для этого такая система, большей частью, образует накопители (хранилища) высококачественной энергии, часть которой тратит на обеспечение поступления новой энергии, обеспечивает нормальный кругооборот веществ и создает механизмы регулирования, поддержки, стойкости системы, ее способности приспосабливаться к изменениям, налаживает обмен с другими системами.

*Закон максимума биогенной энергии* (закон Вернадского–Бауэра): любая биологическая и «бионесовершенная» система с биотой, которая находится в состоянии «стойкого неравновесия» (дина-

мично подвижного равновесия с окружающей средой), увеличивает, развиваясь, свое влияние на среду. В процессе эволюции видов выживают те, которые увеличивают биогенную геохимическую энергию. Вместе с другими фундаментальными положениями закон максимума биогенной энергии служит основой разработки стратегии природопользования.

*Закон минимума* (сформулированный Ю. Либихом): стойкость организма определяется самым слабым звеном в цепи ее экологических потребностей. Если количество и качество экологических факторов близкие к необходимому организму минимуму, он выживает, если меньшие за этот минимум, организм гибнет, экосистема разрушается. Поэтому во время прогнозирования экологических условий или выполнение экспертиз очень важно определить слабое звено в жизни организмов.

*Закон ограниченности естественных ресурсов*: все естественные ресурсы в условиях Земли исчерпаемы. Планета есть естественно ограниченным телом, и на ней не могут существовать бесконечные составные части.

*Закон однонаправленности потока энергии*: энергия, которую получает экосистема и которая усваивается продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передается консументам первого, второго, третьего и других порядков, а потом редуцентам, что сопровождается потерей определенного количества энергии на каждом трофическом уровне в результате процессов, которые сопровождают дыхание. Поскольку в обратный поток (от редуцентов к продуцентам) попадает очень мало начальной энергии (не большее 0,25 %), термин «кругооборот энергии» есть довольно условным

*Закон оптимальности*: никакая система не может суживаться или расширяться к бесконечности. Никакой целостный организм не может превысить определенные критические размеры, которые обеспечивают поддержку его энергетики. Эти размеры зависят от условий питания и факторов существования.

*Закон пирамиды энергий* (сформулированный Р. Линдеманом): с одного трофического уровня экологической пирамиды на другого переходит в среднем не более 10 % энергии.

*Закон равнозначности условий жизни*: все естественные условия среды, необходимые для жизни, играют равнозначные роли. Из него вытекает другой закон – совокупного действия экологических факто-

ров. Этот закон часто игнорируется, хотя имеет большое значение.

*Закон развития окружающей среды:* любая естественная система развивается лишь за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей среды. Абсолютно изолированное саморазвитие невозможно – это вывод из законов термодинамики.

Очень важными являются следствия закона. 1. Абсолютно безотходное производство невозможно. 2. Любая более высокоорганизованная биотическая система в своем развитии есть потенциальной угрозой для менее организованных систем. Поэтому в биосфере Земли невозможно повторное зарождение жизни – оно будет уничтожено уже существующими организмами. 3. Биосфера Земли, как система, развивается за счет внутренних и космических ресурсов.

*Закон толерантности* (закон Шелфорда): лимитирующим фактором процветания организма может быть как минимум, так и максимум экологического влияния, диапазон между которыми определяет степень выносливости (толерантности) организма к данному фактору. Соответственно закону любой избыток вещества или энергии в экосистеме становится его врагом, загрязнителем.

*Закон физико-химического единства живого вещества* (сформулированный В. Вернадским): все живое вещество Земли имеет единую физико-химическую природу. Из этого вытекает, что вредное для одной части живого вещества вредит и другой его части, только, конечно, разной мерой. Разность состоит лишь в стойкости видов к действию того ли другого агента. Кроме того, через наличие в любой популяции более или менее стойких к физико-химическому влиянию видов скорость отбора за выносливостью популяций к вредному агенту прямо пропорциональна скорости размножения организмов и дежурство поколений. Через это продолжительное употребление пестицидов экологически недопустимо, так как вредители, которые размножаются более быстро, более быстро приспосабливаются и выживают, а объемы химических загрязнений приходится увеличивать.

*Закон экологической корреляции:* в экосистеме все виды живого вещества и абиотические экологические компоненты функционально отвечают один другому. Выпадение одной части системы (вида) неминуемо приводит к выключению связанных с ею других частей экосистемы и функциональных изменений.

## **Глава 4. АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОСФЕРУ**

В процессе использования и потребления воды, необходимой для удовлетворения физиологических, хозяйственных и производственных потребностей людей, можно выделить три последовательных этапа: 1 – забор воды из природных источников и доставка ее к месту использования; 2 – использование воды в различных хозяйственно-бытовых и производственных процессах; 3 – отведение и сброс в водоприемники использованной или сопутствующей процессу воды.

Снижение загрязнения водных объектов достигается в основном по следующим направлениям.

Первое – это изменение технологических процессов, их совершенствование с целью снижения количества и видового состава загрязняющих отходов. Внедрение малоотходных и безотходных производств.

Второе – переход на ресурсосберегающее водообеспечение с максимально возможным использованием последовательной и оборотной системы водоснабжения, локальной доочистки вод.

Третье – это совершенствование методов очистки использованных вод. Причем, в отношении методов активной очистки сточных вод с созданием специальных очистных сооружений и систем, следует отметить, что локальная очистка вод, однородных по характеру загрязнения, намного эффективнее, проще и дешевле, чем очистка смеси сточных вод на централизованных очистных сооружениях.

И, наконец, в случаях неполноты или невозможности очистки сточных вод объекты-водоприемники, их гидрологический режим и гидробиологические особенности, режим сброса или способ захоронения сточных вод должны быть выбраны так, чтобы обеспечить соблюдение водоохраных и экологических норм.

### **4.1. Водопотребители и водопользователи**

*Коммунально-бытовое хозяйство.* Доля коммунально-бытового водоснабжения в общем водопотреблении невелика. Однако, водоснабжение населения – важнейшая задача любого города или села. Отсутствие чистой питьевой воды – одна из главных причин болезней. Поэтому 80-е годы XX века объявлены Международным десятилетием

ем питьевого водоснабжения и санитарии. Принцип приоритета коммунально-бытового водоснабжения заключается в том, что в любых условиях население должно быть обеспечено водой в первую очередь.

Коммунально-бытовое водоснабжение связано с непосредственным потреблением воды населением, с использованием воды для хозяйственно-бытовых целей, для удовлетворения нужд коммунально-бытового хозяйства, городского транспорта, строительных организаций.

Коммунально-бытовое хозяйство как водопотребитель имеет ряд особенностей. Прежде всего предъявляются высокие требования к качеству воды как по физическим свойствам, так и по химическим показателям. Важнейшим требованием является отсутствие в воде патогенных микробов, по содержанию которых воду делят на несколько типов (безупречно здоровая, здоровая, подозрительная, сомнительная, нездоровая, совершенно непригодная).

Особенностями коммунально-бытового водоснабжения являются также равномерность потребления воды в течение года и неравномерность в течение суток. При повышении температуры воздуха потребление воды несколько возрастает, но сезонные колебания не превышают 15 – 20 %. В то же время суточные колебания значительны, так как более 70 % воды потребляется днем.

Нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения зависят от благоустройства жилого фонда населенного пункта и климатических условий, а часто и исторических.

*Гидроэнергетика.* В современных условиях гидроэнергетика – один из важнейших компонентов водохозяйственных комплексов. Полезный объем водохранилищ действующих гидроэлектростанций составляет 95 % общего полезного объема всех водохранилищ.

Гидроэлектростанции обладают такими достоинствами, как неистощимость энергетических ресурсов, высокая степень их использования (до 90 %), низкие себестоимость вырабатываемой энергии и затраты труда на единицу мощности (в 10 раз меньше, чем на тепловых (ТЭЦ) и атомных (АЭС) электростанциях).

Требования гидроэнергетики к водным ресурсам сводятся к обеспечению стабильного в течение года расхода воды. Для эффективной работы гидротурбин напор при сработке комплексных водохранилищ не должен падать больше, чем на 30 – 40 %.

Различают общий энергетический потенциал речного стока по

отношению к уровню морей, технический – возможное использование гидроэнергетического потенциала на современном уровне развития техники и экономический – экономически целесообразный для реализации на гидроэлектростанциях при существующих ценах на топливо.

Наибольшим экономическим потенциалом в СССР располагали РСФСР (852 млрд. кВт-ч), затем Таджикская ССР (85), Киргизская ССР (48), Грузинская ССР (32), Казахская ССР (27), наименьшим – Белорусская ССР (0,9), Молдавская ССР (0,7) и Эстонская ССР (0,05 млрд. кВт-ч).

Из зарубежных стран наибольшим экономическим потенциалом гидроэнергии располагают США (705 млрд. кВт-ч), Заир (660), Бразилия (657), Канада (535), Колумбия (300), Бирма (225), Индия (221), Аргентина (152), Индонезия (150), Чили (146), Япония (132), Эквадор (126 млрд. кВт-ч). Наиболее полно он использован во Франции, Швеции и Швейцарии (более 90 %), а также в Италии, Австрии, Испании и Норвегии (более 70 %).

По характеру использования электрической энергии все потребители могут быть разделены на три основные группы:

- постоянные потребители, спрос на энергию которых в течение года не изменяется (большинство промышленных предприятий, нагрузка которых уменьшается лишь в выходные и праздничные дни);

- потребители с сезонно-изменяющейся нагрузкой (освещение, пригородный железнодорожный транспорт, водоснабжение);

- сезонные потребители (сельскохозяйственное производство, торфоразработки, машинное орошение и пр.).

В водохозяйственном комплексе наиболее часто используют плотинные ГЭС, которые строят как на равнинных, так и на горных реках. На равнинных реках плотины обычно невысокие, создающие напор до 40 м.

*Промышленность.* В системе водного хозяйства страны промышленность выступает как один из крупнейших потребителей воды, предъявляющий различные требования к ее количеству и качеству. В настоящее время вода как фактор размещения промышленного производства приобретает большое значение, так как она является одним из элементов производственного процесса, несущим разнообразные функции, а также в ряде случаев и сырьем.

Для промышленного водопотребления характерны большие объемы водопотребления и водоотведения; незначительный процент

безвозвратного водопотребления; большая зависимость расхода воды, забираемого из источника, от технологии производства и системы водоснабжения; разнообразие функций использования воды; равномерность потребления воды в течение года; большой удельный вес в загрязнении источников воды.

Объем воды, необходимой для нормальной деятельности предприятий, определяется: 1 – характером использования воды; 2 – объемом и видом выпускаемой продукции; 3 – принятой технологией производства; 4 – системой промышленного водоснабжения.

Наибольшее количество воды, используемой в промышленности, применяют для охлаждения. Большие объемы воды требуются для гидравлического транспорта. Например, в горнодобывающей промышленности эта функция воды является основной.

Кроме технологических нужд, в промышленном производстве воду используют для удовлетворения хозяйственно-бытовых потребностей работающего персонала, уборки производственных помещений, полива зеленых насаждений, обеспечения пожарной безопасности.

Большое значение имеет вид выпускаемой продукции. В зависимости от него удельное водопотребление (на единицу продукции) может изменяться от нескольких единиц до нескольких тысяч кубических метров.

Удельное водопотребление зависит также от технологии, применяемой для получения промышленной продукции. Например, на химических предприятиях, выпускающих одну и ту же продукцию, в зависимости от технологии производства удельные расходы воды различаются в 5 – 10 раз.

Большое влияние на объемы воды, используемые в промышленности, оказывают схемы промышленного водоснабжения, наиболее простая из которых – прямоточная. Воду подают из источника водоснабжения к промышленному предприятию и после использования и соответствующей очистки сбрасывают. В системах оборотного водоснабжения отработавшую в технологическом процессе воду пропускают через охлаждающие или очистные устройства и затем снова направляют в производственный цикл. Предусматривается периодическое пополнение системы свежей водой для компенсации потерь. При повторной схеме водоснабжения воду, уже использованную в определенных процессах, передают для использования в других процессах

этого же предприятия или на другие предприятия и после соответствующей очистки сбрасывают.

При определении объемов потребляемой воды используют следующие показатели: объем полного водопотребления, объем свежей воды, объем оборотной воды, объем безвозвратного водопотребления (сумма объемов воды, вошедшей в состав продукции; потерь воды в процессе водоподготовки и в водопроводящей сети; потерь воды в процессе производства, очистки и охлаждения; объема загрязненных стоков, которые подлежат уничтожению).

Водоотведение характеризуется объемом сбрасываемых сточных вод и зависит в основном от схемы водоснабжения.

Требования промышленного производства к качеству воды достаточно разнообразны. Они зависят от функции воды в производстве. Вода, используемая для хозяйственно-бытовых нужд работающих на производстве, должна отвечать требованиям, предъявляемым к качеству воды в коммунально-бытовом хозяйстве. Вода, которую используют для технических нужд, должна быть безвредной для здоровья работающих.

От качества воды, используемой в производстве, зависят качество продукции, долговечность оборудования и т. д. Наиболее высокие требования предъявляют к воде, служащей технологическим сырьем и входящей в состав выпускаемой продукции. Эти требования регламентируются в зависимости от вида продукции. Вода, используемая для других целей, должна отвечать стандартам жесткости, накипеобразования, вспенивания, агрессивности и т. п. Наименьшие требования можно предъявить к воде, используемой для охлаждения и гидротранспорта. Она не должна вызывать коррозии металла, разрушения бетона, биологических обрастаний охладителей.

*Рыбное хозяйство.* Рыбная продукция составляет существенную долю в обеспечении питания населения земного шара. Основную часть рыбы добывают в открытых морях и водах океана, что составляет в последние годы 80 – 100 млн. т в год.

Все виды рыб можно разделить на проходных, полупроходных и жилых. Проходные виды нагуливаются в море, а для размножения заходят в реки, поднимаясь для нереста на сотни и тысячи километров. Полупроходные породы рыб также нагуливаются также в море, озере, водохранилище, а для размножения заходят в дельты рек и пойменные системы, периодически затапливаемые в период весеннего половодья.

Рыб, ведущих оседлый образ жизни, называют туводными (жилыми).

Пресноводных рыб разделяют на реофильных (или речных), обитающих в проточном русле, и на лимнофильных (или озерных), приспособившихся к жизни в спокойной воде озер и водохранилищ.

Рыба очень требовательна к качеству воды. Даже относительно небольшие залповые сбросы неочищенных вод предприятий пищевой, химической и другой промышленности, животноводческих комплексов, а также смывы удобрений и ядохимикатов с полей или мест их хранения часто приводят к массовой гибели рыбы. Рыба очень чувствительна к радиоактивному загрязнению воды. Радиоактивные вещества накапливаются в растениях и мелких гидробионтах. Отдельные рыбы радиоактивнее окружающей среды в несколько тысяч раз.

Губительно действует на рыбу и недостаток растворенного в воде кислорода, вызванный окислением органических веществ, поступающих со сточными водами.

*Водный транспорт и лесослав.* В современных условиях водный транспорт самым тесным образом связан с комплексным освоением водных ресурсов. Улучшение и реконструкция водных путей, как правило, оправдывают себя лишь при строительстве каскада комплексных гидроузлов. В свою очередь, включение водного транспорта в состав ВХК накладывает свой отпечаток на параметры и компоновку гидроузлов, а также на состояние водных объектов.

Внутренние водные пути подразделяют на естественные и искусственные. Естественные водные пути – свободные реки и озера, искусственные – каналы, водохранилища и реки, режим которых существенно изменен возведением гидротехнических сооружений.

Внутренний водный транспорт, несмотря на относительно малый удельный объем перевозок, занимает важное место в народном хозяйстве, совершая перевозки многообъемных грузов, не требующих большой скорости доставки и равномерной подачи их в течение года (строительные материалы, руда, уголь, сельскохозяйственная продукция и пр.). Перевозка водным транспортом в 2,5 – 3 раза дешевле, чем железнодорожным, и в 10 – 15 раз – чем автомобильным.

Водный транспорт относится к водопользователям, использующим водные источники как среду без количественного ее изменения. Вместе с тем он наносит ущерб энергетике и другим водопотребителям отъемом воды из водохранилища при осуществлении попусков и при шлюзовании судов.

Водный транспорт загрязняет водные источники нефтепродуктами и другими отходами, а также создает волны, разрушающие берега и нерестилища.

Лесосплав имеет важное народнохозяйственное значение по следующим причинам: значительная часть запасов древесины расположена в районах, тяготеющих к водным путям. Лесосплав – наиболее простой и дешевый вид транспорта леса.

Сплав леса можно проводить различными способами. Например, при молевом сплаве отдельные, не связанные между собой бревна, плывут россыпью по течению реки. Этот вид сплава часто является единственно возможным способом доставки древесины из труднодоступных для других видов транспорта лесных массивов.

Молевой сплав при своей простоте обладает недостатками. Значительны потери древесины, связанные с выбросом бревен на берега и особенно с их затоплением. Наиболее быстро тонут и намокают лиственные породы: береза, осина, клен и др. Молевой сплав влияет на естественное состояние рек и наносит большой ущерб рыбному хозяйству. Затонувшие древесина и кора захламляют русло, а при их разложении поглощается кислород и выделяются вредные вещества, которые отравляют воду. Плывущие бревна часто травмируют рыбу, идущую на нерест, разрушают нерестилища, и берега, что способствует заилению русла. Для облегчения управления сплавом древесины прибрежную защитную полосу кустарников обычно вырубает, что приводит к интенсивному размыву берегов, способствует заилению русл и загрязнению воды поверхностными стоками.

Котельный сплав заключается в обноске сплавной древесины цепочкой из плавающих бревен, соединенных канатами или цепями, и называемую кошелем. Форма кошелька может быть круговой, сигарообразной и прямоугольной. Кошельный способ применяют на небольших озерах и водохранилищах, а также на тиховодных участках рек при небольших расстояниях сплава. Его обычно используют для транспортировки древесины, собираемой с берегов, а также некондиционной, не пригодной для сплотки.

При плотовом сплаве (сплотка бревен в плоты) потеря древесины при транспортировании практически исключается, она сохраняется лишь на участке, сборки плотов, при их приемке и сортировке, а также в случае штормовых разрушений плотов.

В перспективе сплав леса в плотях будет постепенно сокращать-

ся с переходом на перевозку насухо в судах, что улучшит качество древесины, но потребует реконструкции всего лесозаготовительного хозяйства и внедрения новых транспортно-технических схем.

*Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение.* Сельскохозяйственное водоснабжение включает хозяйственно-бытовые потребности в воде сельских населенных пунктов, полевых станков, животноводческих ферм и комплексов, машинно-тракторного парка.

Особенности водоснабжения сельских населенных пунктов (по сравнению с коммунально-бытовым водоснабжением в городах) следующие: большая часовая неравномерность, большие объемы безвозвратного водопотребления (из-за меньшего применения канализации), меньшее удельное водопотребление. В перспективе с ростом благоустройства сельских населенных пунктов указанные различия будут снижаться.

Объем сельскохозяйственного водоснабжения зависит от источника водоснабжения, способов подъема воды и ее транспортирования. Нормы потребления воды определяют в соответствии с ГОСТом. В животноводстве количество потребляемой воды зависит от вида поголовья, условий содержания скота, технической оснащенности ферм.

Большим потребителем воды является животноводческий комплекс – крупное специализированное сельскохозяйственное предприятие по производству продукции на базе индустриальной технологии. Вода здесь используется на физиологические, технологические и вспомогательные нужды. В нормах учитывают расход воды отдельно на каждый вид потребления, причем используют усредненные показатели по каждой группе животных с учетом мощности комплексов, технологии содержания животных и способа уборки навоза. Последний фактор оказывает большое влияние на объем потребляемой воды. В зависимости от способа уборки навоза (механического или гидравлического) норма потребления воды на технологические нужды может увеличиться в 3,5 раза. Нормы потребления воды животными зависят от их вида и составляют от 200 (коровы) до 2 (молодняк овец) л/сут на одну голову.

На промышленных животноводческих комплексах сточные воды разделяют на хозяйственно-бытовые, производственные и жидкий навоз. Объемы этих стоков зависят от принятой технологии производства, мощности комплекса и степени его благоустройства. Эффективное средство утилизации таких стоков – орошение кормовых культур

на полях орошения. Такое использование сточных вод позволяет снизить опасность загрязнения водных ресурсов, производить их доочистку в почвенном слое и улучшить условия создания кормовой базы.

Требования к качеству воды, используемой в сельскохозяйственном водоснабжении, зависят от вида потребления. Самые высокие требования предъявляют к питьевой воде. Вода, используемая для нужд животноводства, должна удовлетворять тем же требованиям, которые предъявляют к воде для хозяйственно-питьевых целей. Так, поение скота загрязненной водой может снизить продуктивность на 40 – 70 %.

В то же время по некоторым показателям (цветность, прозрачность, запах) требования к воде, используемой для животных, могут быть несколько снижены. Для полива приусадебных участков и эксплуатации машинно-тракторного парка можно применять воду менее высокого качества.

Для животноводческих комплексов характерно большое количество органических отходов. Например, отходы крупного свиноводческого комплекса могут составлять до 3000 т жидкого навоза в сутки, или 1 млн. т в год. Состав биологических животноводческих отходов характеризуется следующими цифрами (в граммах на 1 кг живого веса): БПК<sub>полн</sub> – 4,5–10,0; бихроматная окисляемость (ХПК) – 12,0–17,0; азот общий – 4,0–18,0; фосфор общий – 0,3–3,6; калий – 2,9–5,8. При этом высока бактериальная загрязненность отходов.

С животноводческой деятельностью также связано загрязнение талого и дождевого стока, формирующегося на площадях выгула и загона скота. С этих площадей в водные объекты поступает большое количество взвешенных минеральных частиц, смываемых с вытоптаных, не покрытых травяной растительностью участков.

Еще одной причиной загрязнения поверхностных вод является сток, сформировавшийся на полях, обработанных ядохимикатами (пестицидами) и минеральными удобрениями.

Особенность пестицидов состоит в способности длительное время сохранять токсичность, передаваться по пищевым цепям, накапливаться, а также в продолжительности периода вымыва из почвы. Следует отметить, что на орошаемых полях интенсивность вымыва химикатов увеличивается в несколько раз.

*Оросительные мелиорации.* Необходимость обеспечения населения земли продуктами питания заставляет развивать интенсивные

способы животноводства и выращивания сельскохозяйственных культур, среди которых орошение занимает ведущее место.

Сельскохозяйственные земли составляют десятую часть суши, из них только шестая часть орошается. Однако с этих площадей в мире получают от 40 до 50 % сельскохозяйственной продукции.

В развитых странах водопотребление на нужды сельского хозяйства превышает  $500 \text{ км}^3$  в год.

В начале 80-х годов XX века орошаемая площадь во всех странах составила 270 млн. га, из них в Индии – 57, Китае – 48, США – 25, СССР – 17,5, Пакистане – 14,3 млн. га. В США в это время поливали 18 % пашни и насаждений, Индии – 34, Китае – 47, Японии – 58, Италии – 21, Болгарии – 28, Румынии – 22. В СССР общая площадь орошаемых и осушаемых земель достигла в 1984 г. 33 млн. га.

*Осушительные мелиорации.* По данным Минводхоза СССР, на 1983 г. из 33 млн. га мелиорированных земель 14,4 млн. осушалось. Осушительные мелиорации как участника ВХК можно рассматривать в нескольких аспектах.

Во-первых, при осушении происходит сработка «вековых» запасов грунтовых вод и на некоторое время (до 7 лет) сток рек-водоприемников увеличивается. Расходы летней межени могут возрасти в 1,5 – 2 раза.

В то же время несколько уменьшается максимальный сток из-за создания в зоне аэрации некоторой емкости, способной вместить осадки и талые воды. Однако эти водные ресурсы не следует считать потерянными, так как они идут на транспирацию и участвуют в создании сельскохозяйственной продукции.

Во-вторых, в зоне неустойчивого увлажнения осушаемые земли необходимо в засушливые периоды увлажнять с помощью подъема грунтовых вод или орошения дождеванием.

В-третьих, интенсивные способы земледелия, глубокое рыхление, кротование, а также значительные дозы внесения минеральных удобрений превращают осушительные системы в источник загрязнения рек-водоприемников, так как водоотведение может составить 30 – 50 % водоподачи (осадки + оросительные нормы).

В-четвертых, осушение земель с грунтовым типом водного питания приводит к понижению уровня грунтовых вод не только на осушаемой территории, но и на прилегающих землях.

Для комплексного решения водохозяйственных проблем при осушительных мелиорациях необходимо:

1. создавать системы, позволяющие осуществлять регулирование стока с осушаемых территорий;
2. более эффективно использовать местные водные ресурсы за счет создания водохранилищ и прудов;
3. при мелиорации пойменных земель регулирование водоприемников проводить осмотрительно, учитывая, что возможны переосушка территории и уменьшение общей водности речного бассейна;
4. создавать мелиоративные системы комплексного регулирования водного, питательного и теплового режимов, позволяющие в 1,5...2 раза увеличивать продуктивность осушаемых земель и повышать эффективность использования оросительной воды;
5. осуществлять оборотное использование дренажного стока для орошения осушаемых земель и в целях предотвращения загрязнения окружающей среды;
6. снижать отрицательное влияние осушительных систем на прилегающие территории;
7. использовать водохранилища и озера на осушаемых землях для рыбоводства.

Влияние крупной осушительной системы на окружающую территорию распространяется на площадь, равную 65 % площади осушения. При осушении 14,4 млн. га около 9,4 млн. га находятся под влиянием осушительных систем. Однако влияние на этой территории различно. На 25 % осушаемой площади это влияние положительно, на 50 – 55 % пренебрежимо мало, а на 20 % площади суходольной территории, граничащей с осушаемым объектом, обнаруживается негативное влияние.

*Рекреация.* Частью водного хозяйства является использование водных ресурсов для целей рекреации, то есть для отдыха и лечения населения, водного спорта. Рекреация получает все большее значение в связи с повышением уровня жизни народа, увеличением свободного времени, ростом урбанизации. В организации полноценного отдыха и лечения особая роль принадлежит рекам и водоемам. Поэтому большую часть рекреационных учреждений располагают либо непосредственно на берегах водоемов, либо вблизи них. Водоемы – центры кратковременного отдыха для населения многих городов страны. На отдаленных от города водоемах организуют длительный отдых, лечение,

спортивное рыболовство и т. п.

С созданием водохранилищ рекреационная ценность природного комплекса обычно возрастает. Повышается также и его рекреационная емкость в результате увеличения длины береговой линии и площади акватории. Изменяются климатические условия района.

Рекреация на водоемах выступает в основном как водопользователь, использующий воду как среду. В качестве водопотребителя рекреация пользуется водой для питьевого водоснабжения и удовлетворения других коммунальных нужд отдыхающих и спортсменов. Ниже приведены нормы водопотребления в рекреационных учреждениях.

Тип учреждения	Нормы водопотребления, л/сут на 1 чел.
Санатории	400...500
Лечебные учреждения с грязелечением	700...800
Дома отдыха, пансионаты	100
Стадионы, спортивные залы (для спортсменов)	50–60
Стадионы, спортивные залы (для зрителей)	3

Использование водоемов для отдыха предъявляет высокие требования к качеству воды и определенные требования к режиму водоемов.

Вода, которую применяют для коммунально-бытовых нужд в рекреационных учреждениях, должна соответствовать нормативам качества, принятым для питьевой воды. Высокое качество воды должно быть в бассейнах, в водоемах, предназначенных для купания и спортивного рыболовства.

Качество воды не имеет решающего значения, если водоемы используют для следующих видов водного спорта: гребля, водные лыжи, парусный спорт, водный туризм. Но если они сочетаются с купанием (в жаркие месяцы), то требования к качеству воды резко повышаются.

Основное отрицательное влияние рекреационного использования водохранилищ заключается в загрязнении водоемов при купании, водном туризме, от моторных лодок и катеров. Поэтому запрещается рекреационное использование водохранилищ в зонах, примыкающих к водозаборам хозяйственно-питьевого назначения. К таким зонам относятся также акватории, используемые для рыбозаведения, и заповедные участки. В свою очередь, на рекреацию отрицательно влияют

промышленное и коммунально-бытовое водоснабжение, водный транспорт, которые загрязняют водные ресурсы при сбросе сточных вод, а также гидроэнергетика, в интересах которой проводится суточное регулирование стока, вызывающее резкие колебания уровней воды.

*Влияние городов.* Городские территории, для которых характерна высокая концентрация промышленности, населения, бытовых предприятий, отличаются особым обострением водоохранных и экологических проблем. Нарастание антропогенной нагрузки приводит к тому, что в городах и близлежащих территориях наблюдается многократно повышенная загрязненность среды, развиваются процессы разрушения экосистем, истощения растительного и животного мира. Во многих случаях наблюдается дефицит пресной воды, качество воды не всегда соответствует всем требованиям хозяйственно-питьевого водоснабжения. Как правило, в таких ситуациях наблюдается повышенная заболеваемость (иногда и смертность) населения.

На урбанизированной (городской) территории концентрируются и тесно переплетаются проблемы водоснабжения (питьевого, хозяйственного, промышленного), отвода большого количества использованных сточных вод, физического, химического и теплового загрязнения окружающих водных объектов. Во многих случаях возникают сложности в связи с наводнениями и подтоплением территорий, русловыми процессами, заилением малых водотоков и перестроением берегов водоемов.

Процесс загрязнения водных объектов, расположенных в городе или рядом с ним, имеет некоторую особенность. Для урбанизированной территории, кроме сосредоточенного отвода сточных вод, через специальные канализационные системы с возможной их очисткой характерен поверхностный рассредоточенный сток загрязненных вод. Талые и дождевые воды выносят в гидрографическую сеть смытый с городской территории мусор и различные вещества: нефтепродукты, выпавшие атмосферные аэрозоли, продукты разрушения дорожных покрытий и строительных материалов, частицы грунта и т. п.

Смыв органических и минеральных веществ с единицы площади городской территории может в 2–4 раза превышать смыв с сельскохозяйственных угодий. Средняя концентрация загрязняющих веществ в городских поверхностных водах уменьшается с увеличением слоя стока, когда увеличивается степень разбавления. Отмечается, что та-

лые воды, в целом, более загрязнены, чем дождевые. Особенно это заметно при малоснежной зиме и бурном снеготаянии. Загрязненность дождевого стока возрастает с увеличением сухого периода, предшествующего дождю, и с повышением его интенсивности.

Количество загрязняющих веществ в городском поверхностном стоке, поступающее в водные объекты, в среднем оценивается значениями, представленными в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Удельное количество загрязняющих веществ в водах, стекающих с городских территорий**

Вид загрязнения	Количество кг/(год•га)
Взвешенные вещества	2000 – 2500
БПК <sub>5</sub>	140 – 200
Нефтепродукты	60 – 100
Азот общий	4 – 6
Фосфор общий	1,0– 1,5
Минерализация	400 – 600

Концентрация загрязняющих веществ определяется такими особенностями территории, как плотность населения, объем и виды промышленности, транспортная насыщенность, степень благоустроенности и т. п., а также гидрометеорологическими факторами: интенсивностью и объемом талых вод, режимом выпадения осадков, коэффициентами поверхностного стока.

Взвешенные вещества, поступающие в реки и водоемы с городских территорий, представляют достаточно большую санитарно-экологическую опасность. Они ведут к заилению рек. Органические же вещества, составляющие в среднем 20–30 % общего количества взвешенных веществ, существенно снижают содержание кислорода в воде и в процессе анаэробного распада сильно ухудшают качество воды.

## 4.2. Использование воды в мире

Ресурсы пресных вод Земли формируются в процессе глобального круговорота воды, который является опреснителем вод и способствует их непрерывному возобновлению. При кажущемся обилии воды на планете пресная вода составляет всего 3 % от общих запасов, причем <sup>3</sup>/<sub>4</sub> пресной воды составляют льды Арктики и Антарктиды. Пя-

тую часть составляют подземные воды. Лишь 1 % циркулирует в реках и озерах.

Общее потребление пресных вод из года в год возрастает во всех регионах мира. Если в начале нашего столетия человечество потребляло  $400 \text{ км}^3$  воды в год, то ныне нам ежегодно необходимо уже около  $4000 \text{ км}^3$ , т.е. около 10 % объема мирового речного стока.

По регионам мира использование водных ресурсов сильно варьирует. Указанный процент отражает отношение количества воды, используемой на хозяйственные нужды, к запасам местных водных ресурсов.

В результате постоянно растущего водопотребления происходит истощение ресурсов пресных вод за счет загрязнения источников пресных вод, безвозвратного расходования воды. Необходимо рассмотреть основные виды мирового водопотребления и его экологические последствия.

Орошение являлось основой жизни в Древнем Египте, Месопотамии, Индии, Китае. Орошаемое земледелие как в древности, так и теперь является главным водопотребителем.

Со второй половины нынешнего столетия начался качественно новый этап в развитии орошения, характеризующийся существенным ростом орошаемых площадей, расширением их географии. В результате в настоящее время практически нет стран, где бы ни применялось орошение.

Наибольшей орошаемой площадью располагает Азия. Здесь практически во всех странах используется орошение. На юге и востоке континента сосредоточены основные массивы орошаемых земель, большая часть которых используется для выращивания риса.

Другим видом водопотребления является коммунально-бытовое водопотребление. Этот вид расходования водных ресурсов связан с потреблением воды населением городов и сельской местности. При этом особые требования предъявляются к качеству воды.

В настоящее время суммарный объем потребляемой населением воды превысил  $250 \text{ км}^3$  в год. Но лишь 4 % населения земного шара пользуются водой в достаточном количестве,\* т.е. около 300–400 л/сутки на человека (из которых 10 % доброкачественная питьевая вода), а для  $\frac{2}{3}$  населения, сосредоточенных главным образом в Африке и Азии, удельное потребление воды в 10 раз меньше.

По данным международной конференции в Рио-де-Жанейро

(1992 г.), в развивающихся странах каждый третий житель страдает от недостатка питьевой воды. 80 % всех болезней и  $\frac{1}{3}$  всех смертных случаев в них вызваны потреблением загрязненной воды. Поэтому важной проблемой становится обеспечение всех жителей планеты доброкачественной питьевой водой за счет рационального ее использования. Весьма показателен такой пример. По оценкам американских экспертов, в США в среднем потери питьевой воды, связанные с ее утечкой из водопроводов, составляют около 120 л в сутки на человека. Эта величина соответствует суммарному среднесуточному потреблению воды одного жителя Индии и Китая.

В настоящее время на нужды промышленности и энергетики расходуется 760 км<sup>3</sup> воды, что уступает только орошению. Суммарные оценки современного и будущего расходования воды в промышленности и энергетике представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

**Использование воды в промышленности и энергетике, км<sup>3</sup>/год**  
(по И.Р. Голубеву)

Регионы	Современное состояние			Прогноз на начало XXI в.		
	Водозабор	Безвозвратный расход	Сточные воды	Водозабор	Безвозвратный расход	Сточные воды
Европа	193	19	174	200–210	30–37	160–175
Азия	118	30	88	320–340	65–70	215–270
Африка	6,5	2	4,5	30–35	5–10	25
Северная Америка	294	29	265	363–370	50–60	310
Южная Америка	30	6	24	100–110	20–25	60–87
Австралия	1,5	0,1	1,5	3,0–4	1	2–3,0
Бывший СССР	117	11,9	105	140–150	20–27	120–130

Объемы потребления воды в промышленности весьма различа-

ются по отраслям. Так, на производство 1 т хлопчатобумажных тканей расходуется 250 м<sup>3</sup> воды, а для выпуска 1 т синтетического волокна – 2500 – 5000 м<sup>3</sup> воды. Очень много воды расходуется в производстве цветных металлов: выплавка 1 т никеля требует 4000 м<sup>3</sup> воды. Наибольшее количество воды расходуется в промышленности США – 260 км<sup>3</sup>/год, что составляет почти треть суммарного мирового расхода. По прогнозам ученых, к концу XX в. водозабор в странах Азии, Африки, Латинской Америки возрастет в 3–5 раз, а в экономически развитых странах – лишь на 10–25 %, поскольку их водные ресурсы истощены как количественно, так и качественно.

Всего на земном шаре к настоящему времени сооружено свыше 30 тыс. водохранилищ, суммарный объем которых составляет около 6 тыс. км<sup>3</sup>. Общая площадь водохранилищ мира составляет 400 тыс. км<sup>2</sup>, что соответствует территориям таких государств, как, например, Норвегия, Марокко, Парагвай.

С поверхности водохранилищ испаряется значительное количество воды – до 240 км<sup>3</sup>. Для Африканского континента в целом этот вид расходования воды прочно удерживает второе место после орошения, превышая в 5 раз по абсолютной величине промышленное водопотребление.

Суммарное использование водных ресурсов превысило 3500 км<sup>3</sup>. Основное водопользование – орошаемое земледелие.

Необходимым является определение основных путей охраны водных ресурсов в процессе их использования. Главным в охране водных ресурсов должна стать борьба с причинами загрязнений, а не с их последствиями, преобладающая ныне. Именно такой подход предусматривает интересы современного и особенно будущего поколения.

Современная стратегия охраны вод, ориентированная на нейтрализацию сточных вод очистными сооружениями, рано или поздно заведет мировое сообщество в тупик. Ведь, для того чтобы нейтрализовать даже хорошо очищенную сточную воду, необходимо иметь в водных объектах, куда сбрасываются стоки, чистую воду, обеспечивающую разбавление стоков как минимум в 10–12 раз. Только в этом случае естественный процесс самоочищения может справиться с доочисткой. Некоторые виды очищенных сточных вод требуют разбавления в 40–50-кратном количестве.

Вместе с тем ряд технологических мер должен служить ориен-

тирами для рационального использования ресурсов вод всех стран мира.

В XXI веке вода стала лимитирующим фактором для существования человечества. В таблице 4.3. приведены данные о подушевом потреблении воды современного человека.

Таблица 4.3

**Потребление воды на одного человека в мире**

Вид потребления	Объем, м <sup>3</sup> сут <sup>-1</sup>
Бытовое в сельской местности	0,045
Бытовое в городах	0,460
Промышленное потребление	0,900
Производство электроэнергии	1,600
Сельскохозяйственное потребление	2,200
Итого:	5,200
В том числе: безвозвратное	1,500

**4.3. Использование воды в РБ**

По данным государственного водного кадастра, забор воды из природных водных источников в 2003 г. уменьшился по сравнению с прошлым годом на 33,3 млн.м<sup>3</sup> и составил 1832 млн.м<sup>3</sup>, в том числе из поверхностных водных объектов – 768 млн.м<sup>3</sup>, из подземных – 1064 млн.м<sup>3</sup> (табл. 4.4).

Таблица 4.4

**Динамика объемов забора природных вод за 1999–2003 гг., млн.м<sup>3</sup>**

Год	Поверхностные воды			Подземная вода	Всего для использования	Общий водозабор
	для использования	для перераспределения в р. Свислочь	Всего			
1999	756	34	790	1095	1851	1885
2000	755	46	801	1082	1837	1883
2001	747	52	799	1086	1833	1855
2002	745	42	787	1079	1823	1865
2003	733	35	768	1064	1797	1832

Прослеживаемая в последние годы тенденция к снижению использования воды на производственные нужды и сельскохозяйственное водоснабжение сохранилась. Особенно заметно сократилось использование воды в промышленности (на 41,6 млн.м<sup>3</sup> или 8,6 %) по сравнению с 2002 г.

Использование воды на хозяйственно-питьевые нужды остается сравнительно стабильным. Некоторое уменьшение (на 9 млн.м<sup>3</sup>) этого показателя по сравнению с предыдущим годом связано с упорядочением учета объемов передаваемой воды в систему жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) за счет расширения сети приборного обслуживания жилого фонда городов. Объемы потерь при транспортировке составили 116 млн.м<sup>3</sup>, сохранившись в целом в республике на уровне предыдущего года, однако по ряду городов (Брест, Молодечно, Слуцк) эти потери значительно возросли. В 2003 г. зарегистрировано дальнейшее снижение потребления воды питьевого качества на производственные нужды (с 164 до 157 млн.м<sup>3</sup>).

Общий объем забранной воды по сравнению с 2002 г. сократился во всех областях, кроме Брестской области и г.Минска. Причем в Брестской области увеличился забор поверхностных вод, а в г.Минске – подземных вод. В структуре водозабора в 2003 г., как и во все последние годы, преобладали подземные воды. Аналогичная ситуация характерна и для отдельных областей страны, в которых относительная величина подземного водозабора варьировала от 51 % в Гомельской области до 71 % в Могилевской.

В целом в крупных городах (с учетом г.Минска) при транспортировке теряется 77 млн.м<sup>3</sup> воды, т.е. 66 % общего объема потерь воды в стране. При этом величина потерь в Минске составляет 35 млн.м<sup>3</sup>, Бресте – 8, Витебске – 9, Гомеле – 9, Гродно – 4, Могилеве – 12 млн.м<sup>3</sup>. Потери воды в городах связаны в основном с различного вида утечками в системе жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и достигают величины 115 млн.м<sup>3</sup>. В промышленности, главным образом в энергетике, этот показатель достигает 1,0 млн.м<sup>3</sup>.

Самым крупным потребителем воды среди городов страны является Минск, где в 2003 г. использовано 271 млн.м<sup>3</sup>, в том числе на хозяйственно-питьевые нужды – 220 млн.м<sup>3</sup> и на производственные – 51 млн.м<sup>3</sup>. В остальных крупных городах использованы следующие объемы воды: Бресте – 39,7 млн.м<sup>3</sup> (забрано 47,5 млн.м<sup>3</sup>), Витебске – 45,9 (забрано 56,3), Гомеле – 70,8 (забрано 80,2), Гродно – 70,6 (забра-

но 75,5), Могилеве – 72,5 млн.м<sup>3</sup> (забрано 85 млн.м<sup>3</sup>). Причем во всех областях, за исключением Витебской, на хозяйственные цели приходится больше воды, чем на производственные. По объемам воды, направленным в 2003 г. на орошение (12 млн.м<sup>3</sup>), Брестская область значительно превзошла все остальные области (7 млн.м<sup>3</sup>). По количеству воды, использованной в рыбном прудовом хозяйстве, выделяются Минская, Брестская и Гомельская области, на долю которых приходится 89 % всей израсходованной воды.

Наибольший объем воды для использования забирается в бассейне Днепра – 1114 млн.м<sup>3</sup>, в том числе в бассейнах Березины и Припяти соответственно 444 млн.м<sup>3</sup> и 370 млн.м<sup>3</sup>.

*Сточные воды.* В поверхностные водные объекты в 2003 г. Сброшено 1143 млн.м<sup>3</sup> сточных вод, в том числе:

недостаточно очищенных	15
нормативно очищенных	872
нормативно чистых (без очистки)	256

Произошло дальнейшее уменьшение сброса загрязненных сточных вод на 5 млн.м<sup>3</sup>, нормативно очищенных на 11, нормативно чистых на 9 млн.м<sup>3</sup>. Динамика сброса различных сточных вод показана на рисунке 4.1.



Рис. 4.1. Динамика сброса сточных вод в водные объекты

Наибольший объем нормативно чистой воды сброшен в водные объекты предприятиями сельского хозяйства – 153 млн.м<sup>3</sup> (главным

образом прудового – 150 млн.м<sup>3</sup>), наименьший – ЖКХ (17,4 млн.м<sup>3</sup>). На промышленность приходится 84,8 млн.м<sup>3</sup> нормативно чистой воды, образованной в основном в энергетике (71,9 млн.м<sup>3</sup>).

Самую значительную часть отводимых вод составляют нормативно очищенные воды, 85 % из них образовано в сфере ЖКХ и бытового обслуживания (742,8 млн.м<sup>3</sup>), причем на бытовое обслуживание приходится всего 1 млн.м<sup>3</sup>.

Удельный вес недостаточно очищенных сточных вод в суммарном водоотведении, как и в предыдущие годы, не превышал 2 %, их основной объем приходится на ЖКХ и составляет 14 млн.м<sup>3</sup> из 15 млн.м<sup>3</sup>.

В сфере промышленного производства наибольший вклад в водоотведение вносит энергетика (81,6 млн.м<sup>3</sup>), несколько меньший объем сточных вод образуется в нефтехимической отрасли (74,8 млн.м<sup>3</sup>) и топливной промышленности (32,9 млн.м<sup>3</sup>). Сточные воды этих отраслей вместе со сточными водами пищевой промышленности (10 млн.м<sup>3</sup>) составляют 94 % всех образующихся в промышленности сбросов (рис 4.2).

Почти весь объем нормативно чистых сточных вод (96 %), отводимых в водотоки, формируется тремя отраслями промышленности: электроэнергетикой (84 %), пищевой (10 %) и химической, в том числе нефтехимической (2 %). Основной объем нормативно очищенных сточных вод сбрасывается в водные объекты химической (в основном нефтехимической) промышленностью (58 % или 72,8 млн.м<sup>3</sup>). Вместе с топливной промышленностью на них приходится 84 % отводимых в промышленном секторе нормативно очищенных сточных вод.

Современная система канализации предусматривает, как правило, совместную очистку сточных вод промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства городов Беларуси на единых очистных сооружениях. Их суммарная мощность увеличилась в 2003 г. по сравнению с прошлым годом на 17 млн.м<sup>3</sup> и составила 1346 млн.м<sup>3</sup>. В то же время фактический объем очищенных сточных вод не превышает 887 млн.м<sup>3</sup>. Однако многие очистные сооружения принимают сточные воды с концентрацией, по отдельным ингредиентам превышающей нормируемые значения. Кроме того, имеются случаи перегрузки некоторых, требующих реконструкции, очистных сооружений по объему принимаемых стоков. Все это вместе взятое способствует поступлению в водные объекты сточных вод, содержащих различные загряз-

няющие вещества, доля которых в рассматриваемом году составила в целом по республике 85 %, в областях варьировала от 52 % до 100 %, в городах – от 88 % до 100 %.

Основное количество сточных вод, имеющих загрязняющие вещества, формируется в сфере ЖКХ (78 % суммарного объема). В их составе содержится 94 % всего сбрасываемого в реки азота аммонийного, 90 % фосфатов, 89 % органических веществ, 87 % СПАВ, 91 % азота нитритного, 85 % взвешенных веществ, 89 % приходится на нефтепродукты, 87 % – хлориды и 50 % – сульфаты.

В сельском хозяйстве, согласно статистическим данным, главным поставщиком загрязняющих веществ, отводимых в реки и водоемы в составе сточных вод, является прудовое рыбное хозяйство. На его долю приходится 90 % поступающих в водные объекты взвешенных веществ, 50 % азота аммонийного, 96 % железа общего, 86 % сульфатов, 71 % органических веществ, 66 % хлоридов и, наконец, 50 % фосфатов.

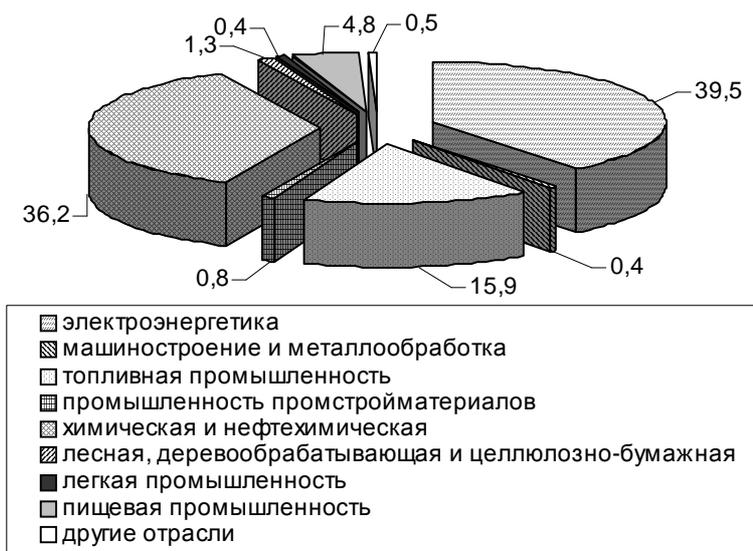


Рис. 4.2. Удельный сброс сточных вод в поверхностные водные объекты по отраслям промышленности за 2003 г.

Среди локальных источников загрязнения поверхностных вод выделяются крупные города (областные центры) и г.Минск, на долю которых приходится 86 % общей нагрузки на реки и водоемы по тяжелым металлам (никелю, меди, цинку, хрому), 63 % соединениям

азота (аммонийному, нитратному и нитритному), 65 % взвешенным веществам, 61 % органическим веществам и 63 % по нефтепродуктам. При этом самым мощным локальным источником техногенного прес-са на реки страны как по объему сбрасываемых вод, так и по количеству содержащихся в них уже упомянутых загрязняющих веществ является г. Минск. Здесь формируется 55 % суммарной нагрузки по тяжелым металлам, 39–56 % соединениям азота, 40 % взвешенным веществам, 44 % нефтепродуктам, 39 % органическим веществам. Кроме Минска следует отметить Витебск, на долю которого приходится 72 % объема содержащегося в сточных водах молибдена, Гомель, где формируется 58 % сбрасываемых в водные объекты фторидов.

#### **4.4. Причины, источники и последствия загрязнения воды**

Следует отметить, что в общем причины загрязнения среды делятся на объективные и субъективные. К объективным относятся:

Во-первых, ограниченные способности живой природы к самоочищению и саморегуляции. Внутренние возможности природной среды не позволяют перерабатывать все возрастающие масштабы отходов хозяйственной деятельности человека, и их накопление создает угрозу глобального загрязнения окружающей среды.

Во-вторых, ограниченность природных ресурсов. Запасы полезных ископаемых – каменного угля, нефти и других постепенно расходуются и перестают существовать. Все более актуальными становятся задачи по изысканию альтернативных источников энергии.

В-третьих, безотходность процессов в природной среде и большое количество отходов человеческого производства. Природные процессы осуществляются по замкнутому циклу. «Подсчитано, что для жизнедеятельности человека необходимо в год расходовать не менее 20 т природных ресурсов. Из них лишь 5 – 10 % идут на продукцию, а 90 – 95 % поступают в отходы» (Петров В.В., 1995). Отходы человеческого производства загрязняют окружающую среду вредными, несвойственными для нее веществами. Это ведет к преждевременному истощению и, в конечном счете, к разрушению природных систем.

К субъективным причинам загрязнения относятся:

Во-первых, недостатки организационно-правовой и экономической деятельности государства по охране окружающей среды.

Во-вторых, дефекты экологического воспитания и образования. Человек родился и вырос на потребительской психологии по отношению к природе. Он всегда рассматривал природу как источник своего существования, как ресурс, а не как объект его забот и охраны. Это проявляется через экологическое невежество (нежелание изучать законы взаимосвязи человека и окружающей среды) и экологический нигилизм (нежелание руководствоваться этими законами), т.е. пренебрежение знанием и использованием экологических закономерностей в общении человека и окружающей среды.

Главные водопотребители и водопользователи являются источниками загрязнения гидросферы. Промышленность, сельское хозяйство, коммунально-бытовое хозяйство, транспорт, рекреация влияют на состояние водоемов.

Выделяют несколько видов загрязнения водоемов: химическое, биологическое, физическое. Химическое загрязнение – это загрязнение водоемов нефтью и нефтепродуктами, металлами и их солями, поверхностно-активными веществами, кислотами и щелочами. Биологическое загрязнение – это загрязнение вирусами, бактериями, болезнетворными организмами, водорослями и т.д. К физическому загрязнению относится тепловое и радиоактивное, содержание в воде взвешенных твердых частиц, шлама, песка, ила, глины.

Основными факторами химического загрязнения водоемов и водотоков являются следующие:

1. сброс сточных вод промышленности и коммунально-бытового хозяйства;
2. поступление с суши применяемых в сельском и лесном хозяйстве веществ (удобрений, пестицидов);
3. утечка веществ при работе транспорта и авариях;
4. разработка полезных ископаемых на морском дне;
5. захоронение вредных отходов в водоемах;
6. поступления загрязняющих веществ из атмосферы.

Наиболее интенсивно загрязняют поверхностные воды такие отрасли промышленности, как металлургия, химическая, нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная. Различают минеральное и органическое загрязнение сточных вод. При минеральном загрязнении сточные воды содержат соли, кислоты, щелочи и другие минеральные вещества. В промышленных стоках содержится 40 % минеральных веществ и 60 % веществ органического происхождения. К веществам

органического происхождения относятся растительные волокна, животные и растительные жиры, остатки плодов и овощей, отходы целлюлозно-бумажной, кожевенной, пищевой промышленности. Сточные воды с этими веществами являются причиной органического загрязнения водоемов.

Из отраслей сельского хозяйства интенсивно загрязняет водоемы растениеводство, благодаря применению удобрений и пестицидов. Около четверти азотных удобрений, треть калийных и 4 % фосфорных удобрений попадает в водоемы. Если в незагрязненных реках средний уровень содержания нитратов составляет 100 мг/л, то в Западной и Центральной Европе – 4500 мг/л, концентрация фосфора в реках этого региона в 2,5 раза выше, чем в незагрязненных водоемах. Возрастание концентрации биогенов приводит к эвтрофикации водоемов. Эвтрофирование (эвтрофикация) – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или природных факторов. Биогенные элементы – это химические элементы, необходимые для поддержания жизни. Например, повсеместно в Европе наблюдается эвтрофикация поверхностных вод. Анализ проб воды показал, что в 8–28 % проб отмечено повышенное содержание нитратов, превышающее национальные нормы. В грунтовых водах такие превышения содержат в 4–18 % проб, в частных колодцах – в 11 % проб, в системах коммунального водоснабжения в 0–2,8 % проб.

При эвтрофикации увеличивается количество сине-зеленых водорослей, уменьшается количество  $O_2$  и возрастает  $CO_2$  и  $CH_4$ , происходит вторичное загрязнение водоемов токсическими веществами (которое выделяют сине-зеленые водоросли), увеличивается растворимость карбонатов, что вызывает гибель кораллов и других скелетных форм бентоса. В результате эвтрофикации водоемов происходит изменение видового состава рыб в следующей последовательности: лососевые – сиговые – корюшковые – окуневые – карповые. При этом более ценные рыбы заменяются менее ценными.

На экологическое состояние водоемов влияет животноводство. Свиноводческий комплекс на 100 тысяч голов может загрязнять реку так же, как город с полумиллионным населением. Навоз и навозные стоки, попадая в поверхностные и грунтовые воды, вызывают:

1. загрязнение воды патогенными и другими микроорганизмами, яйцами гельминтов;

2. насыщение воды органическими веществами;
3. насыщение воды азотистыми и другими веществами (нитратами, нитритами, фосфором);
4. обсеменение рыб и других водных животных микроорганизмами.

Сточные воды животноводческих комплексов содержат много бактерий кишечной группы, которые живут длительное время: сальмонеллы – 2,5 года, микроорганизмы туберкулеза – 475 дней и др.

Источником загрязнения водоемов являются газопылевые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. В развитых промышленных странах с атмосферными осадками в почву, в поверхностные и грунтовые воды поступает ежегодно 3–20 кг/га нитратов. Плотность выпадения аммонийного азота на европейской территории России оценивается в среднем 0,3 т/км<sup>2</sup>, серы от 0,25 до 2 т/км<sup>2</sup>.

Одним из видов загрязнений водоемов является тепловое. Этот вид загрязнения связан со сбором в водоемы нагретых вод, используемых в промышленности. Например, на площадке Кольской атомной станции, расположенной за Полярным кругом, через 7 лет после начала эксплуатации температура подземных вод повысилась с 6°С до 19°С вблизи главного корпуса. По существующим санитарным нормам температура водоема не должна повышаться более чем на 3°С летом и 5°С зимой, а тепловая нагрузка на водоем не должна превышать 12–17 кДж/м<sup>3</sup>.

Тепловое загрязнение водоемов влияет на состояние биоты. Увеличение температуры воды приводит к нарушению условий нереста рыб, повышению их зараженности теплолюбивыми видами паразитов и т.д. Интенсивность влияния теплового загрязнения зависит от температуры нагревания воды. Для летнего периода установлена характерная последовательность воздействия повышенных температур воды на биоценоз озер и искусственных водоемов:

при температуре до 26°С не наблюдается вредного воздействия;  
в пределах температуры 26–30°С наступает состояние угнетения жизнедеятельности рыб;

при температуре свыше 30°С наблюдается вредное воздействие на биоценоз;

при температуре 34–36°С создаются летальные условия для рыб.

Последствия загрязнения гидросферы разнообразны, происходят изменения:

1) физических свойств воды (прозрачности и окраски, появление запахов и привкусов);

2) химических свойств (накопление загрязняющих веществ; образование плавающих загрязнений на поверхности водоемов, взвешенных в толще водоемов и отложения на дне);

3) газового состава (уменьшение количества растворенного  $O_2$ , увеличение количества  $CO_2$ ,  $CH_4$ ). Уменьшение  $O_2$  происходит за счет окисления им органических веществ;

4) изменение состояния биоты: эвтрофикация водоемов, накопление химических токсикантов в биоте и мутагенное ее изменение; снижение биологической продуктивности водоемов; появление новых бактерий (в т.ч. болезнетворных); нарушение структуры пищевых цепей.

Загрязняющие вещества подразделяются на четыре класса в зависимости от показателя токсичности (в данном случае от локальной концентрации – ЛК):

- чрезвычайно опасные ( $LK_{50} < 0,5$  мг/л);
- высокоопасные ( $LK_{50} < 5$  мг/л);
- умеренно опасные ( $LK_{50} < 50$  мг/л);
- малоопасные ( $LK_{50} > 50$  мг/л).

Загрязняющие природную среду вещества подразделяются также по их агрегатному состоянию на четыре класса: твердые жидкие, газообразные и смешанные.

Кроме того, промышленные выбросы в окружающую среду могут классифицироваться и по другим признакам.

*По организации контроля и отвода* – на организованные и неорганизованные.

Организованный промышленный выброс – это выброс поступающий в окружающую среду (воздушный и водный бассейны) через специально сооруженные газоходы, водоводы и трубы. Иначе говоря организованный выброс можно назвать точечным источником – это одиночное место, которое может быть идентифицировано как источник загрязнения. Примерами может служить сточная труба по отношению к водотоку или водоему, крупное предприятие, город и т.п. Мониторинг точечных источников загрязнения значительно легче осуществлять, чем диффузных.

Неорганизованный промышленный выброс – это выброс в окружающую среду в виде неправильных самопроизвольных водных или га-

зовых потоков, образующихся в результате несовершенства технологического оборудования или нарушения его герметичности, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу газов или отводу загрязненной воды в местах загрузки и хранения сырья, материалов, отходов, готовой продукции, например, пыление отвалов пустой породы, нерегулируемый поверхностный сток промышленных предприятий. К таким выбросам можно отнести диффузные выбросы, которые не имеют легко устанавливаемой привязки к определенному месту. Они поступают сразу на большой площади, как, например, в случае с кислотными дождями, выпадающими сразу на площади водосборного бассейна, биогенными элементами, образующимися из удобрений и просачивающимися из почвы на значительной длине реки. Примером диффузного загрязнения может служить и поступление загрязняющих веществ с выхлопами автомобильных двигателей.

*По режиму отвода* – на непрерывные и периодические. Так, отвод доменного газа считается непрерывным, а отвод конвертерного газа – периодическим.

*По температуре* – когда температура потока (газового, водяного или смешанного) выше, ниже или равна температуре окружающей среды.

*По локализации* – выбросы происходят в основном, вспомогательном, подсобном производствах, на транспорте и т.д.

*По признакам очистки* – на чистые, нормативно очищенные, частично очищенные, выбрасываемые без очистки. При этом под очисткой понимается отделение, улавливание и превращение в безвредное состояние загрязняющего вещества, поступающего от промышленного источника.

#### **4.5. Понятие о загрязняющих веществах, типы загрязняющих веществ**

Любая деятельность любой системы, направленная на поддержание организованности внутри нее, вызывает снижение организованности вне системы. Системы существуют за счет экспорта энтропии вовне. Для неравновесной динамической системы, каковыми являются все биологические системы, существовать, не нарушая ничего в мире, невозможно. Это относится и к любому живому организму, и к надорганизменному образованию, и к человеческому обществу. Необходимо различать нарушения окружающей среды, производимые

человеком как биологическим объектом, и нарушения окружающей среды, производимые человеком, как частью созданной им техносферы (Петров, 1998).

Прежде чем говорить о загрязнении, следует определиться с тем, что мы будем понимать под этим словом. Интуитивно каждый понимает – что такое загрязнение, но когда речь заходит о том, чтобы дать четкое его определение, мы сталкиваемся с множеством формулировок. Несколько примеров:

«Любые изменения воздуха, вод, почв или пищевых продуктов, оказывающие нежелательное воздействие на здоровье, выживаемость или деятельность человека, называются загрязнением» (Миллер, 1993, 1, с. 37)

На первое место вынесено нежелательное воздействие на человека

«Загрязнением называют поступление в окружающую среду любых твердых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергий (в виде звуков, шумов, излучений) в количествах, вредных для здоровья человека, животных, состояния растений и экосистем» (Коробкин, 2000, с. 279).

На первое место вынесен вред для человека и экосистем

«Загрязнение есть неблагоприятное изменение окружающей среды, которое целиком или частично является результатом человеческой деятельности, прямо или косвенно меняет распределение приходящей энергии, уровни радиации, физико-химические свойства окружающей среды и условия существования живых существ» (Рамад, 1981, с. 167).

Изменение, являющееся результатом человеческой деятельности

«Привнесение в какую-либо среду новых не характерных для нее в рассматриваемое время неблагоприятных физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднесуточного уровня этих агентов в среде называется загрязнением» (Сытник, 1987, стр. 389)

Неблагоприятность для среды

Наиболее приемлемым остается, все-таки, давно известное человечеству понимание того, что «загрязнение – все то, что не в том

месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия, отличается от обычно наблюдаемой нормы и/или желательного для человека» (Реймерс, 1998).

Исследователями разрабоано множество классификаций загрязнений. Среди них следует ометить:

По объектам: загрязнение вод (поверхностных и подземных), загрязнение атмосферы, загрязнение почв, загрязнение космического пространства и т. п.

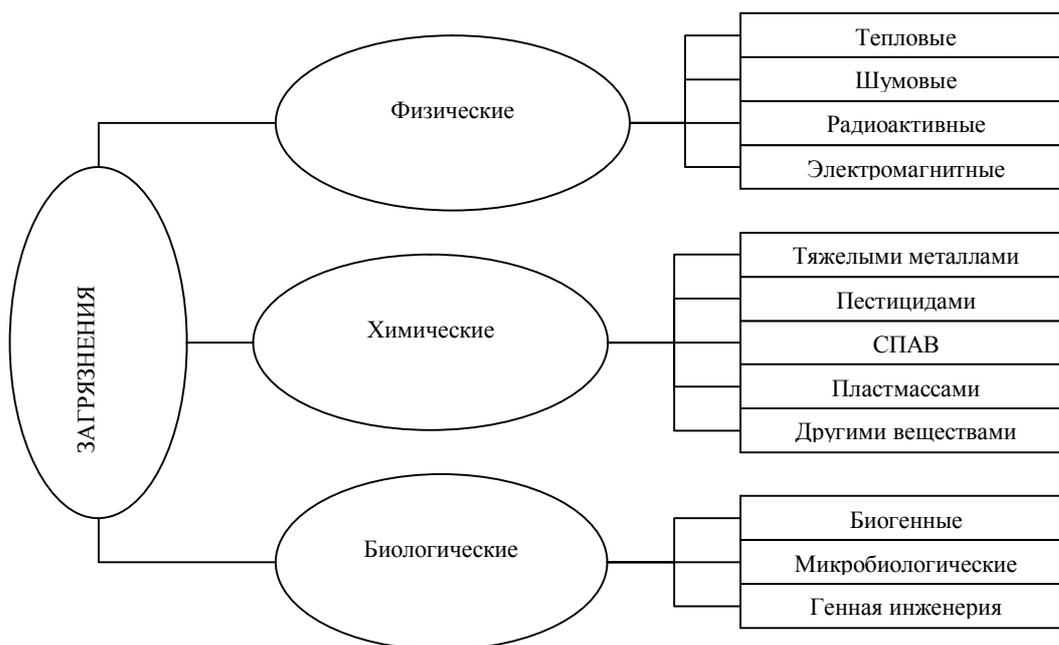
По масштабам: локальное, региональное, глобальное.

По природе действующих факторов: физическое, химическое, биологическое.

Большинство загрязнителей – химические вещества, возникающие в качестве побочных продуктов или отходов добычи, переработки и использовании ресурсов. Имея в виду то, что предмет изучения данного курса является именно «Химия окружающей среды», в первую очередь и наиболее подробно остановимся на химических загрязнениях, которые наиболее влияю на качество природных вод и экосистем одотоков и водоемов.

В настоящее время в повседневном использовании в мире применяется около 80 000 синтетических веществ. В ходе промышленного и сельскохозяйственного производства образуется порядка 100 000 веществ. Так или иначе, все эти вещества попадают в окружающую среду. Для того чтобы можно было охватить все многообразие загрязняющих химических агентов в среде, нам необходима классификация (рис. 4.3.).

Загрязнители чрезвычайно разнообразны и, по самому определению, один источник загрязнения может давать большое число загрязнителей. Можно различать несколько разных типов загрязнителей, хотя это деление достаточно условно и многие загрязнители могут быть отнесены к нескольким типам. Можно классифицировать загрязняющие вещества по их поведению в окружающей среде.



**Рис. 4.3. Классификация загрязнений по природе действующего агента (по В.И. Коробкину)**

Разложимые биологически вещества – те, которые подвергаются атаке микроорганизмов, ведущей к их деградации и полному удалению. Обычно это – отходы жизнедеятельности организмов и включают наиболее распространенные загрязнители: хозяйственно-бытовые стоки. Сюда же можно отнести стоки сельского хозяйства и пищевой промышленности. Поскольку эти вещества являются подходящим субстратом для микробной активности, биоразложимые вещества остаются в активном состоянии до тех пор, пока они не захораниваются достаточно глубоко в осадки или не разлагаются полностью.

Биологически неразложимые вещества не изменяются под действием микроорганизмов. Инертные загрязнители, такие как твердые частицы, тяжелые металлы, многие синтетические органические вещества сохраняются в окружающей среде в неизменной форме, несмотря на то, что они могут растворяться или транспортироваться.

Химически разложимые вещества, такие как, например, кислоты, уничтожаются в ходе химических реакций в окружающей среде.

Основными факторами, определяющими тяжесть воздействия загрязняющих веществ, являются:

- их биологическая активность (сила токсического или другого воздействия на биоту);
- концентрация;
- время жизни в среде или устойчивость.

Одна из причин, по которым отвергается определение загрязнения как «связанного с человеческой деятельностью» – то, что загрязнители попадают в окружающую среду не только в результате деятельности человека, но и «естественным путем».

Природное загрязнение окружающей среды включает в себя и естественные природные катастрофы. Наиболее яркими примерами здесь могут служить извержения вулканов. При этом необходимо помнить, что вулканическая активность обеспечивает и возврат в круговорот биосферы химических элементов из мантии Земли. Можно упомянуть и космические катастрофы.

Многие вещества, рассматриваемые в данном курсе как загрязнители, поступают в окружающую среду, как в результате техногенной активности, так и из природных источников. Биогенные вещества (главным образом соединения азота и фосфора) – важнейшие компоненты бытовых и сельскохозяйственных сточных вод и естественные продукты метаболизма животных. Окислы серы и бенз(а)пирены попадают в атмосферу в ходе природных пожаров, многие металлы – благодаря вулканической активности, окись азота образуется при вспышках молний, нефть попадает в водоемы в районах естественных нефтепроявлений. Большое количество дисперсных веществ поступает в атмосферу естественным путем.

Эруптивные газы вулканов (выделяющиеся при извержениях) содержат углекислый газ, сероводород, сернистый газ, соединения галогенов. Фумаральные газы (выделяемые в спокойном состоянии) – сернистый, углекислый, сероводород, метан. Естественные гейзеры и геотермальные источники поставляют в атмосферу окиси углерода и серы в количествах, сопоставимых с выбросами тепловых электростанций.

Антропогенное загрязнение отличается, в первую очередь, большей концентрацией загрязняющих веществ. Возникают необычные для биосферы сгущения обычно разреженных элементов, такие как свалки, отвалы, места захоронения отходов. Кроме того, современная цивилизация вынуждает биосферу к включению в биотические кругообороты экзотических веществ. Большая часть загрязнителей

рассеивается и разлагается, и их концентрация снижается до безопасного уровня.

Любое инородное вещество как вредное, так и нейтральное, не оказывающее вредного воздействия на окружающую среду, можно определить как примесь или чужеродное вещество, в англоязычной, а по ее примеру теперь и в отечественной литературе называемое контаминантом (contaminant, англ. – примесь, инородное вещество, постороннее вещество, грязь)

Если вещества вызывают деградацию окружающей среды, они называются загрязнителями. Теперь и в русскоязычных публикациях загрязнители достаточно часто называют поллютантами (pollutant, англ. – загрязняющий агент, загрязняющая примесь, загрязнение, токсичная составляющая).

#### **4.6. Загрязнение воды и здоровье**

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 80 % всех болезней в мире связано с неудовлетворительным качеством воды. Заболевания, вызванные загрязненной водой, можно объединить в пять групп.

Первую группу объединяют заболевания, возникающие при использовании зараженной воды для мытья посуды, продуктов, умывания. Это тиф, холера, дизентерия, гастроэнтерит и инфекционный гепатит. Ко второй группе относятся заболевания кожи и слизистых оболочек, возникающие главным образом при умывании. Это чесотка, конъюнктивит, язвы. Третья группа представлена заболеваниями, которые вызываются моллюсками, живущими в воде. Они являются переносчиками такой инфекции как шистосоматоз. Шистосоматоз вызывает лихорадку, боли в печени, сыпь на коже, появление крови в фекалиях. Четвертая группа – это заболевания, вызываемые живущими или размножающимися в воде насекомыми. Они являются переносчиками малярии, желтой лихорадки, сонной болезни. Пятая группа – это заболевания, возникающие из-за несовершенной канализации. Наиболее распространенное из них – нематодоз.

Очевидно, что не все воды пригодны для питья. Научные взгляды в этом отношении прошли долгую эволюцию. Уже Гиппократ связывал качество питьевой воды со здоровьем человека: «Следует знать о водах, какие воды вредны и какие очень здоровы, какие неудобства

и какое благо происходит от употребления вод, так как они имеют большое влияние на здоровье...»

Другие великие врачи древности (Авиценна, Парацельс), а также медики более поздних времен тоже пытались квалифицировать пресные воды по их пригодности для питья. Но до последней четверти прошлого века суждения о влиянии качества воды на здоровье населения еще не имели научной основы. По современным представлениям, существует ряд важнейших критериев, определяющих качество питьевой воды. Это органолептическая приемлемость, эпидемическая безопасность, химическая безвредность.

Термин «органолептика» образован сочетанием греческих слов «орган» и «лептикос» – склонный к признанию, одобрению. Когда говорят об органолептических свойствах продуктов, материалов, воды, имеют в виду их свойства, определяемые при помощи органов чувств – анализаторов цвета, запаха, вкуса. Это древнейший из способов определения качества воды. По своим органолептическим свойствам питьевая вода должна быть, несомненно, приятной на вкус, бесцветной и совершенно прозрачной. Сегодня существуют научные методики объективного определения этих свойств. Однако существенное значение имеет и субъективная оценка этих показателей, в особенности вкуса. И. Павлов считал отрицательные органолептические реакции организма важным охранительным безусловным рефлексом, выработанным вековым опытом человечества, защитой от вредных для здоровья веществ.

Связь между распространением некоторых заболеваний и условиями снабжения водой была замечена людьми очень давно. Но только в 1888 г. на VI Международном гигиеническом конгрессе в Вене было признано, что заразные болезни могут распространяться с питьевой водой. Обсуждение этого вопроса на научной основе стало возможным благодаря исследованиям крупнейших микробиологов XIX столетия Луи Пастера и Роберта Коха. Л. Пастер доказал, что инфекционные болезни являются следствием жизни и развития микробов в организме человека и животных. Р. Кох сопоставил качество питьевой воды в Гамбурге, пораженном холерной эпидемией, и в соседнем городе Альтоне, который миновала эта болезнь. Он убедился, что важнейшую роль здесь сыграл именно водный фактор – микробное заражение воды.

Исследования многих ученых, в том числе и отечественных по-

зволили выработать методы обнаружения микробов и вирусов и выяснить, что эти возбудители достаточно устойчивы в водной среде. Водный путь передачи инфекций стал очевидным.

В наше время перечень заразных заболеваний, передаваемых через воду, включает, кроме холеры, дизентерию, брюшной тиф, инфекционный гепатит и др. Доказана возможность заражения через воду полиомиелитом и туберкулезом. По данным ВОЗ, в целом число людей, перенесших острое кишечное заболевание, составляет 500 млн. в год. И хотя эти данные касаются преимущественно развивающихся стран Азии, Африки и Латинской Америки, население экономически развитых стран также страдает от периодических эпидемий. Это обстоятельство делает более понятными требования эпидемической безопасности, предъявляемые к питьевой воде.

О бактериальной чистоте воды позволяет судить наличие так называемых санитарно-показательных бактерий. Например, такой микроб, как кишечная палочка, является достоверным признаком фекального загрязнения и, следовательно, признаком вероятного попадания в воду различных возбудителей заболеваний. Отсюда и санитарно-показательное значение этого микроба. Кишечная палочка очень широко распространена в природных водоемах, и о качестве воды судят на основе подсчета ее количественного содержания. Установлено, что только в тех случаях, когда количество кишечных палочек в 1 л воды не превышает трех, вода может считаться безопасной в бактериальном отношении. О чистоте воды судят и по общему количеству бактерий, содержащихся в 1 мг (так называемое микробное число). Оно не должно превышать 100.

Имеются и методы обнаружения в воде патогенных микроорганизмов. Используются они в особых случаях, связанных с создавшейся эпидемической обстановкой.

В таблице 4.5 показано влияние различных химических примесей на здоровье.

**Вода и неинфекционные заболевания**

Качество воды	Воздействие на здоровье
Вода с повышенным содержанием хлоридов сульфидов	Отрицательно влияет на функции системы пищеварения. Минерализация до 3 г/л отрицательно влияет на течение беременности.
Маломинерализированные воды	Ухудшают водно-солевой, обмен, функции желудка. Плохо утоляют жажду
Жесткость воды	Большинство ученых считают, что, чем мягче питьевая вода, тем больше вероятность сердечно-сосудистых заболеваний
Присутствие металлов в высоких концентрациях	Токсический эффект развивается постепенно, по мере накопления металлов в организме.
Повышение концентрации нитратов	Вызывает заболевание крови, особенно у детей (детский цианоз), связанное с появлением в крови формы гемоглобина (метгемоглобина), не способного к переносу кислорода

Эти данные явились основанием для разработки специальных мер по ограничению возможностей попадания в воду различных загрязнителей. Они включают и очистку сточных вод на отдельных предприятиях, и городские очистные сооружения, и соблюдение регламентов отдаленности мест водозабора, и организацию санитарной охраны водоисточников, и другие меры.

Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой определена как одна из ключевых в стратегии устойчивого развития человечества на конференции ООН в Рио-де-Жанейро (июнь, 1992 г.). В стратегии охраны природы отмечается, что здоровье человечества в планетарном масштабе будет зависеть от качества используемых пресных вод.

## Глава 5. Экологическая безопасность

### 5.1. Понятие «экологическая безопасность»

Современный экономический словарь определяет *экологическую безопасность* как состояние защищенности личности, общества, государства от потенциальных или реальных угроз, создаваемых последствиями вредного воздействия на окружающую среду, вызываемых повседневным загрязнением среды обитания в связи с хозяйственной деятельностью человека, функционированием производственных объектов, а также в результате стихийных бедствий и катастроф.

В словаре по естественным наукам приводится следующее определение: «Экологическая безопасность – комплекс состояний, явлений и действий, обеспечивающий экологический баланс на Земле и в любых ее регионах на уровне, к которому физически, социально-экономически, технологически и политически готово человечество».

В Конституции экологическая безопасность определяется как сумма правил, направленных на охрану окружающей среды, рациональное природопользование, обеспечение прав человека на здоровую и благоприятную окружающую среду. Одним из основных прав человека является право каждого на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. В то же время Конституция возлагает на каждого обязанность охранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам.

В словаре «Война и мир» экологическая безопасность – это составляющая национальной безопасности, включающая в себя *контроль за состоянием окружающей среды* (природных ресурсов, воды, атмосферы, почвы, растительного и животного мира) и разработку мер, исключающих возникновение экологических кризисов и катастроф, угрожающих жизнедеятельности человека и общества.

Экологическая безопасность связана с сохранением устойчивой взаимозависимости между природой и человеком, рациональным использованием ресурсов, регулированием процессов, ведущих к возможному загрязнению природных сфер и возникновению экологически опасных явлений.

Важнейшими экологическими угрозами, вызванными расшире-

нием производственной и военной деятельности человечества, являются обеднение озонового слоя земли, загрязнение атмосферы, отравление водных ресурсов, повышение естественного радиационного фона, захоронение отходов экологически опасных производств (в том числе атомной и химической промышленности), последствия испытания оружия массового поражения (ОМП) и оружия на новых физических принципах.

Обеспечение экологической безопасности в рамках исключительно национальных интересов в полной мере невозможно и является общемировой задачей.

С экологической безопасностью тесно связано *экологическое благополучие* водного объекта.

Экологическое благополучие водного объекта – нормальное воспроизведение основных звеньев экологической системы водного объекта: пелагических и придонных ракообразных и рыб.

## **5.2. Понятие воздействия на водную среду**

Под воздействием понимается антропогенная деятельность, связанная с реализацией экономических, рекреационных, культурных интересов и вносящая физические, химические, биологические изменения в природную среду. В «Толковом словаре по охране природы» под отрицательным воздействием на окружающую среду понимаются «любые потоки вещества, энергии и информации, непосредственно образующиеся в окружающей среде или планируемые в результате антропогенной деятельности и приводящие к отрицательным изменениям окружающей среды и последствиям этих изменений».

Значимость воздействия непосредственно зависит от его вида или природы (шумовое, радиационное, выбросы определенных веществ в воздух и т.д.), физической величины и вероятности его возникновения. Понятие величины охватывает здесь несколько факторов.

Ранжирование относительной значимости воздействий осуществляется для соотнесения силы их влияния факторов друг с другом. Существует много методов ранжирования относительной значимости, и их выбор зависит от требований программы исследований и конкретной ситуации. В то же время, адекватная оценка значимости воздействий невозможна без соотнесения их эколого-физиологического эффекта с социальными ценностями, интересами и предпочтениями

различных заинтересованных сторон. Л.У. Кантер [Canter, 1996] приводит пример "шкалы значимости" воздействий (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Пример шкалы значимости воздействий на экосистемы  
[Canter, 1996]**

Превышаемый порог	Характер нарушений	Ранг значимости
Юридический порог	Превышение стандартов, установленных законом	наивысшая значимость
Функциональный порог	Неизбежные воздействия, приводящие к необратимому разрушению экосистем	очень высокая значимость
Порог приемлемости	Воздействия, нарушающие сложившиеся местные нормы	высокая значимость
Порог конфликта	Воздействия, вызывающие конфликт между группами общества по поводу ресурса	умеренная значимость
Порог предпочтений	Воздействия, касающиеся предпочтений тех или иных групп	низкая значимость

Наиболее значимые воздействия превышают установленные стандарты. Это означает, что меры по устранению таких воздействий должны быть приняты в обязательном порядке или намечаемая хозяйственная деятельность не может быть осуществлена. Второй уровень значимости воздействий составляют неизбежные воздействия, которые необратимым образом разрушают экосистемы. Третьи по значимости воздействия – те, последствия которых нарушают сложившиеся социальные нормы и устои (деятельность, при которой необходимо переселение людей, может представлять пример воздействий такого типа).

### 5.3. Оценка экологической безопасности

Основными причинами наблюдаемой в последнее время тенденции роста числа аварий и катастроф, в том числе и на водохозяйственных объектах, последствия которых носят все более выраженный социальный, экономический и экологический характер, являются:

- изношенность и старение значительной части основных фондов, резкое сокращение капитальных вложений в обеспечение функциони-

рования водохозяйственных объектов, ухудшение материально-технического снабжения и, как следствие, снижение противоаварийной устойчивости объектов;

- падение технологической, производственной и трудовой дисциплины на всех уровнях как следствие глубокого социального и экономического кризиса в стране;

- отсутствие современной нормативно-технической, информационной и инструктивно-методической базы в сфере охраны труда, техники безопасности и экологической безопасности;

- ослабление профессионального контроля со стороны надзорных органов за безопасностью функционирования потенциально опасных объектов;

- отсутствие экономического стимулирования объектов повышенного риска, ведущих реконструкцию, модернизацию и обновление систем безопасности и природоохранных сооружений.

В Концепции перехода к устойчивому развитию даны два важнейших критерия принятия решений на этапе перехода к устойчивому развитию:

- никакая хозяйственная деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба;

- ущерб окружающей среде должен быть на столь низком уровне, какой только может быть разумно достигнут с учетом экономических и социальных факторов.

В соответствии с этими критериями механизмы разработки и принятия решений должны быть сориентированы на соответствующие приоритеты, учитывать последствия реализации этих решений в сфере безопасности в экономической, социальной и экологической сферах и предусматривать наиболее полную оценку и оптимальное сочетание затрат, выгод и рисков.

В большинстве стран мира для оценки негативного воздействия на окружающую природную среду техногенных объектов, содержащих вредные вещества, используется совокупность пороговых показателей и нормативов, характеризующих содержание веществ в воздушной среде, почве, воде и т.д., и соответствующая этому содержанию степень вредного воздействия на организм человека.

## **Глава 6. Охрана и защита водных ресурсов**

### **6.1. Охрана и защита водных ресурсов**

К задачам водного законодательства относятся: регулирование водных отношений с целью обеспечения рационального использования вод для нужд населения и народного хозяйства; охрана вод от загрязнения, засорения и истощения; предупреждение и ликвидация вредного воздействия вод; улучшение состояния водных объектов; охрана прав предприятий, организаций, учреждений и граждан; укрепление законности в области водных отношений.

Законодательно закреплён принцип первоочередного удовлетворения хозяйственно-питьевых потребностей населения. Этот принцип означает, что промышленный, сельскохозяйственный или какой-либо другой вид эксплуатации водных объектов не должен препятствовать хозяйственно-питьевому водоснабжению населения.

Все промышленные предприятия, использующие воду, обязаны принимать меры к уменьшению ее расхода и прекращению сброса сточных вод путем совершенствования технологии производства и схем водоснабжения, развивать безводные технологические процессы, заменять водяное охлаждение воздушным, внедрять оборотное водоснабжение и другие технические приемы, исключающие сброс сточных вод. Должны быть созданы технически совершенные очистные сооружения и устройства, обеспечивающие надлежащую очистку сточных вод от загрязняющих веществ. Сброс сточных вод допускается только с разрешения органов по регулированию использования вод и охране их и при условии, что он не приведет к увеличению содержания в водном бассейне загрязняющих веществ выше установленных норм.

Значительное место уделено вопросам государственного учета и планирования потребления вод. Первоочередной задачей учета вод является установление имеющегося количества и качества, а также данных об использовании вод для нужд населения и народного хозяйства. С этой целью введена ежегодная статистическая отчетность, которая позволяет судить не только о количестве забранной из источников воды, но и об объемах затраченной на разные цели воды, а также иметь данные о количестве вредных веществ, вносимых в водоемы сточными водами.

Исходя из общих принципов охраны водных объектов в них запрещается сбрасывать:

- сточные воды, содержащие вещества или продукты трансформации веществ в воде, для которых не установлены ПДК или ориентированный допустимый уровень (ОДУ), а также вещества, для которых отсутствуют методы аналитического контроля;
- сточные воды, которые могут быть устранены путем организации бессточного производства, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в промышленности, городском хозяйстве и для орошения в сельском хозяйстве;
- неочищенные или недостаточно очищенные производственные, хозяйственно-бытовые сточные воды и поверхностный сток с территорий промышленных площадок и населенных мест;
- сточные воды, содержащие возбудителей инфекционных заболеваний; опасные в эпидемическом отношении сточные воды могут сбрасываться в водные объекты только после соответствующей очистки и обеззараживания.

На водных объектах, используемых преимущественно для водоснабжения населения, запрещается молевой сплав леса, а также сплав древесины в пучках и кошелях без судовой тяги.

Сброс сточных вод в водные объекты, используемые для водо- и грязелечения, а также в водные объекты, находящиеся в пределах округов санитарной охраны курортов, запрещается.

*Мероприятия по сохранению и восстановлению чистоты водоемов.* Для сохранения чистоты водоемов необходимо: обеспечивать полную очистку коммунально-бытовых и промышленных стоков; совершенствовать и изменять технологию промышленного производства; разрабатывать и внедрять маловодную и безводную технологии; широко внедрять оборотное водоснабжение, расширять повторное использование очищенных сточных вод в целях сокращения сброса в водоемы, даже прошедших очистку; применять рациональные способы и приемы использования удобрений и пестицидов; разрабатывать и осуществлять государственные планы водоохраных мероприятий в масштабах бассейнов рек и водоемов с учетом перспективного размещения производительных сил.

Общей мерой по предотвращению попадания загрязняющих веществ в открытые водоемы является *создание прибрежных водоох-*

*ранных зон* с проведением лесных и гидротехнических мелиорации, а также агротехнических мероприятий.

*Лесные мелиорации* заключаются в создании защитных полос в пределах верхней и средней частей речных бассейнов, в результате чего уменьшается поверхностный сток и ослабляются процессы водной эрозии, Число и вид лесных полос определяются климатическими, топографическими, гидрологическими и гидрогеологическими условиями.

*Агротехнические мероприятия* предполагают соблюдение правильного ведения сельскохозяйственных работ. Так, на участках, подверженных эрозии, вспашку проводят поперек склонов с последующим выращиванием растений, обладающих достаточно развитой корневой системой. В прибрежной водоохранной зоне склоны должны быть изъяты из сельскохозяйственного использования и залужены. Выпас скота на крутых склонах запрещен.

*Гидротехнические мелиорации* заключаются в основном в поддержании благоприятного водно-воздушного режима почвогрунтов, препятствующего вымыванию питательных веществ из почвы. При орошении нужно не допускать больших поливных норм, приводящих или к смыву удобрений, или к подъему грунтовых вод и засолению.

К мелиоративным мероприятиям относятся также работы по предотвращению образования оврагов, оползней и обрушений берегов. Для этого проводят террасирование крутых склонов, крепление откосов и прокладку специальных дренажей и каналов. Организованное проведение комплексных мелиоративных мероприятий позволяет существенно уменьшить загрязнение природных вод.

*Охрана болот.* Болота играют большую роль в поддержании экологического равновесия окружающей среды, установившихся природных комплексов. Они служат источником питания многих рек, регулируют весенний сток, делая менее бурными и разрушительными половодья; накопленные в них весенние и дождевые воды поддерживают уровень грунтовых вод, питающих окрестные поля и луга. Кроме того, болота являются местом обитания промысловых птиц, зверей и дают богатые урожаи ягод. По этим причинам к осушению болот надо подходить чрезвычайно осторожно, тщательно взвешивая возможные последствия.

При необходимости осушения болот с целью вовлечения в сель-

скохозяйственное производство новых площадей необходимо проводить комплексные мероприятия, снижающие отрицательные последствия осушения. Для этого рекомендуется оставлять часть болота нетронутой, со сложившейся экологической обстановкой. Для поддержания естественной влажности и уровня грунтовых вод вокруг охраняемой территории или с одной стороны (в зависимости от рельефа местности) надлежит устраивать инфильтрационные каналы с подачей в них воды насосными станциями. Эти заповедные участки будут служить местом гнездования птиц и обитания диких животных, источником получения ягод. Их желательно обносить лесными и кустарниковыми насаждениями, которые будут снижать силу ветра и загрязнение воздуха пересохшими частицами торфа, улучшат условия гнездования птиц и придадут территории эстетическую прелесть.

Сохранение части болот в естественном состоянии снизит отрицательную перестройку сложившихся природных процессов не только на осушаемых объектах, но и на прилегающих территориях.

*Водоохранные зоны.* На водоохраных полосах (зонах) малых рек запрещаются размещение животноводческих комплексов и ферм, летних лагерей скота, складирование навоза, отходов производства, устройство свалок мусора, складов для хранения ядохимикатов и минеральных удобрений, строительство новых и расширение действующих предприятий, стоянка, заправка топливом, мойка и ремонт автомобильного парка, мочка льна, конопли, кож, проведение без согласования замыва пойменных озер и стариц.

Установлена следующая ширина водоохраных полос. Для ручьев и мелких речек длиной до 10 км – 15 м, для рек длиной до 50 км – 100 м, длиной до 100 км – 200 м, длиной свыше 100 км – 300 м.

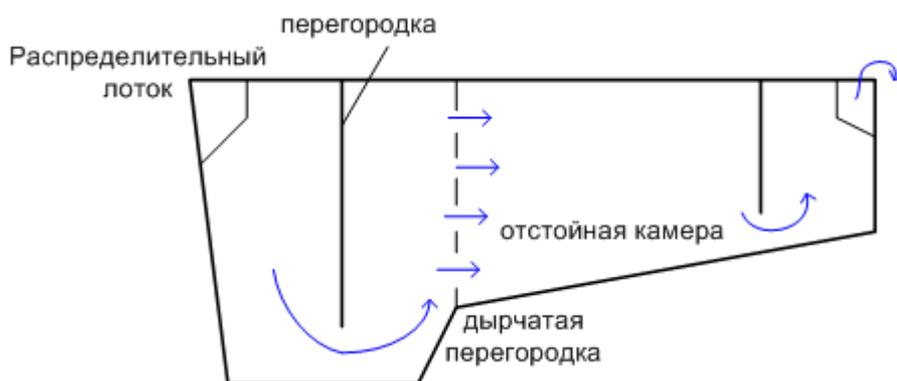
*Удаление сточных вод и отходов.* Уже высокоразвитые культуры Древнего Востока, Египта и античные культуры создали системы удаления сточных вод и отходов, которые, к сожалению, исчезли вместе с исчезновением этих культур. Следствием этого в Средние века явились опустошающие эпидемии. В 1417 г. в Страсбурге от инфекций погибло около 15 тыс. человек. При этом причину болезни не могли узнать, ибо беспечно оставляли экскременты людей и животных рядом с домами на тесно застроенных улицах или устраивали ямы для навозной жижи рядом с колодцами, откуда брали питьевую воду. Зачастую сточные воды из домов выпускали прямо на улицу через так называемые желоба. Следствием этого было не только зараже-

ние почвенных вод, но и невыносимая грязь на улицах, а также катастрофическое гигиеническое состояние городов.

## 6.2. Способы очистки сточных вод

В настоящее время существуют следующие способы очистки сточных вод: механическая, физико-химическая, химическая и биохимическая.

Механическая очистка служит для отделения нерастворенных веществ путем процеживания, отстаивания, фильтрования и центрифугирования (рис. 6.1.). Применяют ее как предварительную перед другими способами очистки или в случаях, когда сточные воды, прошедшие через упомянутые сооружения, используют для целей производства или при приемлемых показателях выпускают в водоем. Воды, прошедшие механическую очистку, как правило, нужно также обезвреживать путем хлорирования.



**Рис. 6.1.** Схема отстойника (механическая очистка сточных вод)

Для очистки сточных вод от взвешенных веществ используют процеживание, отстаивание, обработку в поле действия центробежных сил и фильтрование.

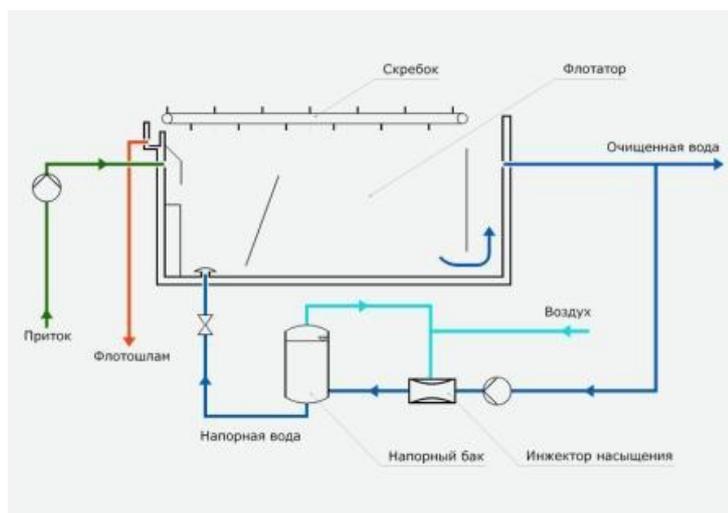
Химические и физико-химические способы применяют для очистки производственных сточных вод от коллоидных и растворенных веществ. Для этого в соответствии с характером загрязнений в воду вводят специальные реагенты, пропускают воздух или пар, используют электролиз и ионообменные материалы.

*Физико-химические методы очистки.* Данные методы исполь-

зуют для очистки от растворенных примесей, а в некоторых случаях и от взвешенных веществ. Многие методы физико-химической очистки требуют предварительного глубокого выделения из сточной воды взвешенных веществ, для чего широко используют процесс коагуляции.

В настоящее время в связи с использованием оборотных систем водоснабжения существенно увеличивается применение физико-химических методов очистки сточных вод, основными из которых являются флотация, экстракция, нейтрализация, сорбция, ионообменная и электрохимическая очистка, гиперфльтрация, эвапорация, выпаривание, испарение и кристаллизация.

Флотация (рис. 6.2.) предназначена для интенсификации процесса всплывания маслопродуктов при обволакивании их частиц пузырьками газа, подаваемого в сточную воду. В основе этого процесса имеет место молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде газа. Образование агрегатов «частица – пузырьки газа» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ, избыточного давления газа в сточной воде и т. п.



**Рис. 6.2. Схема флотационной установки**

В зависимости от способа образования пузырьков газа различают следующие виды флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, вибрационную, биологическую, электрофлотацию и др.

В настоящее время на станциях очистки широко используют

электрофлотацию, так как протекающие при этом электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. Кроме того, применение для электрофлотации алюминиевых или стальных электродов обуславливает переход ионов алюминия или железа в раствор, что способствует коагулированию мельчайших частиц механических примесей сточной воды.

Экстракция сточных вод основана на перераспределении примесей сточных вод в смеси двух взаимнонерастворимых жидкостей (сточной воды и экстрагента).

Нейтрализация сточных вод предназначена для выделения из них кислот, щелочей, а также солей металлов на основе кислот и щелочей. Процесс нейтрализации основан на объединении ионов водорода и гидроксильной группы в молекулу воды, в результате чего сточная вода приобретает значение  $pH \approx 6,7$  (нейтральная среда). Нейтрализацию кислот и их солей осуществляют щелочами или солями сильных щелочей: едким натром, едким кали, известью, известняком, доломитом, мрамором, мелом, магнезитом, содой, отходами щелочей и т. п. Наиболее дешевым и доступным реагентом для нейтрализации кислых сточных вод является гидроксид кальция (гашеная известь). Для нейтрализации сточных вод с содержанием щелочей и их солей (сточные воды целлюлозно-бумажных и текстильных заводов) можно использовать серную, соляную, азотную, фосфорную и другие кислоты.

На практике используют три способа нейтрализации сточных вод:

- фильтрационный – путем фильтрования сточной воды через насадки кусковых или зернистых материалов;
- водно-реагентный – добавлением в сточную воду реагента в виде раствора или сухого вещества (извести, соды или шлака); нейтрализующим раствором может быть и щелочная сточная вода;
- полусухой – перемешиванием высококонцентрированных сточных вод (например, отработанного гальванического раствора) с сухим реагентом (известью, шлаком) с последующим образованием нейтральной тестообразной массы.

Сорбцию применяют для очистки сточных вод от растворимых примесей. В качестве сорбентов используют любые мелкодисперсные материалы (золу, торф, опилки, шлаки, глину); наиболее эффективный сорбент – активированный уголь.

Ионообменную очистку применяют для обессоливания и очистки сточных вод от ионов металлов и других примесей. Очистку осуществляют ионитами–синтетическими ионообменными смолами, изготовленными в виде гранул размером 0,2...2 мм. Иониты изготавливают из нерастворимых в воде полимерных веществ, имеющих на своей поверхности подвижный ион (катион или анион), который при определенных условиях вступает в реакцию обмена с ионами того же знака, содержащимися в сточной воде.

Электрохимическая очистка, в частности, электрохимическое окисление осуществляется электролизом и реализуется двумя путями окислением веществ путем передачи электронов непосредственно на поверхности анода или через вещество–переносчика, а также в результате взаимодействия с сильными окислителями, образовавшимися в процессе электролиза

Электрохимическое окисление применяют для очистки сточных вод гальванических процессов, содержащих простые цианиды (КСI, NaCI) или комплексные цианиды цинка, меди, железа и других металлов. Электрохимическое окисление осуществляют в электролизерах (обычно прямоугольной формы) непрерывного или периодического действия. На аноде происходит окисление цианидов в малотоксичные и нетоксичные продукты (цианаты, карбонаты, диоксид углерода, азот), а на катоде –разряд ионов водорода с образованием газообразного водорода и разряд ионов меди, цинка, кадмия, образующихся при диссоциации комплексных анионов с содержанием CN-группы.

Гиперфильтрация (обратный осмос) реализуется разделением растворов путем фильтрования их через мембраны, поры которых размером около 1 нм пропускают молекулы воды, задерживая гидратированные ионы солей или молекулы недиссоциированных соединений. По сравнению с другими методами очистки гиперфильтрация требует малых энергозатрат установки для очистки конструктивно проста и компактна, легко автоматизируется, фильтрат имеет высокую степень чистоты и может быть использован в оборотных системах водоснабжения, а сконцентрированные примеси сточных вод легко утилизируются или уничтожаются.

Эвапорация реализуется обработкой паром сточной воды с содержанием летучих органических веществ, которые переходят в паровую фазу и вместе с паром удаляются из сточной воды.

Выпаривание, испарение и кристаллизацию используют для

очистки небольших объемов сточной воды с большим содержанием летучих веществ.

Биологическая очистка основана на способности некоторых микроорганизмов использовать для своего развития органические вещества, содержащиеся в сточных водах в коллоидном и растворенном состоянии. Этот способ применяют после того, как сточная вода очищена от минеральных и нерастворимых органических веществ. Он позволяет почти полностью удалить загрязнения органического происхождения. Биологическую очистку проводят в естественных условиях – на полях орошения, полях фильтрации или в биологических прудах, а также в искусственных условиях – в биологических фильтрах и аэротенках.

Она основана на способности микроорганизмов использовать для питания содержащиеся в сточных водах органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т. п.). Процесс реализуется в две стадии, протекающие одновременно, но с различной скоростью: адсорбция из сточных вод тонкодисперсных и растворенных примесей органических веществ и разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в них биохимических процессах (окислении или восстановлении). Обе стадии реализуются как в аэробных, так и в анаэробных условиях в зависимости от видов и свойств микроорганизмов. Биологическую очистку осуществляют в природных и искусственных условиях.

Сточные воды в природных условиях очищают на полях фильтрации, полях орошения и в биологических прудах [6.5]. Очистку и бытовых, и производственных сточных вод на полях фильтрации и полях орошения в настоящее время используют очень редко в связи с малой пропускной способностью единицы площади полей и непостоянством состава производственных сточных вод, а также из-за возможности попадания на поля токсичных для их микрофлоры примесей.

Биологические пруды используют для очистки и доочистки сточных вод суточным расходом не более 6000 м<sup>3</sup>. Применяют пруды с естественной и искусственной аэрацией.

Биологические фильтры широко используют для очистки и бытовых, и производственных сточных вод. В качестве фильтровального материала для загрузки биофильтров применяют шлак, щебень, керамзит, пластмассу, гравий и т. п.

Окситенки обеспечивают более интенсивный процесс окисления органических примесей по сравнению с аэротенками за счет подачи в них технического кислорода и повышения концентрации активного ила. Для увеличения коэффициента использования подаваемого в объем сточной воды кислорода реактор окситенка герметизируют. Очищенная от органических примесей сточная вода из реактора поступает в илоотделитель, в котором происходит выделение из нее отработанного ила. При проектировании окситенков необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению их пожаровзрывобезопасности с учетом вредных и опасных факторов, имеющих место при эксплуатации систем с использованием газообразного кислорода.

### **6.3. Экономическая оценка водных ресурсов и плата за ущерб**

Социально-экономическая оценка водных, биологических, энергетических, рекреационных и иных ресурсов водных объектов и ее учет в национальном богатстве и других макроэкономических показателях необходимы для определения уровня платы за пользование водными объектами.

В настоящее время экономическая оценка природных ресурсов водных объектов отсутствует. Хотя национальное богатство является совокупностью экономических активов страны, составляющих необходимое условие общественного производства и жизнедеятельности людей, сегодня оно практически исчисляется как сумма стоимости основных фондов, материальных оборотных средств и запасов, а также накопленного домашнего имущества. Стоимость водных, рекреационных, рыбных и иных ресурсов водных объектов при этом не учитывается (впрочем, как не учитываются и другие природные ресурсы: земля, леса, недра и т.д.). В результате все возрастающие затраты, связанные с очисткой загрязненных сточных вод, сохранением биологических и рекреационных ресурсов водных объектов, лечением людей от заболеваний, вызванных употреблением некачественной воды, увеличивают макроэкономические показатели, что часто принимается за "прогресс". В то же время учет финансовых потерь от деградации водных объектов мог бы изменить подобные оценки на прямо противоположные.

Особенность оценки водных ресурсов заключается в учете много-

образия их роли и областей использования (в коммунальном хозяйстве, промышленности, сельском хозяйстве, гидроэнергетике, судоходстве, сплаве древесины, рекреации и т.д.), связанные как с изъятием, так и без изъятия воды из водного объекта.

При оценке водных ресурсов по водным объектам учитывается:

- для болот и ледников – их способность содержать и аккумулировать вековые запасы воды, выравнивать сток рек, продлевать их полноводный период;
- для подземных вод – их ценность как стратегического ресурса;
- для основных крупных озер – высокое качество их вод и запасы пресной воды.

Общая стоимость водных ресурсов водного объекта определяется как сумма оценок водных ресурсов по всем направлениям их использования.

Экономическая оценка водных ресурсов осуществляется в следующей последовательности. Первоначально производится потенциальная экономическая оценка водных ресурсов, затем оценка водных ресурсов по отдельным направлениям их использования.

Замыкающие затраты на воду представляют собой допустимые общественно необходимые затраты на прирост располагаемых водных ресурсов. Это необходимо в связи с тем, что потребление в рассматриваемом районе изменяется. В качестве замыкающих водохозяйственных мероприятий и объектов могут выступать водохранилища и гидроузлы для регулирования речного стока с целью целевых и комплексных пропусков, объекты территориального перераспределения речного стока, мероприятия по экономии водных ресурсов и т.д.

Экономическая оценка водных ресурсов, используемых для хозяйственных и иных целей без изъятия воды определяется на основе водной ренты.

В настоящее время промышленные предприятия вносят в бюджет плату за воду независимо от того, поступает эта вода непосредственно из водохозяйственных систем, от других промышленных предприятий или предприятий коммунального хозяйства. Тарифы за воду устанавливаются на один кубометр потребляемой воды. Определение тарифов платы за воду основывается на затратном методе. В некоторых отраслях используются и другие методы, но они имеют локальное применение. В развитых странах плата за водопользование осуществляется в виде взно-

сов водопользователей на содержание государственных учреждений, которые осуществляют оперативное управление водными ресурсами и их использование в пределах одного или ряда соседних водных бассейнов.

Организационно взимание платы за водопользование реализуется в виде двух схем. Первая схема, которая реализуется в Австралии, странах Азии и Африки, основывается на жестком государственном регулировании размеров платы. Все платежи направляются в государственный бюджет, что позволяет аккумулировать финансовые ресурсы для содержания и развития водохозяйственных систем и сооружений.

Вторая схема применяется в странах Западной Европы. Она основывается на корпоративном управлении использованием и охраной водных ресурсов со стороны водопользователей, которые образуют бассейновые объединения. Бассейновые объединения осуществляют все виды работ, связанные с охраной вод, рациональным использованием, оценкой водных ресурсов, регулированием стока, контролем за сбросами загрязняющих веществ, водозабором, предотвращением наводнений и паводков и проч. Плата за воду осуществляется в виде взносов водопользователей на содержание объединения и финансирование его деятельности. При этом государство получает налоги от бассейнового объединения, которые используются в большей части для кредитования и субсидирования водохозяйственного строительства и выплат компенсаций льготным категориям водопользователей.

Система платежей за водные ресурсы определена в Водном кодексе Беларуси и включает:

- плату за пользование водными объектами (водный налог);
- плату, направляемую на восстановление и охрану водных объектов.

Плата, направляемая на восстановление и охрану водных объектов, вносится за:

- изъятие воды из водных объектов в пределах установленного лимита;
- сверхлимитное изъятие воды;
- использование водных объектов без изъятия воды в соответствии с условиями лицензии на водопользование.

*Понятие платы за загрязнение окружающей природной среды.* Это другой вид платности в использовании природных ресурсов. Ее сущность раскрывается в трех значениях: компенсационном, стиму-

лирующем, экономическом. Основные принципы платности сбросов и стоков заключаются в следующем:

1. Плата за загрязнение направлена на компенсацию вреда, причиняемого окружающей среде, здоровью человека, материальным ценностям.

2. Установленная плата взимается в бесспорном порядке за счет прибыли или себестоимости предприятия-загрязнителя и на этой основе должна стимулировать (материально) к сокращению выбросов, сбросов вредных веществ.

3. Платежи за загрязнения служат источником образования и положения внебюджетных экологических фондов, средства которых используются для оздоровления и охраны окружающей среды.

## **Глава 7. Мониторинг водных объектов**

### **7.1. Определения и классификация систем мониторинга окружающей среды**

Термин «мониторинг» появился перед проведением Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. Под мониторингом было решено понимать систему непрерывного наблюдения, измерения и оценки состояния окружающей среды. По мнению российского исследователя-географа И.П. Герасимова объектом общего мониторинга «является многокомпонентная совокупность природных явлений, подверженная многообразным естественным динамическим изменениям и испытывающая разнообразные воздействия и преобразования ее человеком».

Мониторинг окружающей среды – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности. С самого начала в трактовке мониторинга проявились две точки зрения. Многие зарубежные исследователи предлагали осуществлять систему непрерывных наблюдений одного или нескольких компонентов окружающей среды с заданной целью и по специально разработанной программе. Другая точка зрения (Израэль) предлагала понимать под мониторингом только такую систему наблюдений, которая позволяет выделить частные изменения состояния биосферы, происходящие только под влиянием антропогенной деятельности (т.е. мониторинг антропогенных изменений окружающей природной среды).

Профессор Р. Мэнн в 1973 году в постановочном аспекте изложил концепцию мониторинга, которая была обсуждена на первом Межправительственном совещании по мониторингу (Найроби, февраль 1979 года). Мониторингом Р. Мэнн предложил называть систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой.

Цель экологического мониторинга – информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью.

Для достижения поставленной цели необходимо дать ответы на следующие вопросы:

- каково состояние природной среды в рассматриваемый отрезок времени в сравнении с предшествующим техногенезу состоянием (в относительной или абсолютной форме) и какие изменения (положительные, отрицательные) ожидаются в природной среде в прогнозируемый отрезок времени;

- в чем причины происшедших изменений и возможных изменений в будущем (в том числе нежелательных, губительных, критических) и что явилось, является или будет являться источником этих изменений (как правило, вредных техногенных воздействий);

- какие воздействия на данную локальную природную среду, определяемые исходя из выработанной для данного случая критериальной основы оценок функции «полезности – вредности», являются вредными (нежелательными или недопустимыми);

- какой уровень техногенных воздействий, в том числе в совокупности с естественными или стихийными процессами и воздействиями, происходящими в рассматриваемой природной среде, является допустимым для природной среды и отдельных ее компонентов или комплексов (ценозов) и какие резервы имеются у природной среды для саморегенерации состояния, адекватного исходному, принятому за состояние экологического баланса;

- какой уровень техногенных воздействий на природную среду, отдельные ее компоненты и комплексы является недопустимым или критическим, после которого восстановление природной среды до уровня экологического баланса является неосуществимым.

Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но, в идеале, является источником информации необходимой для принятия некоторых экологически значимых решений (рис. 7.1).

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т.е., об источниках и факторах воздействия);
- о допустимости изменений и нагрузок на среду в целом;
- о существующих резервах биосферы.

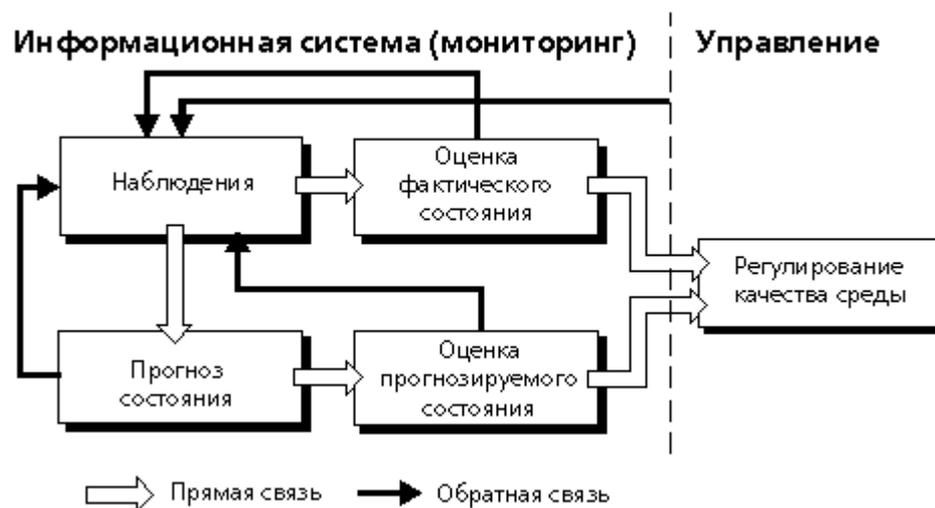


Рис.7.1. Схема системы мониторинга [Израэль, 1984]

Таким образом, в систему экологического мониторинга входят наблюдения за состоянием элементов биосферы и наблюдения за источниками и факторами антропогенного воздействия.

Существуют различные подходы к классификации экологического мониторинга: по характеру решаемых задач, по уровням организации, по природным средам, за которыми ведутся наблюдения и т.д. Один из вариантов классификации представлен на рис. 7.2.

Мониторинг источников воздействия	<b>Источники воздействия</b>			
Мониторинг факторов воздействия	<b>Факторы воздействия</b>			
	Физические	Биологические	Химические	
Мониторинг состояния биосферы	<b>Природные среды</b>			
	Атмосфера	Океан	Поверхность суши с реками и озерами, подземные воды	Биота
	Геофизический мониторинг			Биологический мониторинг

Рис.7.2. Общая классификация систем мониторинга [Израэль, 1984]

Система мониторинга реализуется на нескольких уровнях:

- импактном (изучение сильных воздействий в локальном масштабе, направленное, например, на оценку сбросов или выбросов конкретного предприятия);

- региональном (проявление проблем миграции и трансформации загрязняющих веществ, совместного воздействия различных факторов, характерных для экосистем в масштабе региона);

- фоновом, осуществляемом в рамках международной программы "Человек и биосфера" на базе биосферных заповедников, где исключена всякая хозяйственная деятельность (имеет целью зафиксировать фоновое состояние окружающей среды, что необходимо для дальнейших оценок уровней антропогенного воздействия).

По уровню накопления и обработки полученной информации выделяют глобальный, национальный, региональный и локальный мониторинги.

Глобальный (биосферный) мониторинг осуществляется на основе международного сотрудничества, позволяет оценить современное состояние всей природной системы Земли. Наблюдение ведут базовые станции в различных регионах планеты. Нередко они располагаются в биосферных заповедниках.

Национальный мониторинг осуществляется в пределах государства специально созданными органами.

Региональный мониторинг осуществляется за счет станций системы, куда поступает информация в пределах крупных районов, интенсивно осваиваемых народным хозяйством и, следовательно, подверженных антропогенному воздействию.

К локальному мониторингу относятся наблюдения за воздушной средой различных зон города, промышленных и сельскохозяйственных районов и отдельных предприятий.

Локальный мониторинг осуществляется с помощью стационарных, передвижных или подфакельных постов. Такая система имеется в большинстве крупных городов России.

По объектам наблюдения экологический мониторинг можно разделить на геофизический и биологический мониторинг.

Геофизический мониторинг включает в себя элементы наблюдения, контроля, оценки, прогноза состояния и изменений геофизической среды (как совокупности физических процессов и свойств определённого участка земли), то есть изменений абиотической состав-

ляющей биосферы как в микро-, так и в макромасштабе, а также реакции крупных систем – погоды и климата.

Основными задачами биологического мониторинга являются определение состояния биотической составляющей биосферы, её отклика, реакции на антропогенное воздействие, определение функции состояния и отклонения этой функции от нормального естественного состояния на различных уровнях организации биосистем.

По методам ведения мониторинга выделяют биоиндикационный (с помощью биоиндикаторов), контактный приборный (опробование), неконтактный дистанционный (авиационный, космический).

По целям мониторинга выделяют: научно-исследовательский, диагностический, фоновый, контрольный, прогнозный и др.

Различают также мониторинг состояния природных ресурсов и мониторинг источников и факторов антропогенного воздействия.

Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но является источником необходимой для принятия экологически значимых решений информации. Термин контроль, нередко употребляющийся в русскоязычной литературе для описания аналитического определения тех или иных параметров (например, контроль состава атмосферного воздуха, контроль качества воды водоемов), следует использовать только в отношении деятельности, предполагающей принятие активных регулирующих мер.

"Толковый словарь по охране природы" определяет экологический контроль следующим образом:

Контроль экологический – деятельность государственных органов, предприятий и граждан по соблюдению экологических норм и правил. Различают государственный, производственный и общественный экологический контроль.

Мониторинг охватывает весь широкий спектр анализа наблюдений за меняющейся абиотической составляющей биосферы и ответной реакцией экосистем на эти изменения, включая как геофизические, так и биологические аспекты, что определяет широкий спектр методов и приемов исследований, используемых при его осуществлении. В литературе, в качестве его синонима, часто встречается оборот «экологический мониторинг», где под термином «экология» понимается не конкретное научное направление, почти 140 лет тому назад очерченное Эрнстом Геккелем, а «энвайронментология» (от англ.

environmentology; или биосферология), как теоретическая основа рационального природопользования.

## 7.2. История мониторинга

На территории Союза Советских Социалистических Республик (СССР) и Российской Федерации (РФ), как составной части СССР, мониторинг поверхностных вод суши проводится с середины 30-х годов XX века Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) (ранее носившей названия Главгидрометслужба, Гидрометслужба СССР, Роскомгидромет и др.). В развитии наблюдений Службы можно выделить несколько этапов. На первом этапе (примерно с 1936 г.) проводились наблюдения за химическим составом природных вод. В начальный период они были нерегулярными по пространственным и временным параметрам, а во время войны (1941–1945 гг.) – сократились на европейской части страны и расширились на азиатской. В послевоенный период наблюдения возобновились. Из общей массы наблюдений были выделены наиболее важные, и на их базе была создана сеть режимных наблюдений. В значительной части пунктов створы гидрохимических наблюдений были совмещены со створами гидрологических постов, поскольку наблюдения были организованы на базе гидрологической сети.

Программа наблюдений в начальный период предусматривала определение физических свойств воды (запах, вкус, цветность, прозрачность), ее температуры, водородного показателя, сухого остатка, концентраций растворенных в воде газов (кислород, диоксид углерода, сероводород), главных ионов (хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатных, кальция, магния, натрия, калия, суммы ионов), биогенных веществ (ионов аммонийных, нитритных и нитратных), трудноокисляемых органических веществ (по величине перманганатной окисляемости). Со временем программа была дополнена определением концентраций железа общего, кремния, фосфатов, а определение трудноокисляемых органических веществ по величине перманганатной окисляемости дополнено или заменено на определение по бихроматной окисляемости. Программа наблюдений имела условное наименование „стандартная“.

На втором этапе (примерно с 1965 г.) усилилось внимание к загрязнению воды водных объектов. В первую очередь это проявилось в

программе наблюдений: в дополнение к „стандартной“ программе была введена программа „загрязнения“, в соответствии с которой началось определение загрязняющих воду веществ. Вначале определяли фенолы (летучие), нефтепродукты (эфироэкстрагируемые вещества), соединения металлов, анионные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ) и ряд других веществ. В дальнейшем перечень определяемых веществ расширился.

Продолжалось небольшое наращивание сети пунктов наблюдений за счет организации пунктов в местах повышенного антропогенного воздействия.

Начало третьего этапа связано с выходом Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 29 декабря 1972 г. № 898 „Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов“, Постановления (1977 г.) о создании Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязнением объектов природной среды (ОГСНК), позднее переименованной в Государственную службу наблюдений за состоянием окружающей природной среды (ГСН). ОГСНК была создана в основном на базе сети наблюдения Росгидромета с участием небольшого числа пунктов наблюдений других министерств и ведомств (Министерство здравоохранения, Министерство мелиорации и водного хозяйства, Министерство сельского хозяйства и др.).

На третьем этапе развития системы наблюдений за качеством вод были сформулированы основные организационные и методологические принципы функционирования ОГСНК [3], которые были доработаны в нормативных документах [6–8] и ряде других ведомственных руководящих документов.

В последующие годы шло внедрение и усовершенствование разработанных принципов, качественная перестройка сети пунктов наблюдений, обеспечение комплексности наблюдений по гидрохимическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям.

Одновременно с системой наблюдений Росгидромета получили развитие системы других министерств и ведомств, обеспечивающие выполнение своих функциональных обязанностей в области мониторинга поверхностных вод суши (Минводхоз, Минздрав, Минрыбхоз, Минприроды).

Каждое из вышеперечисленных министерств и ведомств имело свою постоянно действующую систему мониторинга и осуществляло

свою независимую природоохранную политику.

В период создания ОГСНК была сделана первая попытка объединить усилия различных министерств и ведомств. Однако преодолеть межведомственные барьеры не удалось. Но было проведено более четкое распределение сфер деятельности различных служб. Водопользователи начали осуществлять контроль воды, поступающей для технологических нужд и сбрасываемой в водные объекты (наблюдения в "трубе" и в водном объекте выше и ниже сброса сточных вод в пределах полукилометровой зоны для контроля эффективности работы очистных сооружений). Минводхоз осуществляет надзор над деятельностью водопользователей, ведет кадастр сточных вод и при необходимости проводит наблюдения в отдельных местах водных объектов, Госкомсанэпиднадзор занимается надзором за качеством воды водных объектов в местах источников централизованного водоснабжения, зонах рекреации и питьевой воды; Гидрометслужба осуществляет функции службы наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в рамках ОГСНК.

В последние годы (80–90-е годы XX столетия) происходили частые изменения структуры и наименований министерств и ведомств, перераспределение их функциональных обязанностей в области мониторинга состояния поверхностных вод суши и управления водными ресурсами.

Помимо ведомств, обеспечивающих функционирование постоянно действующих систем мониторинга, большую работу по изучению состояния водных объектов проводили учреждения Академии наук, высшие учебные заведения. Существенный объем наблюдений за качеством воды выполнялся водопользователями (контроль сточных вод и водных объектов в районе сброса сточных вод).

### **7.3. Система мониторинга в Беларуси**

Развитие системы мониторинга в Республике Беларусь было обусловлено требованием «Закона об охране окружающей среды», принятого в 1992 г. В ст. 22 «Мониторинг окружающей среды» сказано: «Мониторинг окружающей среды представляет собой систему наблюдений за состоянием окружающей среды для своевременной оценки возможных изменений физических, химических и биологических процессов, уровня загрязнений атмосферного воздуха, почв, во-

ды и других природных объектов, предупреждения и устранения негативных явлений, а также обеспечения заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией об окружающей среде и прогнозирования ее состояния». На основании этого Закона в 1993 г. (20.04) было принято Постановление 247 «О создании национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС)». В период 1994–95 гг. были сформированы рабочие группы, а в 1995–1997 гг. был подготовлен технический проект НСМОС.

Практическое значение Национальной системы мониторинга окружающей среды заключается в следующем:

- получение и сведение воедино информации об экологическом состоянии компонентов природной среды;
- создание и ведение Банка данных НСМОС;
- оценка и прогнозирование экологического состояния окружающей среды;
- предоставление достоверной экологической информации органам власти и управления, научным учреждениям, общественным организациям, средствам массовой информации и физическим лицам;
- подготовка и издание информации о состоянии окружающей среды Республики Беларусь.

Кроме того, она призвана на основе проведения регулярных наблюдений и оценки фактического состояния природных экосистем выявлять критические ситуации и источники экологической опасности, а также оповещать о катастрофах, стихийных бедствиях, экологически опасных явлениях.

Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь включает в себя 13 отдельных видов мониторинга, объединенных общностью решаемых задач, назначением, реализуемыми функциями и информационным взаимодействием:

1. медицинский мониторинг
2. мониторинг окружающей среды
  - 2.1. мониторинг атмосферного воздуха;
  - 2.2. мониторинг гидросферы;
  - 2.3. мониторинг земель (почв);
  - 2.4. мониторинг общего содержания атмосферного озона;
  - 2.5. сейсмический мониторинг;
  - 2.6. мониторинг физических явлений (факторов);

- 2.7. радиационный мониторинг;
- 2.8. комплексный экологический мониторинг;
- 3. биологический мониторинг
  - 3.1. мониторинг растительности;
  - 3.2. мониторинг животного мира;
- 4. импактный мониторинг
  - 4.1. мониторинг чрезвычайных ситуаций;
  - 4.2. локальный мониторинг.

Координация деятельности по Программе НСМОС осуществляется Межведомственным координационным советом по реализации Программы НСМОС. Центральным звеном, объединяющим информационные системы отдельных видов мониторинга в единую интегрированную систему, является Главный информационно-аналитический центр НСМОС (ГИАЦ НСМОС), созданный в БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ.

Из тринадцати подсистем мониторинга, входящих в состав НСМОС достаточно полно осуществляется ведение медицинского мониторинга, мониторинга атмосферного воздуха, гидросферы, радиационного мониторинга, мониторинга общего содержания атмосферного озона и его распределения по высоте, сейсмического мониторинга и мониторинга подземных вод. Из трех подвидов мониторинга земель (почв) в полном объеме в настоящее время ведется лишь мониторинг земельного фонда. В мониторинге растительности в полном объеме осуществляется лесной мониторинг.

Развернуты работы по организации локального мониторинга, чему способствовало принятие 8 февраля 1999 г. Постановления СМ РБ «О локальном мониторинге окружающей среды в Республике Беларусь». Постановление обязало субъекты хозяйствования всех форм собственности и подчиненности, деятельность которых оказывает вредное воздействие на окружающую среду, организовать ведение локального мониторинга, разработать и утвердить инструкции, иные нормативно-технические документы по вопросам организации и ведения локального мониторинга.

НСМОС представляет собой совокупность систем наблюдений, оценок и прогноза состояния природных сред и явлений, а также биологических откликов на изменение окружающей среды под влиянием естественных и техногенных факторов с организацией сбора, обработки и представления мониторинговой информации органам управ-

ления и хозяйствования для решения общегосударственных задач рационального природопользования.

Сбор информации на НСМОС осуществляется специалистами ряда соответствующих министерств и других органов управления.

В выполнении работ по Программе НСМОС принимает участие 22 организации, являющиеся субъектами НСМОС.

В настоящее время в рамках гранта Международного банка реконструкции и развития выполняется проект «Анализ принятой Национальной системы мониторинга, направленный на разработку Концепции ее оптимизации и реализации», призванный оптимизировать систему мониторинга Беларуси и максимально приблизить ее структуру к международным стандартам.

Наиболее четко поставлена в республике работа в системе мониторинга атмосферного воздуха и гидросферы Госкомгидромета, медицинского мониторинга и мониторинга лесов.

Основной целью мониторинга атмосферного воздуха в республике является постоянное наблюдение за качеством атмосферы, оценка ее исходного состояния, прогноз и выявление тенденций изменений для предупреждения негативных ситуаций, угрожающих здоровью людей и окружающей природной среде. Этот тип мониторинга представляет собой двухуровневую систему наблюдений за качеством атмосферного воздуха.

На национальном уровне в воздушном бассейне определяются загрязняющие вещества, единые для всей республики; на региональном – загрязняющие вещества, характерные для конкретного населенного пункта.

Государственная сеть мониторинга атмосферного воздуха к 1996 г. охватывала 15 городов и промышленных центров республики, где наблюдения велись более чем на 45 стационарных постах. Здесь определялось содержание более 30 основных и специфических (характерных для данного города) вредных веществ с отбором проб 3–4 раза в сутки.

Контроль за радиоактивными выпадениями и определение содержания радиоактивных аэрозолей в воздухе осуществляется более чем в 20 пунктах, ежедневное измерение дозы гамма-излучений проводится более чем на 50 постах, равномерно размещенных по территории республики.

Наблюдения за состоянием поверхностных вод проводились на 58 реках, 12 озерах и 20 водохранилищах с определением до 60 гидрохимических показателей и ингредиентов (элементы основного химического состава, взвешенные и органические вещества, биогенные компоненты, основные загрязняющие вещества, тяжелые металлы, пестициды и т.д.), а также четырех гидробиологических показателей – фито- и зоопланктон, фитоперифитон и зообентос. Гидробиологический анализ поверхностных вод и донных отложений выполнялся на 68 водных объектах. Контроль радиоактивного загрязнения поверхностных вод и донных отложений проводится на 5 основных реках Беларуси: Днепр (Речица), Припять (Мозырь), Сож (Гомель), Ипуть (Добруш), Беседь (Светловичи).

На реках Валовка и Мухавец выполняются наблюдения по выполнению Постановления СМ СССР от 16 июля 1976 г. «О мерах по усилению охраны от загрязнения Балтийского моря». Специальными наблюдениями в конце 20 в. были охвачены также 2 болотные скважины и 1 мелиоративный канал. Кроме того в республике проводятся ежегодные экспедиционные обследования водных систем.

В системе мониторинга мелиоративных систем наблюдения за гидрохимическим режимом охватывали такие пункты наблюдений, как: «Верховья Ясельды» (Пружанский район Брестской области), «Полесская станция» (Лунинецкий район Брестской области), ВОМС Сенненского района Витебской области и «Уздянка» Узденского района Минской области. Гидрохимические наблюдения (до 25 показателей) здесь проводятся ежесезонно, а на последнем пункте – ежемесячно.

Мониторинговая сеть стационарных пунктов наблюдений за качеством подземных вод включала более 110 фоновых постов (555 скважин) и 56 постов в районах хозяйственных объектов. В пробах воды определения касались более 40 ингредиентов.

Санитарно-эпидемиологическая служба в середине последнего десятилетия 20 в. имела в своем распоряжении 152 стационарных пункта, выполнявших отбор и анализ проб воздуха, а также контроль качества питьевой воды. Лаборатории в системе Санэпидслужбы оборудованы для выявления более 100 загрязнителей. Еще с 1992 г. в республике начала функционировать Республиканская автоматизированная информационная система «Здоровье – окружающая среда», в которую вошли 9 городов. В соответствии с целями и задачами этой

программы собирается информация о состоянии здоровья населения и качестве окружающей среды по таким показателям, как: заболеваемость, смертность, рождаемость, патологии беременности и рождаемости, численность населения, загрязнение атмосферного воздуха, качество питьевой воды, шумовое загрязнение, метеорологические параметры среды.

Сейсмический мониторинг в Беларуси осуществляется круглосуточно на обсерваториях 5 класса «Плещеницы» и «Нарочь», региональных широкополосных станциях «Брест» и «Гомель», а также высокочастотной станции «Солигорск».

Мониторинг растительности представляет собой основанную на методах фитоиндикации систему длительных и регулярных наблюдений за состоянием экосистем с целью оценки качества среды и прогноза изменений в будущем при существующих уровнях эксплуатации и воздействия на экосистемы или в отсутствие последнего. Объектами мониторинга растительности являются: лесная, луговая, водная растительность, а также растительность специальных защитных насаждений. Как отмечено выше, в республике развитие получила лишь система мониторинга леса.

Мониторинг состояния лесов осуществляется на сети лесного мониторинга. Для этого в республике существуют постоянных пунктов учета, размещенных по сети со сторонами квадратов 16x16 км по всей территории республики и более густо (8x8, 4x4, 2x2 и 1x1 км) в районах потенциально экологически опасных (окрестности крупных городов, промышленных объектов, рекреационные зоны и т.п)

Материалы, собираемые на сетях мониторинга, отражаются в специально издаваемых обзорах, ежегодниках и т.д. и имеют важное значение для принятия решений и разработки мероприятий по снижению степени отрицательного воздействия на окружающую среду.

## ГЛАВА 8. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УЧЕТ ВОД И ВОДНЫЙ КАДАСТР БЕЛАРУСИ

В соответствии с видами водных объектов и распределением обязанностей по изучению и использованию вод ГВК Беларуси включает следующие разделы и подразделы:

1. Поверхностные воды: 1.1. реки и каналы; 1.2. озера и водохранилища; 1.3. качество вод суши; 1.4. селевые потоки; 1.5. ледники; 1.6. моря и морские устья рек. 2. Подземные воды. 3. Использование вод.

В водном законодательстве был закреплён принцип комплексного использования и охраны водных ресурсов. При этом были установлены первоочередность удовлетворения потребностей в воде питьевого и бытового водоснабжения населения и ответственность за нарушение правил пользования водными ресурсами, включая меры административного и уголовного воздействия с возмещением нанесённых народному хозяйству убытков.

Водный кадастр – систематизированный сбор сведений об количестве и качестве водных ресурсов конкретной территории, государства. Материалы об водном кадастре издаются в виде справочников, монографии, которые широко используются при планировании использования водных ресурсов.

Первый этап создания водного кадастра – этап инструментальных наблюдений. Первые гидрологические справочники “Сведения об колебаниях уровня воды на реках и озерах Европейской России” были изданы Министерством путей сообщения на протяжении 1881 – 1915 гг. Непосредственно издание Водного кадастра СССР было начато в 1931 году и завершено в 1940. Это издание включало материалы наблюдений за гидрологическим режимом водных объектов с момента инструментальных наблюдений до 1935 года. Водный кадастр включал следующие гидрологические справочники. “Справочники по водным ресурсам СССР” представляли региональные монографии, которые издавались по районам и включали описания географических условий территории, сведения об гидрологической изученности, характеристики основных водных объектов территории района (рек, озёр, водохранилищ, болот, ледников, подземных вод), а также общих гидрологических особенностей районов, об использовании их водных ресурсов. Районы

были выделены для всей территории СССР по бассейновому принципу с учетом территории союзных республик. Территория Беларуси входила в бассейны Балтийского и Черноморского бассейнов. Вторая группа справочников включала “Сведения об уровнях воды на реках и озерах СССР” по результатам наблюдений с 1916 по 1935 год. Эта серия была продолжением дореволюционного издания “Сведения об колебаниях уровня воды на реках и озерах Европейской России”. Третья группа справочников “Материалы по режиму рек СССР” содержала данные по основным элементам режима рек: основные гидрографические сведения, ежегодные сведения о характерных уровнях воды, средних месячных и характерных расходах воды.

“Сведения об уровнях воды” издавались по десятилетиям, поэтому до практиков они опаздывали. С целью оперативного получения гидрологической информации с 1936 года сведения наблюдений на сети станций и постов начали издавать в виде “Гидрологических ежегодников”. Их состав был значительно расширен и включал также сведения об ежедневных и измеренных расходах воды рек, взвешенных наносов, температуры воды, ледовых явлениях, химическом составе воды рек и водоемов.

В дополнении к гидрологическим ежегодникам начали издаваться “Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах”, которые включали сведения о водном балансе, волнам, распределении температуры и растворенных химических элементов по глубине водоемов. Кроме этого они включали сведения наблюдений на специальных стоковых и болотных станциях, материалы наблюдений за испарением с поверхности воды и почвы.

Второй этап составления водного кадастра – этап обобщения сведений гидрологических наблюдений. По мере развития теоретической и практической гидрологии гидрологические справочники стали недостаточными. Возникла необходимость в систематизации и обобщении накопленных гидрологических материалов с целью использования их на примере водного хозяйства. В 1958 году Гидрометеорологической службой СССР началось издание второго Водного кадастра. Это издание издавалось под названием “Ресурсы поверхностных вод СССР”. Другое поколение водного кадастра, как и первое, состояло из трех серий, а каждая серия – из 20 томов, часть которых имела несколько выпусков.

Разделение на тома и выпуски проводилось по крупным речным бассейнам с учетом по возможности административных границ.

Первая серия “Гидрологическая изученность” содержит сведения об численности и размерах рек и озёр, их изученности, гидрологических станциях и постах, а также список основных опубликованных и архивных работ, в которых есть данные об водных объектах.

Вторая серия “Основные гидрологические характеристики” содержит материалы наблюдений по гидрологическому режиму рек, озёр и водохранилищ в виде таблиц с пояснительным текстом. Он включает данные по стоку за весь период наблюдений (по годам), по уровневому режиму, термическому режиму и ледовым явлениям, твёрдому стоку и гидрахимическим характеристикам.

Третья, заключительная серия представлена в виде монографий под названием “Ресурсы поверхностных вод СССР”, содержит научные обобщения о режиме водных объектов с методическими рекомендациями по расчетам элементов водного режима как при наличии, так и при отсутствии или недостаточности материалов наблюдений.

Издание первых двух серий было завершено в 1967 году, третьей – 1975 г. Проект третьего поколения водного кадастра, который был принят на IV Всесоюзном гидрологическом съезде в соответствии с “Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик”, предусматривал не только сведения о режиме водных объектов, но и об их численности и качестве. Водный кадастр должен был включать государственный фонд сведений наблюдений за гидрологическим режимом и водопользованием. Планировалось также издавать периодические издания справочников, которые должны были включать каталог водных объектов и водопользователей, сведения об режиме (ежегодных, квартальных, месячных), качестве поверхностных и подземных вод, водопользованию, т.д. Часть материалов планировалось издавать через каждые 5–10 лет. Основным результатом создания водного кадастра этого периода было создание государственного фонда сведений о гидрологическом режиме водных объектов. Выпуск гидрологических ежегодников происходил почти весь период до 1990 года под рубрикой “Государственный водный кадастр”.

Четвертый Водный кадастр создается уже в независимой

Республике Беларусь. Его создание тесно связано с мониторингом водных ресурсов. В 1993 году в соответствии с Законом Республики Беларусь “Об охране окружающей среды” и с целью получения объективной информации о природных ресурсах, унификации действующих и введении новых кадастров в республике было установлено ведение 10 государственных кадастров природных ресурсов, в том числе и Государственный водный кадастр. Общая координация и работа по кадастру использования водных ресурсов и подземных вод была возложена на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство охраны здоровья. Департаменту по гидрометеорологии поручено ведение кадастра поверхностных вод. В 1994 году постановлением Кабинета Министров Республики Беларусь №189 от 21 ноября 1994 г. было утверждено “Положение о порядке ведения государственного водного кадастра”, в соответствии с которым утверждена система необходимых сведений и документов о количестве и качестве воды, об их использовании на территории Беларуси.

Современный водный кадастр Республики Беларусь состоит из кадастра поверхностных вод, кадастра подземных вод и кадастра использования водных ресурсов. Кадастр поверхностных вод содержит сведения об реках, озерах, каналах, водохранилищах и прудах, о постах и периодах наблюдений за гидрологическим, гидробиологическим режимами водных объектов, об изменении гидрографической сети под влиянием хозяйственной деятельности, а также их гидрографические, морфометрические характеристики и сведения об гидрологическом режиме.

Данные о качестве поверхностных вод публикуются в ежегодниках «Ежегодные данные Государственного водного кадастра о качестве поверхностных вод», ежемесячной «Информации о высоких уровнях загрязнения окружающей среды», ежегодном бюллетене «Состояние окружающей среды» и межведомственных изданиях ГВК.

Кадастр подземных вод содержит сведения об эксплуатационных и прогнозных запасах подземных вод, а также данных наблюдений за режимом подземных вод, их химическом и биологическом составе. Кадастр использования водных ресурсов содержит сведения об расположении и основных параметрах водозаборов, сбросах сточных вод, очистных сооружениях, об использовании воды, включает

ежегодные сведения об заборах и сбросах воды по качественным и количественным характеристикам, об режиме работы крупных водозаборов и водохранилищ, сведения об осушаемых, орошаемых и увлажняемых площадях.

Изданные данные ГВК являются официальным и используются государственными и другими учреждениями при решении водно-экологических задач и в учебных целях.

## Глава 9. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Критериями оценки качества является любая совокупность количественных показателей, характеризующих свойства изучаемых объектов и используемых для их классифицирования или ранжирования. Оценка качества пресноводных водоемов осуществляется по трем основным аспектам, включающим следующие комплексы показателей:

- факторы, связанные с физико-географическим и гидрологическим описанием водоема, как целостного природного или водохозяйственного объекта;
- контролируемые показатели состава и свойств водной среды, дающие формализованную оценку качества воды и ее соответствия действующим нормативам;
- совокупность критериев, оценивающих специфику структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов и динамику развития водных биоценозов.

Критерии качества воды – «характеристики состава и свойств воды, определяющие пригодность ее для конкретных видов водопользования». Современное понимание нормативов качества окружающей среды связывается также с «обеспечением устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращением их деградации».

При определении степени экологического неблагополучия водоемов оценивается два основных фактора:

- опасное для здоровья людей снижение качества питьевой воды и санитарно-эпидемиологического загрязнения водных объектов рекреационного назначения (т.е. фактор изменения среды обитания человека);
- создание угрозы деградации или нарушения функций воспроизводства основных биотических компонентов естественных экологических систем водоемов (т.е. "общеекологический" фактор изменения природной среды).

Как экологическое, так и санитарно-гигиеническое нормирование основаны на знании негативных эффектов, являющихся результа-

том биохимического воздействия разнообразных факторов на отдельные рецепторы, физиологические системы живых организмов или их популяции. Одним из важных понятий в токсикологии и медико-биологическом нормировании является понятие «вредного вещества». В специальной литературе принято называть вредными все вещества, воздействие которых на биологические системы может привести к отрицательным последствиям как в результате однократного действия, «так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений» [ГОСТ 12.1.007-76]. Исходя из известного тезиса Парацельса «Ничто не лишено ядовитости», все ксенобиотики (чужеродные для живых организмов или искусственно синтезированные химические соединения) изначально рассматриваются как вредные вещества.

Для нормирования содержания любых веществ в воде по отношению к гидробионтам и человеку применяют такой критерий как порог критического действия. Порог критического действия – это минимальная доза вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или появляется скрытая патология [Трахтенберг с соавт., 1991].

Оценка величины критического воздействия в реальных условиях нормирования связана с целым рядом проблем:

1. Химическое загрязнение представляет собой последовательность разовых концентраций, характеризующую изменение уровней воздействия во времени и в пространстве. Поэтому рассчитывают критические нагрузки при суточной, недельной, месячной и другой экспозиции.

2. Постепенно при постоянном загрязнении возникает стадия компенсации, которая может поддерживаться неограниченно долго. В течение данной фазы, ранее выявленные патологические сдвиги либо вовсе исчезают ("истинная адаптация"), либо накапливаются на подпороговом уровне.

3. Разница между порогами однократного и хронического действия отражает сложный процесс материальной и функциональной кумуляции, зависящий от многих факторов: вида воздействия, динамики изменения возмущений, природы реципиента и проч.

Степень токсичности веществ принято характеризовать величиной токсической дозы – количеством вещества (отнесенным, как правило, к единице массы животного или человека), вызывающим опре-

деленный токсический эффект. Чем меньше токсическая доза, тем выше токсичность. Различают среднесмертельные (ЛД<sub>50</sub>), абсолютно смертельные (ЛД<sub>100</sub>), минимально смертельные (ЛД<sub>0-10</sub>) и др. дозы. Цифры в индексе отражают вероятность ( %) появления определенного токсического эффекта – в данном случае, смерти, в группе подопытных животных.

Другой важный критерий оценки действия вредного вещества устанавливается законодательно. *Это предельно допустимая концентрация (ПДК)* – «максимальное количество вредного вещества в единице объёма или веса, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченно продолжительного времени не вызывает в организме каких-либо патологических отклонений, а также неблагоприятных наследственных изменений у потомства. Для установления ПДК используют расчётные методы, результаты биологических экспериментов, а также материалы динамических наблюдений за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию вредных веществ».

Главенствующим подходом в нормировании качества вод является *санитарно-гигиенический*.

Содержание химических веществ в окружающей среде начали контролировать еще в 1925 г., когда определили первые значения ПДК для воздушной среды рабочей зоны. В 1949 г. впервые были установлены некоторые ПДК для атмосферного воздуха, а в 1950 г. – для воды. Современное санитарно-гигиеническое нормирование охватывает все среды, включая почву, продукты питания и т.д., а также различные пути поступления вредных веществ в организм.

Нормативы, ограничивающие вредное воздействие, устанавливаются и утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов. Существует большое количество справочников, содержащих подробную и исчерпывающую информацию о ПДК и токсикологических показателях различных химических веществ.

Под санитарно-гигиеническими показателями качества воды понимаются характеристики ее состава и свойств, определяющие пригодность воды для использования человеком или в качестве среды для обитания некоторых видов фауны (в первую очередь, промысловых рыб). В целях контроля за качеством воды были разработаны и приня-

ты основополагающие документы, которые устанавливают порядок обоснования нормативов, санитарные требования и значения ПДК для воды с учетом рекомендаций ВОЗ.

В соответствии с Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1074-01 «питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства». В ходе обоснования ПДК для каждого вещества предварительно определяется класс опасности, который характеризует следующие свойства ксенобиотиков:

- способность к накоплению в организме и кумуляции эффекта вредного действия;
- вероятность вызывать отдаленные последствия (т.е. степень опасности хронического отравления);
- скорость резорбции вещества тканями живого организма (более опасны гидрофильные и липофильные химические соединения, легко проникающие к чувствительным центрам биореципиентов).

Вещества делятся на следующие классы опасности:

- 1 класс – чрезвычайно опасные вещества, для которых проводится полная схема тестирования (острый, подострый, хронический и пожизненный опыты на разных группах животных);
- 2 класс – высоко опасные вещества, изучаемые по развернутой схеме;
- 3 класс – опасные соединения, для которых не ставится хронический эксперимент;
- 4 класс – умеренно опасные вещества, нормируемые по экспрессной схеме.

Экспериментально обосновываются ПДК для водоемов двух классов:

- Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>) – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования [СанПиН 2.1.5.980-00];

- Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей (ПДК<sub>вр</sub>) – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

При обосновании ПДК одновременно устанавливается и ЛПВ – лимитирующий (или минимальный из всех перечисленных значений) показатель вредности по наиболее чувствительному звену. ЛПВ имеет значение при оценке комбинированного действия смеси веществ. Например, при обнаружении в питьевой воде нескольких химических соединений, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по одному и тому же признаку вредности, необходимо определить сумму отношений фактических концентраций  $C$  каждого из них к величине его ПДК. В результате эта сумма не должна превышать по общепринятой методике:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1$$

Предельно допустимая концентрация вещества в воде устанавливается:

- для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>) с учетом трех показателей вредности:

- органолептического;
- общесанитарного;
- санитарно-токсикологического.

- для рыбохозяйственного водопользования (ПДК<sub>вр</sub>) с учетом пяти показателей вредности:

- органолептического;
- санитарного;
- санитарно-токсикологического;
- токсикологического;
- рыбохозяйственного.

Органолептический показатель вредности характеризует способность вещества изменять органолептические свойства воды. Общесанитарный – определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счет биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры. Санитарно-токсикологический показатель характеризует вредное воздействие на

организм человека, а токсикологический – показывает токсичность вещества для живых организмов, населяющих водный объект. Рыбохозяйственный показатель вредности определяет порчу качеств промысловых рыб.

Наименьшая из безвредных концентраций по трем (пяти) показателям вредности принимается за ПДК с указанием лимитирующего показателя вредности.

Рыбохозяйственные ПДК должны удовлетворять ряду условий, при которых не должны наблюдаться:

- гибель рыб и кормовых организмов для рыб;
- постепенное исчезновение видов рыб и кормовых организмов;
- ухудшение товарных качеств обитающей в водном объекте рыбы;
- замена ценных видов рыб на малоценные.

Другим, более ценным с точки зрения защиты внутриводоемной среды, является *общэкологический подход* к нормированию качества.

В связи с этим следует отметить, что система критериев ПДК длительное время подвергается в целом аргументированной критике, так как давно наметилась тенденция к оценке состояния водных объектов не с точки зрения потребностей конкретного природопользователя, а с точки зрения сохранения структуры и функциональных особенностей всей экосистемы в целом. Основные претензии к действующей системе ПДК сводится к следующему:

1. Концентрация веществ в воде не отражает токсикологическую нагрузку на экосистему, так как не учитывает процессы аккумуляции веществ в биологических объектах и донных отложениях, т.е. не учитывается предыстория, связанная с накоплением в водной среде загрязняющих веществ.

2. Видовая приспособляемость водных животных зависит не столько от специфики механизмов действия ядов, сколько от уровня организации организма и от его отношения к общему фону загрязнения, обусловленному соответствующими механизмами адаптации, сформировавшимися в результате длительного эволюционного процесса.

3. ПДК не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естест-

венные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

4. Не учитываются эффекты синергизма, антагонизма, суммации.

5. Не решена проблема нормы и патологии в водной токсикологии, в частности не принимается во внимание принцип эмерджентности, т.е. качественного своеобразия функционирования и устойчивости биосистем на разных уровнях их организации (от молекулярного до экосистемного).

6. При обосновании ПДК не учитывается разный трофический статус экосистем, сезонные особенности природных факторов, на фоне которых проявляется токсичность загрязняющих веществ.

Таким образом, основными задачами экологического нормирования и водной токсикологии должны стать:

- оценка влияния токсических веществ не только на отдельные организмы, но и на надорганизменные системы (популяции и сообщества), которым свойственны специфические реакции на антропогенные факторы;
- составление приоритетного списка веществ, на которые живые организмы реагируют наиболее активно, с учетом как их количества и степени токсичности, так и трансформации в водной экосистеме.

В качестве основных гидрохимических показателей оценки состояния поверхностных вод выбираются, в первую очередь, токсичные, приоритетные загрязняющие вещества, в том числе обладающие кумулятивными свойствами накапливаться в органах и тканях гидробионтов. Для совокупной оценки опасных уровней загрязнения водных объектов при выделении зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия предлагается использовать формализованный суммарный показатель химического загрязнения. Предполагается, что этот показатель особенно важен для территорий, где загрязнение химическими веществами наблюдается сразу по нескольким веществам, каждый из которых многократно превышает допустимый уровень ПДК. В дополнительные показатели включены некоторые общепринятые физико-химические параметры, дающие общее представление о составе и качестве вод. Для характеристики процессов, происходящих в водных объектах, приводятся также коэффициенты, учитывающие способность загрязняющих веществ накапливать-

ся в донных отложениях (КДА) и гидробионтах (Кн).

Коэффициент донной аккумуляции (КДА) определяется как отношение концентрации веществ (документ не определяет, каких именно) в донных отложениях  $C_{до}$  к концентрации тех же веществ в воде  $C_{вода}$ :

$$КДА = C_{до} / C_{вода}.$$

Коэффициент накопления в гидробионтах (Кн) определяется как отношение концентрации веществ в гидробионтах  $C_{гидробионт}$  к концентрации тех же веществ в воде  $C_{вода}$ :

$$КДА = C_{гидробионт} / C_{вода}$$

Само по себе санитарно-гигиеническое нормирование не предполагает выделение классов качества воды и водоемов, вернее, предполагается только два класса качества: с соблюдением гигиенических нормативов ("норма") и с нарушением нормативов ("патология"). Однако, на практике применяются комплексные подходы к оценке качества воды, в первую очередь такие, как индексы загрязнения и классификации качества вод [по Протасову В.Ф.].

Одним из таких общеизвестных индексов является гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ). ИЗВ установлен Госкомгидрометом СССР и относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов (впрочем, необходимость его применения не подтверждается). Этот индекс является типичным коэффициентом и представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$ИЗВ = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i},$$

где:  $C_i$  – концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического параметра);  $n$  – число показателей, используемых для расчета индекса,  $n = 6$ ;  $ПДК_i$  – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта (по методике, применяемый в Департаменте по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов, используются следующие показатели: содержание растворенного кислорода, аммонийного азота, нитритного азота, нефтепродуктов, летучих фенолов, величина БПК<sub>5</sub>).

При расчете индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая биологическое потребление кисло-

рода БПК<sub>5</sub> и содержание растворенного кислорода, находят отношения  $C_i / ПДК_i$  фактических концентраций к ПДК и полученный список сортируют. Для определения соотношения содержания растворенного кислорода используют ОБРАТНОЕ соотношение! ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того превышают они ПДК или нет.

При расчете ИЗВ для составляющих  $C_i / ПДК_i$  по неоднозначно нормируемым компонентам применяется ряд следующих условий:

- для биологического потребления кислорода БПК<sub>5</sub> (ПДК – не более 3 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования) устанавливаются специальные значения нормативов, зависящие от самого значения БПК<sub>5</sub>;
- концентрация растворенного кислорода нормируется с точностью до наоборот: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм<sup>3</sup>, поэтому для каждого диапазона концентраций компонента устанавливаются специальные значения слагаемых  $C_i/ПДК_i$ ;

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (табл. 9.1). Устанавливается требование, чтобы индексы загрязнения воды сравнивались для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока, а также с учетом фактической водности текущего года.

Таблица 9.1.

**Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды**

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI

*Системы классификации качества воды.* Рассмотрим две из них, наиболее известные и часто применяемые на практике.

*Система классификации качества воды по А.А. Былинкиной и С.М. Драчеву.* Эта классификация впервые заложила основы шести-

балльной шкалы классификации водоемов. Оценка качества воды осуществляется с использованием следующих показателей:

- химические показатели состояния водоемов (табл. 9.2);
- бактериологические и гидробиологические показатели (табл. 9.3);
- показатели состояния водоемов по физическим и органолептическим свойствам (табл. 9.4).

Таблица 9.3

**Бактериологические и гидробиологические показатели**

Степень загрязнения	Бактериологические			Яйца гель- мин- тов, в 1 м <sup>3</sup>	Санитарно- гидробиологические	
	Кишечная палочка (титр)	Сапро- фитные микроор- ганизмы, в 1 мл	Пря- мой счет		Сапробность	Биологи- ческий показа- тель за- грязнения
Очень чистые	10–100	a·10	10 <sup>5</sup>	Нет	Ксеносапроб- ная	0–5
Чистые	10–1	a·100	10 <sup>6</sup>	Нет	Олигосапроб- ная	6–10
Умеренно загрязнен- ные	1–0.05	a·1000	10 <sup>6</sup>	1–3	β–Мезоса- пробная	11–20
Загрязненные	0.05–0.005	a·10000	10 <sup>7</sup>	10	α–Мезоса- пробная	81–60
Грязные	0.005– 0.001	a·100000	10 <sup>7</sup>	500	Полисапробная	61–99
Очень грязные	<0.001	a·1000000	10 <sup>8</sup>	1000	Полисапробная	100

Примечание: Биологический показатель загрязнения (БПЗ) или индекс Хорасавы, принятый в международном стандарте качества питьевой воды (1958 г.), представляет собой отношение количества одноклеточных организмов, не содержащих хлорофилла (В), к общему количеству организмов, включая содержащие хлорофилл (А), выраженное в % [Руководство по методам..., 1983] :

Таблица 9.2

## Химические показатели состояния водоемов

Степень загрязнения	Растворенный кислород			БПК <sub>5</sub> , в мг/л	Окисляемость, в мг/л O <sub>2</sub>	Аммонийный азот, в мг/л	Токсичные вещества в долях ПДК	Радио- активность общая в долях норматива
	в мг/л		% насы- щения					
	Лето	Зима						
Очень чистые	9	14–13	95	0.5–1.0	1	0.05	0	0.1
Чистые	8	12–11	80	1.1–1.9	2	0.1	0.1–0.9	0.1
Умеренно за- грязненные	7–6	10–9	70	2.0–2.9	3	0.2–0.3	1.0–5.9	1.0
Загрязненные	5–4	5–4	60	3.0–3.9	4	0.4–1.0	6.0–10.9	10
Грязные	3–2	5–1–0	30	4.0–10.0	5–15	1.1–3.0	11.0–20.0	100
Очень грязные	0	0	0	>10	>15	>3	>20	1000

*Примечание:* Окисляемость относится к рекам с цветностью воды не более 30°

Таблица 9.4

**Показатели состояния водоемов по физическим и органолептическим свойствам**

Степень загрязнения	Взвешенные вещества мг/л	Прозрачность		Запах, в баллах	Нефть		рН
		по Секки, в м	по Снеллену, в см		в баллах	в мг/л	
Очень чистые	1–3	>2	>30	1	0	0.00	6.5–8.0
Чистые	4–10	2–1	30–20	2	1	0.1–0.2	6.5–8.5
Умеренно загрязненные	11–19	1–0.3	19–3.0	3	2	0.3	6.0–9.0
Загрязненные	20–50	0.3–0.1	2.0–1.0	4	3	1	5–6, 9–10
Грязные	51–100	0.1–0.02	<1.0–0.5	5	4	2	5–6, 9–10
Очень грязные	>100	<0.02	< 0.5	5	5	5	2–4, 11–13

В качестве главных показателей рекомендуется взять пять следующих: титр кишечной палочки, запах, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный и внешний вид водоема у места взятия проб (по степени загрязнения нефтью). Весьма важным показателем санитарного состояния водоемов является также содержание токсических веществ, в том числе, радиоактивных. «В качестве показателя степени загрязнения водоемов по содержанию токсических веществ можно принять отношение количества токсических веществ, найденных аналитически, к допустимым концентрациям, согласно существующим нормативам. В отношении содержания радиоактивных веществ показателем может быть взята суммарная β-активность, поскольку в отношении данного определения имеется наибольшее количество аналитических материалов» [Драчев, 1964].

Каждому из показателей придается приоритет – цифровое значение, соответствующее важности и значимости данного фактора. Если по различным показателям классификация водоема выполняется неоднозначно, то необходимо рассчитать общий показатель загрязнения путем усреднения числовых значений условных приоритетов. Коэффициенты для подсчета общего показателя и группировка водоемов по сумме признаков приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5

## Система коэффициентов для выведения общего значения показателя

Наименование показателя	Степень загрязнения					
	Очень чистые	Чистые	Умеренно загрязненные	Загрязненные	Грязные	Очень грязные
Азот аммонийный	0	1	3	6	12	15
БПК <sub>5</sub> и токсические вещества	0	1	5	8	12	15
Радиоактивность общая	0	1	3	5	15	25
Титр кишечной палочки	0	2	4	10	15	30
Запах	0	1	2	8	10	20
Внешний вид	0	1	2	6	8	10
Средне-суммарный коэффициент загрязнения	0–1	2	3–4	5–7	8–10	>10

*Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши Жукинского А.П.* Одной из первых попыток создания глобальных классификаций, построенных по экосистемному принципу, когда в классификационный рубрикатор включаются как гидрофизические и гидрохимические показатели (абиотическая составляющая), так и характеристики гидробионтов (биологическая составляющая экосистем), стала разработка Института гидробиологии АН УССР. В преамбуле указывается на следующее: «чтобы проследить и уяснить сущность и степень происходящих экологических изменений водных экосистем, необходимо иметь единую достаточно репрезентативную классификацию качества воды, охватывающую большинство компонентов водной экосистемы».

Схема общей иерархии показателей (строк) и градаций (столбцов) разработанной системы классификации представлена в таблице 9.6. В сущности, авторы предложили не единую классификацию, а три самостоятельных классификации: единую пятиклассно–девятиразрядную классификацию С для трех групп "экологических" показателей и две классификации А и В по минеральному составу воды, не совместимые ни с первой, ни друг с другом.

Таблица 9.6

**Схема комплексной экологической классификации  
по О.П. Оксюк и В.Н. Жукинскому**

Показатели		Градации качества		Тип
Группа	Подгруппа	Класс	Разряд	
Солевой состав	Степень минерализации (соленость)	Пресные	гипогалинные	А
			олигалинные	
		Солоноватые	мезогалинные	
	полигалинные			
	Соленые	эугалинные		
		ультрагалинные		
Ионный состав по О.А. Алекину [1946]: Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup>	Гидрокарбонатные		В	
	Сульфатные			
	Хлоридные			
Эколого-санитарная (трофосапробиологическая)	Гидрофизические		Предельно чистая	С
	Биотрофные и гидрохимические			
	Гидробиологические		Очень чистая	
	Бактериологические		Вполне чистая	
	Биоиндикация сапробности			
Трофность		Удовлетворительной чистоты	Достаточно чистая	
Экологотоксикологическая	Содержание токсичных веществ	неорганические	Загрязненная	Слабо загрязненная
		органические		Умеренно загрязненная
	Токсичность по биотестам		Сильно загрязненная	
Радиоэкологическая	Вездесущие радионуклиды		Грязная	Весьма грязная
	Коррозионные радионуклиды			
	Осколки деления			Предельно грязная

Основная классификация качества воды по остальным трем группам показателей основана на девяти разрядах, которые агрегируются в пять классов, что "более привычно и близко к европейским стандартам" [Унифицированные методы..., 1977].

## Глава 10. Общие и суммарные показатели качества вод

### 10.1 Физические свойства воды

*Плотность и удельный объем.* Под плотностью воды  $\rho$  понимается отношение ее массы  $m$  к объему  $V$ , занимаемому ею при данной температуре. За единицу плотности принята плотность дистиллированной воды при  $4^\circ \text{C}$ . Плотность воды зависит от ее температуры, минерализации, давления, количества взвешенных частиц и растворенных газов.

Изменение плотности воды оказывает существенное влияние на режим водоемов, вызывая конвекционные токи и течения, стремящиеся выровнять возникшую неравномерность в распределении плотности.

*Теплоемкость и теплопроводность.* Количество тепла, необходимое для нагревания 1 г воды на  $1^\circ \text{C}$ , называется удельной теплоемкостью. В гидрологии теплоемкость обычно выражается в кал/(г\*град). Вода характеризуется наибольшей теплоемкостью по сравнению с другими жидкими и твердыми веществами, за исключением водорода и аммиака. Благодаря большой теплоемкости воды суточные и сезонные изменения ее температуры оказываются менее значительными, чем изменение температуры воздуха, удельная теплоемкость которого в 4 раза меньше, чем теплоемкость воды.

### 10.2. Общие химические показатели качества вод

*Минерализация.* Суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ; обычно выражается в  $\text{мг/дм}^3$  (до  $1000 \text{ мг/дм}^3$ ) и % (промилле или тысячная доля при минерализации более  $1000 \text{ мг/дм}^3$ ).

Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность, изменяется в широких пределах (табл. 10.1). Большинство рек имеет минерализацию от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен. Их удельная электропроводность варьирует от  $30 \text{ мкСм/см}$  до  $1500 \text{ мкСм/см}$ . Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от  $40\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$  до  $650 \text{ г/кг}$  (плотность в этом случае уже значительно отличается от еди-

ницы). Удельная электропроводность атмосферных осадков (с минерализацией от 3 до 60 мг/дм<sup>3</sup>) составляет величины 20–120 мкСм/см.

Таблица 10.1

**Классификация природных вод по минерализации**

Категория вод	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>
Ультрапресные	<0,2
Пресные	0,2–0,5
Воды с относительно повышенной минерализацией	0,5–1,0
Солоноватые	1,0–3,0
Соленые	3–10
Воды повышенной солености	10–35
Рассолы	>35

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды суммарная минерализация не должна превышать величины 1000 мг/дм<sup>3</sup>. По согласованию с органами департамента санэпиднадзора для водопровода, подающего воду без соответствующей обработки (например, из артезианских скважин), допускается увеличение минерализации до 1500 мг/дм<sup>3</sup>). *Электропроводность*. Электропроводность – это численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от концентрации растворенных минеральных солей и температуры. Природные воды представляют в основном смешанные растворы сильных электролитов. Минеральную часть воды составляют ионы Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Этими ионами и обуславливается электропроводность природных вод. Присутствие других ионов, например Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, не сильно влияет на электропроводность, если эти ионы не содержатся в воде в значительных количествах (например, ниже выпусков производственных или хозяйственно-бытовых сточных вод). По значениям электропроводности природной воды можно приближенно судить о минерализации воды с помощью предварительно установленных зависимостей.

Величина удельной электропроводности служит приближенным показателем суммарной концентрации электролитов, главным образом неорганических, и используется в программах наблюде-

ний за состоянием водной среды для оценки минерализации вод. Удельная электропроводность – удобный суммарный индикаторный показатель антропогенного воздействия.

*Температура.* Температура воды в водоеме является результатом нескольких одновременно протекающих процессов, таких как солнечная радиация, испарение, теплообмен с атмосферой, перенос тепла течениями, турбулентным перемешиванием вод и др. Обычно прогревание воды происходит сверху вниз. Годовые и суточные изменения температуры воды на поверхности и глубинах определяется количеством тепла, поступающего на поверхность, а также интенсивностью и глубиной перемешивания. Суточные колебания температуры могут составлять несколько градусов и обычно наблюдаются на небольшой глубине. На мелководье амплитуда колебаний температуры воды близка к перепаду температуры воздуха.

В требованиях к качеству воды водоемов, используемых для купания, спорта и отдыха, указано, что летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более, чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет. В водоемах рыбохозяйственного назначения допускается повышение температуры воды в результате спуска сточных вод не более, чем на 5°C по сравнению с естественной температурой.

Температура воды – важнейший фактор, влияющий на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которого в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Значения температуры используют для вычисления степени насыщения воды кислородом, различных форм щелочности, состояния карбонатно-кальциевой системы, при многих гидрохимических, гидробиологических, особенно лимнологических исследованиях, при изучении тепловых загрязнений.

*Взвешенные вещества (грубодисперсные примеси).* Бытовые и промышленные сточные воды содержат значительное количество взвешенных органических и минеральных веществ, которые могут ухудшить органолептические свойства воды, а иногда оказаться и вредными для организма. Поэтому «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» предусматривается, что при спуске сточных вод Содержание взвешенных веществ не должно

увеличиваться более чем на 0,25 мг/л в водоемах, используемых для питьевого водоснабжения и водоснабжения пищевых предприятий, и на 0,75 мг/л – для водоемов, используемых для рекреации.

Взвешенные твердые вещества, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Концентрация взвешенных частиц связана с сезонными факторами и режимом стока, зависит от пород, слагающих русло, а также от антропогенных факторов.

Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды и на проникновение в нее света, на температуру, состав растворенных компонентов поверхностных вод, адсорбцию токсичных веществ, а также на состав и распределение отложений и на скорость осадкообразования. Вода, в которой много взвешенных частиц, не подходит для рекреационного использования по эстетическим соображениям.

*Органолептические наблюдения.* Метод определения состояния водного объекта путем непосредственного осмотра его. При органолептических наблюдениях особое внимание обращают на явления, необычные для данного водоема или водотока и часто свидетельствующие о его загрязнении: гибель рыбы и других водных организмов, растений, выделение пузырьков газа из донных отложений, появление повышенной мутности, посторонних окрасок, запаха, цветения воды и пр.

*Запах.* Свойство воды вызывать у человека и животных специфическое раздражение слизистой оболочки носовых ходов. Запах воды характеризуется интенсивностью, которую измеряют в баллах. Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, поступающие в воду в результате процессов жизнедеятельности водных организмов, при биохимическом разложении органических веществ, при химическом взаимодействии содержащихся в воде компонентов, а также с промышленными, сельскохозяйственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами (табл. 10.2).

На запах воды оказывают влияние состав содержащихся в ней веществ, температура, значения рН, степень загрязненности водного объекта, биологическая обстановка, гидрологические условия и т.д.

У пунктов культурно-бытового водопользования вода не должна иметь запахи интенсивностью более 2 баллов.

Таблица 10.2.

**Определение интенсивности запаха воды**

Оценка интенсивности запаха, баллы	Интенсивность запаха	Характер проявления запаха
0	никакого запаха	отсутствие ощутимого запаха
I	очень слабый	запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый специалистом
II	слабый	запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить на это внимание
III	заметный	запах, легко обнаруживаемый, может быть причиной того, что вода неприятна для питья
IV	отчетливый	запах, обращающий на себя внимание, может заставить воздержаться от питья
V	очень сильный	запах, настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

*Мутность.* Мутность природных вод вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения. Качественное определение проводят описательно: слабая опалесценция, опалесценция, слабая, заметная и сильная муть.

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды мутность не должна превышать  $1,5 \text{ мг/дм}^3$  по каолину.

*Цветность.* Показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений; выражается в градусах платиново-кобальтовой шкалы. Определяется путем сравнения окраски испытуемой воды с эталонами.

Цветность природных вод обусловлена главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа. Количество этих веществ зависит от геологических условий, водоносных горизонтов, характера почв, наличия болот и торфяников в бассейне реки и т.п. Сточные воды некоторых предприятий также могут создавать довольно интенсивную окраску воды.

Цветность природных вод колеблется от единиц до тысяч градусов.

Различают "истинный цвет", обусловленный только растворенными веществами, и "кажущийся" цвет, вызванный присутствием в воде коллоидных и взвешенных частиц, соотношения между которыми в значительной мере определяются величиной рН.

Предельно допустимая величина цветности в водах, используемых для питьевых целей, составляет 35 градусов по платиново-кобальтовой шкале. В соответствии с требованиями к качеству воды в зонах рекреации окраска воды не должна обнаруживаться визуально в столбике высотой 10 см.

Высокая цветность воды ухудшает ее органолептические свойства и оказывает отрицательное влияние на развитие водных растительных и животных организмов в результате резкого снижения концентрации растворенного кислорода в воде, который расходуется на окисление соединений железа и гумусовых веществ.

*Прозрачность.* Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью, т.е. содержанием в них различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ.

Воду в зависимости от степени прозрачности условно подразделяют на прозрачную, слабоопалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную, сильно мутную. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в водоем белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа (как правило, шрифт средней жирности высотой 3,5 мм). Результаты выражаются в сантиметрах с указанием способа измерения.

Ослабление интенсивности света с глубиной в мутной воде приводит к большему поглощению солнечной энергии вблизи поверхности. Появление более теплой воды у поверхности уменьшает перенос кислорода из воздуха в воду, снижает плотность воды, стабилизирует стратификацию. Уменьшение потока света также снижает эффективность фотосинтеза и биологическую продуктивность водоема.

*Водородный показатель (рН).* Содержание ионов водорода (гидроксония –  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) в природных водах определяется в основном количественным соотношением концентраций угольной кислоты и ее ионов.

Для удобства выражения содержания водородных ионов была введена величина, представляющая собой логарифм их концентрации,

взятый с обратным знаком:  $pH = -\lg[H^+]$ .

Для поверхностных вод, содержащих небольшие количества диоксида углерода, характерна щелочная реакция. Изменения pH тесно связаны с процессами фотосинтеза (при потреблении  $CO_2$  водной растительностью высвобождаются ионы  $OH^-$ ). Источником ионов водорода являются также гумусовые кислоты, присутствующие в почвах.

Значение pH в речных водах обычно варьирует в пределах 6,5–8,5, в атмосферных осадках 4,6–6,1, в болотах 5,5–6,0, в морских водах 7,9–8,3. Концентрация ионов водорода подвержена сезонным колебаниям. Зимой величина pH для большинства речных вод составляет 6,8–7,4, летом 7,4–8,2. Величина pH природных вод определяется в некоторой степени геологией водосборного бассейна. В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, воды водных объектов в зонах рекреации, а также воды водоемов рыбохозяйственного назначения, величина pH не должна выходить за пределы интервала значений 6,5–8,5. Природные воды в зависимости от pH рационально делить на семь групп (табл. 10.3).

Таблица 10.3.

**Группы природных вод в зависимости от pH**

Группа	pH	Примечание
Сильнокислые воды	<3	результат гидролиза солей тяжелых металлов (шахтные и рудничные воды)
Кислые воды	3–5	поступление в воду угольной кислоты, фульвокислот и других органических кислот в результате разложения органических веществ
Слабокислые воды	5–6,5	присутствие гумусовых кислот в почве и болотных водах (воды лесной зоны)
Нейтральные воды	6,5–7,5	наличие в водах $Ca(HCO_3)_2$ , $Mg(HCO_3)_2$
Слабощелочные воды	7,5–8,5	наличие в водах $Ca(HCO_3)_2$ , $Mg(HCO_3)_2$
Щелочные воды	8,5–9,5	присутствие $Na_2CO_3$ или $NaHCO_3$
Сильнощелочные воды	9,5	присутствие $Na_2CO_3$ или $NaHCO_3$

*Растворенный кислород.* Растворенный кислород находится в природной воде в виде молекул  $O_2$ . На его содержание в воде влияют две группы противоположно направленных процессов: одни увеличивают концентрацию кислорода, другие уменьшают ее. К первой группе процессов, обогащающих воду кислородом, следует отнести:

- процесс абсорбции кислорода из атмосферы;
- выделение кислорода водной растительностью в процессе фотосинтеза;
- поступление в водоемы с дождевыми и снеговыми водами, которые обычно пересыщены кислородом.

Абсорбция кислорода из атмосферы происходит на поверхности водного объекта. Скорость этого процесса повышается с понижением температуры, с повышением давления и понижением минерализации. Аэрация – обогащение глубинных слоев воды кислородом – происходит в результате перемешивания водных масс, в том числе ветрового, вертикальной температурной циркуляции и т.д.

Фотосинтетическое выделение кислорода происходит при ассимиляции диоксида углерода водной растительностью (прикрепленными, плавающими растениями и фитопланктоном). Процесс фотосинтеза протекает тем сильнее, чем выше температура воды, интенсивность солнечного освещения и больше биогенных (питательных) веществ (P, N и др.) в воде. Продуцирование кислорода происходит в поверхностном слое водоема, глубина которого зависит от прозрачности воды (для каждого водоема и сезона может быть различной, от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров).

К группе процессов, уменьшающих содержание кислорода в воде, относятся реакции потребления его на окисление органических веществ: биологическое (дыхание организмов), биохимическое (дыхание бактерий, расход кислорода при разложении органических веществ) и химическое (окисление  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ). Скорость потребления кислорода увеличивается с повышением температуры, количества бактерий и других водных организмов и веществ, подвергающихся химическому и биохимическому окислению. Кроме того, уменьшение содержания кислорода в воде может происходить вследствие выделения его в атмосферу из поверхностных слоев и только в том случае, если вода при данных температуре и давлении окажется пересыщенной кислородом.

В поверхностных водах содержание растворенного кислорода

варьирует в широких пределах – от 0 до 14 мг/дм<sup>3</sup> – и подвержено сезонным и суточным колебаниям. Суточные колебания зависят от интенсивности процессов его продуцирования и потребления и могут достигать 2,5 мг/дм<sup>3</sup> растворенного кислорода. В зимний и летний периоды распределение кислорода носит характер стратификации. Дефицит кислорода чаще наблюдается в водных объектах с высокими концентрациями загрязняющих органических веществ и в эвтрофированных водоемах, содержащих большое количество биогенных и гумусовых веществ.

Концентрация кислорода определяет величину окислительно-восстановительного потенциала и в значительной мере направление и скорость процессов химического и биохимического окисления органических и неорганических соединений. Кислородный режим оказывает глубокое влияние на жизнь водоема. Минимальное содержание растворенного кислорода, обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/дм<sup>3</sup>. Понижение его до 2 мг/дм<sup>3</sup> вызывает массовую гибель (замор) рыбы. Неблагоприятно сказывается на состоянии водного населения и пересыщение воды кислородом в результате процессов фотосинтеза при недостаточно интенсивном перемешивании слоев воды.

*Таблица 10.4.*

**Содержание кислорода в водоемах с различной степенью загрязненности**

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород		
	лето, мг/дм <sup>3</sup>	зима, мг/дм <sup>3</sup>	% насыщения
Очень чистые, I	9	14–13	95
Чистые, II	8	12–11	80
Умеренно загрязненные, III	7–6	10–9	70
Загрязненные, IV	5–4	5–4	60
Грязные, V	3–2	5–1	30
Очень грязные, VI	0	0	0

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого и санитарного водопользования содержание растворенного кислорода в пробе, отобранной до 12 часов дня,

не должно быть ниже  $4 \text{ мг/дм}^3$  в любой период года; для водоемов рыбохозяйственного назначения концентрация растворенного в воде кислорода не должна быть ниже  $4 \text{ мг/дм}^3$  в зимний период (при ледоставе) и  $6 \text{ мг/дм}^3$  – в летний.

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания, называется степенью насыщения кислородом. Эта величина зависит от температуры воды, атмосферного давления и солености.

*Окисляемость перманганатная и бихроматная (ХПК)*. Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых одним из сильных химических окислителей при определенных условиях, называется окисляемостью. Существует несколько видов окисляемости воды: перманганатная, бихроматная, иодатная, цериевая. Наиболее высокая степень окисления достигается методами бихроматной и иодатной окисляемости воды.

Окисляемость выражается в миллиграммах кислорода, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в  $1 \text{ дм}^3$  воды.

Состав органических веществ в природных водах формируется под влиянием многих факторов. К числу важнейших относятся внутриводоемные биохимические процессы продуцирования и трансформации, поступления из других водных объектов, с поверхностными и подземными стоками, с атмосферными осадками, с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Образующиеся в водоеме и поступающие в него извне органические вещества весьма разнообразны по своей природе и химическим свойствам, в том числе по устойчивости к действию разных окислителей. Соотношение содержащихся в воде легко- и трудноокисляемых веществ в значительной мере влияет на окисляемость воды в условиях того или иного метода ее определения.

В поверхностных водах органические вещества находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Последние в рутинном анализе отдельно не учитываются, поэтому различают окисляемость фильтрованных (растворенное органическое вещество) и нефилтрованных (общее содержание органических веществ) проб.

Величины окисляемости природных вод изменяются в пределах от долей миллиграммов до десятков миллиграммов в литре в зависимости от общей биологической продуктивности водоемов, степени

загрязненности органическими веществами и соединениями биогенных элементов, а также от влияния органических веществ естественного происхождения, поступающих из болот, торфяников и т.п. Поверхностные воды имеют более высокую окисляемость по сравнению с подземными (десятые и сотые доли миллиграмма на 1 дм<sup>3</sup>), исключение составляют воды нефтяных месторождений и грунтовые воды, питающиеся за счет болот. Горные реки и озера характеризуются окисляемостью 2–3 мг О/дм<sup>3</sup>, реки равнинные – 5–12 мг О/дм<sup>3</sup>, реки с болотным питанием – десятки миллиграммов на 1 дм<sup>3</sup>. Окисляемость незагрязненных поверхностных вод проявляет довольно отчетливую физико-географическую зональность (табл. 10.5).

Окисляемость подвержена закономерным сезонным колебаниям. Их характер определяется, с одной стороны, гидрологическим режимом и зависящим от него поступлением органических веществ с водосбора, с другой, – гидробиологическим режимом.

Таблица 10.5.

**Физико-географическая зональность природных вод**

Окисляемость	мг О/дм <sup>3</sup>	Зона
Очень малая	0–2	Высокогорье
Малая	2–5	Горные районы
Средняя	5–10	Зоны широколиственных лесов, степи, полупустыни и пустыни, а также тундра
Повышенная	15–20	Северная и южная тайга

В водоемах и водотоках, подверженных сильному воздействию хозяйственной деятельности человека, изменение окисляемости выступает как характеристика, отражающая режим поступления сточных вод. Для природных малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость; в более загрязненных водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК).

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования величина ХПК не должна превышать 15 мг О/дм<sup>3</sup>; в зонах рекреации в водных объектах допускается величина ХПК до 30 мг О/дм<sup>3</sup>.

В программах мониторинга ХПК используется в качестве ме-

ры содержания органического вещества в пробе, которое подвержено окислению сильным химическим окислителем. ХПК применяют для характеристики состояния водотоков и водоемов, поступления бытовых и промышленных сточных вод (в том числе, и степени их очистки), а также поверхностного стока (табл. 10.6).

Таблица 10.6.

**Величины ХПК в водоемах с различной степенью загрязненности**

Степень загрязнения (классы водоемов)	ХПК, мг О/дм <sup>3</sup>
Очень чистые	1
Чистые	2
Умеренно загрязненные	3
Загрязненные	4
Грязные	5–15
Очень грязные	>15

Для вычисления концентрации углерода, содержащегося в органических веществах, значение ХПК (мг О/дм<sup>3</sup>) умножается на 0,375 (коэффициент, равный отношению количества вещества эквивалента углерода к количеству вещества эквивалента кислорода).

**Биохимическое потребление кислорода (БПК)**

Степень загрязнения воды органическими соединениями определяют как количество кислорода, необходимое для их окисления микроорганизмами в аэробных условиях. Биохимическое окисление различных веществ происходит с различной скоростью. К легкоокисляющимся ("биологически мягким") веществам относят формальдегид, низшие алифатические спирты, фенол, фурфурол и др. Среднее положение занимают крезолы, нафтолы, ксиленолы, резорцин, пирокатехин, анионоактивные ПАВ и др. Медленно разрушаются "биологически жесткие" вещества, такие как гидрохинон, сульфенол, неионогенные ПАВ и др.

*БПК<sub>5</sub>*. В лабораторных условиях наряду с БПК<sub>п</sub> определяется БПК<sub>5</sub> – биохимическая потребность в кислороде за 5 суток.

В поверхностных водах величины БПК<sub>5</sub> изменяются обычно в пределах 0,5–4 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и подвержены сезонным и суточным колебаниям (табл. 10.7).

Сезонные колебания зависят в основном от изменения темпе-

ратуры и от исходной концентрации растворенного кислорода. Влияние температуры сказывается через ее воздействие на скорость процесса потребления, которая увеличивается в 2–3 раза при повышении температуры на 10°С. Влияние начальной концентрации кислорода на процесс биохимического потребления кислорода связано с тем, что значительная часть микроорганизмов имеет свой кислородный оптимум для развития в целом и для физиологической и биохимической активности.

Таблица 10.7.

**Величины БПК<sub>5</sub> в водоемах с различной степенью загрязненности**

Степень загрязнения (классы водоемов)	БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Очень чистые	0,5–1,0
Чистые	1,1–1,9
Умеренно загрязненные	2,0–2,9
Загрязненные	3,0–3,9
Грязные	4,0–10,0
Очень грязные	10,0

Суточные колебания величин БПК<sub>5</sub> также зависят от исходной концентрации растворенного кислорода, которая может в течение суток изменяться на 2,5 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> в зависимости от соотношения интенсивности процессов его продуцирования и потребления. Весьма значительны изменения величин БПК<sub>5</sub> в зависимости от степени загрязненности водоемов.

Для водоемов, загрязненных преимущественно хозяйственно-бытовыми сточными водами, БПК<sub>5</sub> составляет обычно около 70 % БПК<sub>п</sub>.

В зависимости от категории водоема величина БПК<sub>5</sub> регламентируется следующим образом: не более 3 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования. Для морей (I и II категории рыбохозяйственного водопользования) пятисуточная потребность в кислороде (БПК<sub>5</sub>) при 20°С не должна превышать 2 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Определение БПК<sub>5</sub> в поверхностных водах используется с целью оценки содержания биохимически окисляемых органических ве-

ществ, условий обитания гидробионтов и в качестве интегрального показателя загрязненности воды. Необходимо использовать величины БПК<sub>5</sub> при контроле эффективности работы очистных сооружений.

*БПК<sub>n</sub>*. Полным биохимическим потреблением кислорода (БПК<sub>n</sub>) считается количество кислорода, требуемое для окисления органических примесей до начала процессов нитрификации. Количество кислорода, расходуемое для окисления аммонийного азота до нитритов и нитратов, при определении БПК не учитывается. Для бытовых сточных вод (без существенной примеси производственных) определяют БПК<sub>20</sub>, считая, что эта величина близка к БПК<sub>n</sub>.

Полная биологическая потребность в кислороде БПК<sub>n</sub> для внутренних водоемов рыбохозяйственного назначения (I и II категории) при 20°C не должна превышать 3 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

## Глава 11. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

В химическом составе природных вод принято выделять следующие группы:

1. Главные ионы, определяющие в основном величину минерализации воды: анионы хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные, карбонатные, катионы натрия, калия, магния и кальция;
2. Биогенные вещества: нитраты, нитриты, аммоний, фосфаты, кремний, железо, а также органические соединения азота и фосфора;
3. Органические вещества – комплекс истинно растворенных и коллоидных органических соединений, общее содержание которых определяется по органическому углероду или по косвенным характеристикам: цветности, биохроматной и перманганатной окисляемостям;
4. Растворенные газы (кислород, углекислый газ, сероводород и др.)
5. Микроэлементы – элементы, содержащиеся в природных водах в очень малых концентрациях, в микрограммах на литр (мкг/л); среди них различают: типичные катионы ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Pb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  и др.); алефотерные комплексообразователи (Cr, Mo, V, Mn), типичные анионы ( $\text{Br}^-$ , J, F<sup>-</sup>, B<sup>-</sup>); радиоактивные элементы.

Первая группа веществ была рассмотрена в предыдущей части пособия, об органических веществах речь пойдет в следующей главе. Рассмотрим существующие классификации неорганических веществ.

### 11.1. Классификация химических элементов

Минеральный состав современных организмов складывался под воздействием двух процессов. С одной стороны, это эволюция состава гидро- и литосферы, характеризующаяся постоянным сдвигом соотношения химических элементов из-за выщелачивания, вулканической деятельности. С другой стороны, это “необходимое” для организма генетическое контролирование уже имеющихся внутри него на том или ином этапе соотношений, ведь, по словам знаменитого К.Бернара, “постоянство внутренней среды – необходимое условие свободной жизни организма”. История взаимоотношений среда – организм ис-

полнена драматизма. Лишь изучив прошлое организмов, их эволюцию и адаптацию к меняющейся геохимической среде обитания, вымирание и расцвет отдельных видов, родов и семейств растений и животных, мы сможем грамотно ориентироваться в настоящем, решать актуальные проблемы медицины, экологии и проблемы, сопряженные с ними.

В настоящее время есть множество классификаций элементов по их отношению к живым организмам – деление на биогенные и абиогенные, на макро-, микро- и, а теперь уже и ультрамикроэлементы, на ятрогенные (т.е. вроде бы и нужные, но вредящие), эссенциальные (жизненно важные) и условно эссенциальные, на токсичные и условно токсичные.

Общее число элементов, определяемых как жизненно важные, варьирует у разных авторов в весьма широких пределах. Например, один из классиков биохимии А.Ленинджер полагает, что таковых лишь 22 (табл.11.1), да и то, с его точки зрения, только 16 из них (выделенные в таблице курсивом) встречаются во всех классах организмов.

*Таблица 11.1*

**Жизненно важные элементы, входящие в состав организмов**

Элементы, входящие в состав органических веществ	Одноатомные ионы	Элементы, обнаруживаемые в следовых количествах	
Кислород Углерод Азот Водород Фосфор Сера	Натрий Калий Магний Кальций Хлор –	Марганец Железо Кобальт Медь Цинк Бор	Алюминий Ванадий Молибден Йод Кремний –

Согласно классификации П.Аггетта к четырем органогенам (кислород, углерод, водород и азот) и семи макроэлементам (фосфор, сера, натрий, калий, магний, кальций, хлор) как важнейшим эссенциальным элементам следует добавить еще девять: железо, медь, цинк, марганец, хром, селен, молибден, йод, кобальт. Всего жизненно важных элементов – 20.

Один из выдающихся специалистов по микроэлементам В.Мерц

предлагает к 11 органогенам и макроэлементам (о количественном и качественном составе этой группы, по сути, никто не спорит) добавить следующие элементы, избыток или дефицит которых имеет значение для здоровья человека: железо, медь, цинк, хром, селен, молибден, йод, кадмий, свинец и ртуть. Таким образом, всего получается 21, но состав группы другой.

Согласно более широкой трактовке, предлагаемой Анке, к эссенциальным микроэлементам наряду с “классическими” эссенциальными элементами Аггетта следует отнести “новые” эссенциальные: фтор, кремний, олово, ванадий, никель, мышьяк, кадмий, литий, свинец. Всего их будет 29.

*Брэйн-элементы.* Имеется целая группа элементов с неизведанными функциями. С достаточно большой степенью осторожности можно говорить об их взаимосвязи с интеллектуальными возможностями человека.

Прежде всего, обращает на себя внимание их относительно высокая концентрация в головном мозге человека, органе, который является одним из наиболее оберегаемых в организме. Так, необъяснимо относительно высокое содержание в головном мозге золота (2,54 мкмоль/кг сухой массы), таллия (2,44 мкмоль/кг, тогда как в других органах – не более 1,96 мкмоль/кг), олова (16 мкмоль/кг, что на порядок превышает его содержание в других органах) и некоторых других элементов.

*Элементы нейтральные и агрессивные.* Существует также классификация абиогенных элементов на агрессивные, нейтральные и элементы-конкуренты.

В таблице 11.2 приводятся обобщенные данные относительно эволюционно-генетического подхода к изучению спектра химических элементов, участвующих в метаболизме человека и высших млекопитающих, в частности, данные о том, на каких этапах развития живого вещества те или иные элементы в него включались и занимали главенствующее или второстепенное положение.

Таблица 11.2

## Биогенная классификация химических элементов

Тип	Группа	Название	Примечание
Биогенные	Первозлементы	Водород, углерод, кислород, азот  Фосфор, сера	Каркасные элементы органических молекул, возникших еще в докембрии. Составляющие большинства аминокислот  Непременные участники белковых молекул, ДНК и РНК. Создатели первичной, доклеточной жизни
	Макроэлементы	Калий, натрий, кальций, магний, хлор, кремний.	Элементы буферной системы первых одноклеточных организмов и клеточного потенциала. Первые элементы скелетного аппарата простейших организмов
	Эссенциальные микроэлементы	Железо, медь, цинк, марганец, хром, селен, молибден, йод, кобальт, фтор.	Включились в метаболизм с возникновением кровеносной системы. Участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Составляющие коферментов организма
	Условно эссенциальные микроэлементы	Мышьяк, бром, литий, никель, ванадий, кадмий, свинец.	Узкоспециализированная группа элементов, "работающая" не у всех видов организмов. Некоторые входят в состав коферментов
	Брэйи-элементы	(Золото, олово, таллий, теллур, германий, галлий)	Предположительно, участвуют в проводимости импульсов головного мозга млекопитающих. Очевидно, включились в метаболизм в четвертичном периоде
Абиогенные	Нейтральные	Алюминий, титан, рубидий	Не заняли своего места в метаболизме животных из-за слабой реакционной способности, несмотря на широкую распространенность в литосфере
	Конкуренты	Барий, стронций, цезий	Участвовали в метаболизме морских форм организмов, что и определило их дальнейшую конкуренцию в метаболизме сухопутных видов (ведущую к патологии)
	Агрессивные	Ртуть, бериллий, осмий, висмут	Элементы поздней вулканической деятельности. В связи с тем, что не нашли места в метаболизме организмов, вредны в малых дозах

## 11.2. Макроэлементы

*Углерод. Диоксид углерода* содержится в воде в основном в виде растворенных молекул  $\text{CO}_2$ , и лишь малая часть его (около 1 %) при взаимодействии с водой образует угольную кислоту. Главным источником поступления оксида углерода в природные воды являются процессы биохимического распада органических остатков, окисления органических веществ, дыхания водных организмов. Уменьшение содержания диоксида углерода в воде происходит также в результате его выделения в атмосферу.

Концентрация диоксида углерода в природных водах колеблется от нескольких десятых долей до 3–4 мг/дм<sup>3</sup>, изредка достигая величины 10–20 мг/дм<sup>3</sup>.

Обычно весной и летом содержание диоксида углерода в воде понижается, а в осенне-зимний период увеличивается, достигая максимума в конце зимы. Диоксид углерода имеет исключительно важное значение для растительных организмов (как источник углерода). В то же время повышенные концентрации  $\text{CO}_2$  угнетающе действуют на животные организмы. При высоких концентрациях  $\text{CO}_2$  воды становятся агрессивными по отношению к металлам и бетону в результате образования растворимых гидрокарбонатов, нарушающих структуру этих материалов.

*Сера. Сероводород и сульфиды.* Обычно в водах сероводород не содержится или же присутствует в незначительных количествах в придонных слоях, главным образом в зимний период, когда затруднена аэрация и ветровое перемешивание водных масс. Иногда сероводород появляется в заметных количествах в придонных слоях водоемов и в летнее время в периоды интенсивного биохимического окисления органических веществ. Наличие сероводорода в водах служит показателем сильного загрязнения водоема органическими веществами.

Сероводород в природных водах находится в виде недиссоциированных молекул  $\text{H}_2\text{S}$ , ионов гидросульфида  $\text{HS}^-$  и весьма редко - ионов сульфида  $\text{S}^{2-}$ . Соотношение между концентрациями этих форм определяется значениями pH воды: при  $\text{pH} < 10$  содержанием ионов сульфида можно пренебречь, при  $\text{pH} 7$  содержание  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{HS}^-$  примерно одинаково, при  $\text{pH} 4$  сероводород почти полностью (99,8 %) находится в молекулярной форме.

Главным источником сероводорода и сульфидов в поверхностных водах являются восстановительные процессы, протекающие при бактериальном разложении и биохимическом окислении органических веществ естественного происхождения, и веществ, поступающих в водоем со сточными водами (хозяйственно-бытовыми, предприятий пищевой, металлургической, химической промышленности, производства сульфатной целлюлозы (0,01–0,014 мг/дм<sup>3</sup>) и др.).

Особенно интенсивно процессы восстановления происходят в подземных водах и придонных слоях водоемов в условиях слабого перемешивания и дефицита кислорода. Значительные количества сероводорода и сульфидов могут поступать со сточными водами нефтеперерабатывающих заводов, с городскими сточными водами, водами производств минеральных удобрений.

Концентрация сероводорода в водах быстро уменьшается за счет окисления кислородом, растворенным в воде, и микробиологических процессов (тионовыми, бесцветными и окрашенными серными бактериями). В процессе окисления сероводорода образуются сера и сульфаты. Интенсивность процессов окисления сероводорода может достигать 0,5 г сероводорода на 1 дм<sup>3</sup> в сутки.

Причиной ограничения концентраций в воде является высокая токсичность сероводорода, а также неприятный запах, который резко ухудшает органолептические свойства воды, делая ее непригодной для питьевого водоснабжения и других технических и хозяйственных целей. Появление сероводорода в придонных слоях служит признаком острого дефицита кислорода и развития заморных явлений.

Для водоемов санитарно-бытового и рыбохозяйственного пользования наличие сероводорода и сульфидов недопустимо.

*Сульфаты.* Сульфаты присутствуют практически во всех поверхностных водах и являются одними из важнейших анионов.

Главным источником сульфатов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, в основном гипса, а также окисления сульфидов и серы.

Значительные количества сульфатов поступают в водоемы в процессе отмирания организмов, окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения и с подземным стоком.

В больших количествах сульфаты содержатся в шахтных водах

и в промышленных стоках производств, в которых используется серная кислота, например, окисление пирита. Сульфаты выносятся также со сточными водами коммунального хозяйства и сельскохозяйственного производства.

Ионная форма  $\text{SO}_4^{2-}$  характерна только для маломинерализованных вод. При увеличении минерализации сульфатные ионы склонны к образованию устойчивых ассоциированных нейтральных пар типа  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ .

Содержание сульфатных ионов в растворе ограничивается сравнительно малой растворимостью сульфата кальция (произведение растворимости сульфата кальция  $L=6,1 \cdot 10^{-5}$ ). При низких концентрациях кальция, а также в присутствии посторонних солей концентрация сульфатов может значительно повышаться.

Сульфаты активно участвуют в сложном круговороте серы. При отсутствии кислорода под действием сульфатредуцирующих бактерий они восстанавливаются до сероводорода и сульфидов, которые при появлении в природной воде кислорода снова окисляются до сульфатов. Растения и другие автотрофные организмы извлекают растворенные в воде сульфаты для построения белкового вещества. После отмирания живых клеток гетеротрофные бактерии освобождают серу протеинов в виде сероводорода, легко окисляемого до сульфатов в присутствии кислорода.

Концентрация сульфата в природной воде лежит в широких пределах. В речных водах и в водах пресных озер содержание сульфатов часто колеблется от 5–10 до 60 мг/дм<sup>3</sup>, в дождевых водах – от 1 до 10 мг/дм<sup>3</sup>. В подземных водах содержание сульфатов нередко достигает значительно больших величин.

Концентрация сульфатов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям и обычно коррелирует с изменением общей минерализации воды. Важнейшим фактором, определяющим режим сульфатов, являются меняющиеся соотношения между поверхностным и подземным стоками. Заметное влияние оказывают окислительно-восстановительные процессы, биологическая обстановка в водном объекте и хозяйственная деятельность человека.

Повышенные содержания сульфатов ухудшают органолептические свойства воды и оказывают физиологическое воздействие на организм человека. Поскольку сульфат обладает слабительными свойствами, его предельно допустимая концентрация строго регламентиру-

ется нормативными актами. Весьма жесткие требования по содержанию сульфатов предъявляются к водам, питающим паросиловые установки, поскольку сульфаты в присутствии кальция образуют прочную накипь. Вкусовой порог сульфата магния лежит в пределах от 400 до 600 мг/дм<sup>3</sup>, для сульфата кальция – от 250 до 800 мг/дм<sup>3</sup>. Наличие сульфата в промышленной и питьевой воде может быть как полезным, так и вредным.

ПДК<sub>в</sub> сульфатов составляет 500 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Не замечено, чтобы сульфат в питьевой воде влиял на процессы коррозии, но при использовании свинцовых труб концентрация сульфатов выше 200 мг/дм<sup>3</sup> может привести к вымыванию в воду свинца.

*Сероуглерод.* Сероуглерод представляет собой прозрачную летучую жидкость с резким запахом, которая может в больших количествах попадать в открытые водоемы со сточными водами комбинатов вискозного шелка, заводов искусственной кожи и ряда других производств.

При содержании сероуглерода в количестве 30–40 мг/дм<sup>3</sup> наблюдается угнетающее влияние на развитие сапрофитной микрофлоры. Максимальная концентрация, не оказывающая токсического действия на рыб, составляет 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Сероуглерод является политропным ядом, вызывающим острые и хронические интоксикации, поражает центральную и периферическую нервную систему, вызывает нарушения сердечно-сосудистой системы. Сероуглерод оказывает поражающее действие на органы желудочно-кишечного тракта и нарушает обмен витамина В<sub>6</sub> и никотиновой кислоты.

ПДК<sub>в</sub> – 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Хлор.* Хлор, присутствующий в воде в виде хлорноватистой кислоты или иона гипохлорита, принято называть свободным хлором. Хлор, существующий в виде хлораминов (моно- и ди-), а также в виде треххлористого азота, называют связанным хлором. Общий хлор – это сумма свободного и связанного хлора.

Свободный хлор достаточно часто применяют для дезинфекции питьевой и сточной воды. В промышленности хлор используют при отбеливании в бумажном производстве, производстве ваты, для уничтожения паразитов в холодильных установках и т.д.

Активный хлор должен отсутствовать в воде водоемов, лимитирующий показатель вредности общесанитарный.

*Хлориды.* В речных водах и водах пресных озер содержание хлоридов колеблется от долей миллиграмма до десятков, сотен, а иногда и тысяч миллиграммов на литр. В морских и подземных водах содержание хлоридов значительно выше – вплоть до пересыщенных растворов и рассолов.

Хлориды являются преобладающим анионом в высокоминерализованных водах. Концентрация хлоридов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям, коррелирующим с изменением общей минерализации воды.

Первичными источниками хлоридов являются магматические породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы (содалит, хлорапатит и др.), соленосные отложения, в основном галит. Значительные количества хлоридов поступают в воду в результате обмена с океаном через атмосферу, взаимодействия атмосферных осадков с почвами, особенно засоленными, а также при вулканических выбросах. Возрастающее значение приобретают промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды.

В отличие от сульфатных и карбонатных ионов хлориды не склонны к образованию ассоциированных ионных пар. Из всех анионов хлориды обладают наибольшей миграционной способностью, что объясняется их хорошей растворимостью, слабо выраженной способностью к сорбции взвешенными веществами и потреблением водными организмами. Повышенные содержания хлоридов ухудшают вкусовые качества воды, делают ее малоприспособленной для питьевого водоснабжения и ограничивают применение для многих технических и хозяйственных целей, а также для орошения сельскохозяйственных угодий. Если в питьевой воде есть ионы натрия, то концентрация хлорида выше 250 мг/дм<sup>3</sup> придает воде соленый вкус. Концентрации хлоридов и их колебания, в том числе суточные, могут служить одним из критериев загрязненности водоема хозяйственно-бытовыми стоками.

Нет данных о том, что высокие концентрации хлоридов оказывают вредное влияние на человека. ПДК<sub>в</sub> составляет 350 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 300 мг/дм<sup>3</sup>.

*Бром.* Источником поступления бромидов могут быть грунтовые или подземные воды либо сточные воды предприятий химической промышленности. Бромиды щелочных и щелочноземельных металлов

(NaBr, KBr, MgBr<sub>2</sub>) встречаются в морской воде (0,065 % Br), рапе соляных озер (до 0,2 % Br) и подземных рассолах, обычно связанных с соляными и нефтяными месторождениями (до 0,1 % Br). Содержание брома в подземных водах увеличивается с ростом минерализации.

Пресные воды отличаются, как правило, наиболее низкими количествами брома, колеблющимися от 0,001 до 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Сравнительно много брома в водах минеральных источников (до 10–50 мг/дм<sup>3</sup>).

ПДК<sub>в</sub> бромид-иона составляет 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический). *Азот общий*. Под общим азотом понимают сумму минерального и органического азота в природных водах.

Азотсодержащие соединения находятся в поверхностных водах в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии и могут под влиянием многих физико-химических и биохимических факторов переходить из одного состояния в другое.

Средняя концентрация общего азота в природных водах колеблется в значительных пределах и зависит от трофности водного объекта: для олиготрофных изменяется обычно в пределах 0,3–0,7 мг/дм<sup>3</sup>, для мезотрофных – 0,7–1,3 мг/дм<sup>3</sup>, для эвтрофных – 0,8–2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

*Сумма минерального азота*. Сумма минерального азота – это сумма аммонийного, нитратного и нитритного азота.

Повышение концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее загрязнение, в то время как увеличение содержания нитратов – на загрязнение в предшествующее время. Все формы азота, включая и газообразную, способны к взаимным превращениям.

*Аммиак*. В природной воде аммиак образуется при разложении азотсодержащих органических веществ. Хорошо растворим в воде с образованием гидроксида аммония.

ПДК<sub>в</sub> аммиака составляет 2,0 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Аммоний*. Содержание ионов аммония в природных водах варьирует в интервале от 10 до 200 мкг/дм<sup>3</sup> в пересчете на азот. Присутствие в незагрязненных поверхностных водах ионов аммония связано главным образом с процессами биохимической дегградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложения мочевины под действием уреазы. Основными источниками поступления ионов аммония в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяй-

ственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности. В стоках промышленных предприятий содержится до 1 мг/дм<sup>3</sup> аммония, в бытовых стоках – 2–7 мг/дм<sup>3</sup>; с хозяйственно-бытовыми сточными водами в канализационные системы ежедневно поступает до 10 г аммонийного азота (на одного жителя).

При переходе от олиготрофных к мезо- и эвтрофным водоемам возрастают как абсолютная концентрация ионов аммония, так и их доля в общем балансе связанного азота (табл. 11.3.).

*Таблица 11.3.*

**Содержание аммония в водоемах с различной степенью загрязненности**

Степень загрязнения (классы водоемов)	Аммонийный азот, мг/дм <sup>3</sup>
Очень чистые	0,05
Чистые	0,1
Умеренно загрязненные	0,2–0,3
Загрязненные	0,4–1,0
Грязные	1,1–3,0
Очень грязные	>3,0

Концентрация аммония в питьевой воде не должна превышать 2 мг/дм<sup>3</sup> по азоту. ПДК<sub>вр</sub> солевого аммония составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup> по азоту (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

Присутствие аммония в концентрациях порядка 1 мг/дм<sup>3</sup> снижает способность гемоглобина рыб связывать кислород. Признаки интоксикации – возбуждение, судороги, рыба мечется по воде и выпрыгивает на поверхность. Механизм токсического действия – возбуждение центральной нервной системы, поражение жаберного эпителия, гемолиз (разрыв) эритроцитов. Токсичность аммония возрастает с повышением рН среды.

Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесса загрязнения поверхностных и подземных вод, в первую очередь, бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

*Нитраты.* Присутствие нитратных ионов в природных водах связано с:

- внутриводоемными процессами нитрификации аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий;
- атмосферными осадками, которые поглощают образующиеся при атмосферных электрических разрядах оксиды азота (концентрация нитратов в атмосферных осадках достигает 0,9 – 1 мг/дм<sup>3</sup>);
- промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, особенно после биологической очистки, когда концентрация достигает 50 мг/дм<sup>3</sup>;
- стоком с сельскохозяйственных угодий и со сбросными водами с орошаемых полей, на которых применяются азотные удобрения.

Главными процессами, направленными на понижение концентрации нитратов, являются потребление их фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление органических веществ.

В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме. Концентрация нитратов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям: минимальная в вегетационный период, она увеличивается осенью и достигает максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта.

В незагрязненных поверхностных водах концентрация нитрат-ионов не превышает величины порядка десятков микрограммов в 1 дм<sup>3</sup> (в пересчете на азот). С нарастанием эвтрофикации абсолютная концентрация нитратного азота и его доля в сумме минерального азота возрастают, достигая  $n \cdot 10^{-1}$  мг/дм<sup>3</sup>. В незагрязненных подземных водах содержание нитратных ионов обычно выражается сотыми, десятными долями миллиграмма и реже единицами миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>. Подземные водоносные горизонты в большей степени подвержены нитратному загрязнению, чем поверхностные водоемы (т.к. отсутствует потребитель нитратов).

При длительном употреблении питьевой воды и пищевых продуктов, содержащих значительные количества нитратов (от 25 до 100

мг/дм<sup>3</sup> по азоту), резко возрастает концентрация метгемоглобина в крови. Крайне тяжело протекают метгемоглобинемии у грудных детей (прежде всего, искусственно вскармливаемых молочными смесями, приготовленными на воде с повышенным – порядка 200 мг/дм<sup>3</sup> – содержанием нитратов) и у людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Особенно в этом случае опасны грунтовые воды и питаемые ими колодцы, поскольку в открытых водоемах нитраты частично потребляются водными растениями.

Присутствие нитрата аммония в концентрациях порядка 2 мг/дм<sup>3</sup> не вызывает нарушения биохимических процессов в водоеме; подпороговая концентрация этого вещества, не влияющая на санитарный режим водоема, 10 мг/дм<sup>3</sup>. Повреждающие концентрации соединений азота (в первую очередь, аммония) для различных видов рыб составляют величины порядка сотен миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup> воды.

В воздействии на человека различают первичную токсичность собственно нитрат-иона; вторичную, связанную с образованием нитрит-иона, и третичную, обусловленную образованием из нитритов и аминов нитрозаминов. Смертельная доза нитратов для человека составляет 8–15 г; допустимое суточное потребление по рекомендациям ФАО/ВОЗ – 5 мг/кг массы тела.

Наряду с описанными эффектами воздействия немаловажную роль играет тот факт, что азот – это один из первостепенных биогенных (необходимых для жизни) элементов. Именно этим обусловлено применение соединений азота в качестве удобрений, но, с другой стороны, с этим связан вклад вынесенного с сельскохозяйственных земель азота в развитие процессов эвтрофикации (неконтролируемого роста биомассы) водоемов. Так, с одного гектара орошаемых земель выносятся в водные системы 8–10 кг азота.

ПДК<sub>в</sub> нитратов составляет 45 мг/дм<sup>3</sup> (по NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (тождественно равен стандарту США для питьевой воды), ПДК<sub>вр</sub> – 40 мг/дм<sup>3</sup> (по NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) или 9,1 мг/дм<sup>3</sup> (по азоту).

*Нитриты.* Нитриты представляют собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов (нитрификация – только в аэробных условиях) и, напротив, восстановления нитратов до азота и аммиака (денитрификация – при недостатке кислорода). Подобные окислительно-восстановительные реакции характерны для станций аэрации, систем водоснабжения и собственно природных вод. Кроме того, нитриты используются в качестве

ингибиторов коррозии в процессах водоподготовки технологической воды и поэтому могут попасть и в системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Широко известно также применение нитритов для консервирования пищевых продуктов.

В поверхностных водах нитриты находятся в растворенном виде. В кислых водах могут присутствовать небольшие концентрации азотистой кислоты ( $\text{HNO}_2$ ) (не диссоциированной на ионы). Повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления  $\text{NO}_2^-$  в  $\text{NO}_3^-$ , что указывает на загрязнение водного объекта, т.е. является важным санитарным показателем.

Концентрация нитритов в поверхностных водах составляет сотые (иногда даже тысячные) доли миллиграмма в  $1 \text{ дм}^3$ ; в подземных водах концентрация нитритов обычно выше, особенно в верхних водоносных горизонтах (сотые, десятые доли миллиграмма в  $1 \text{ дм}^3$ ).

Сезонные колебания содержания нитритов характеризуются отсутствием их зимой и появлением весной при разложении неживого органического вещества. Наибольшая концентрация нитритов наблюдается в конце лета, их присутствие связано с активностью фитопланктона (установлена способность диатомовых и зеленых водорослей восстанавливать нитраты до нитритов). Осенью содержание нитритов уменьшается.

Одной из особенностей распределения нитритов по глубине водного объекта являются хорошо выраженные максимумы, обычно вблизи нижней границы термоклина и в гипolimнионе, где концентрация кислорода снижается наиболее резко.

Для нитритов ПДК<sub>в</sub> установлена в размере  $3,3 \text{ мг/дм}^3$  в виде иона  $\text{NO}_2^-$  или  $1 \text{ мг/дм}^3$  в пересчете на азот. ПДК<sub>вр</sub> –  $0,08 \text{ мг/дм}^3$  в виде иона  $\text{NO}_2^-$  или  $0,02 \text{ мг/дм}^3$  в пересчете на азот.

В соответствии с требованиями глобальной системы мониторинга состояния окружающей среды (ГСМОС/GEMS) нитрит- и нитрат-ионы входят в программы обязательных наблюдений за составом питьевой воды и являются важными показателями степени загрязнения и трофического статуса природных водоемов.

*Калий.* Калий важнейший внутриклеточный элемент-электролит и активатор функций ряда ферментов. Калий особенно необходим для "питания" клеток организма, деятельности мышц, в том числе миокарда, поддержания водно-солевого баланса организма, работы ней-

роэндокринной системы. Калий – один из главных компонентов химического состава природных вод. Источником его поступления в поверхностные воды являются геологические породы (полевошпатовые слюды) и растворимые соли. Различные растворимые соединения калия образуются также в результате биологических процессов, протекающих в коре выветривания и почвах. Для калия характерна склонность сорбироваться на высокодисперсных частицах почв, пород, донных отложений и задерживаться растениями в процессе их питания, роста. Это приводит к меньшей подвижности калия по сравнению с натрием, и поэтому калий находится в природных водах, особенно поверхностных, в более низкой концентрации, чем натрий.

В природные воды калий поступает также с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами, а также с водой, сбрасываемой с орошаемых полей, и с поверхностным водным стоком с сельскохозяйственных угодий.

Концентрация в речной воде обычно не превышает 18 мг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах колеблется от миллиграммов до граммов и десятков граммов в 1 дм<sup>3</sup>, что определяется составом водовмещающих пород, глубиной залегания подземных вод и другими условиями гидрогеологической обстановки. ПДК<sub>вр</sub> калия составляет 50 мг/дм<sup>3</sup>.

*Натрий.* Натрий – это макроэлемент-электролит, играющий важнейшую роль в водно-солевом обмене, регуляции нервной и мышечной деятельности, функции почек. Натрий является одним из главных компонентов химического состава природных вод, определяющих их тип.

Основным источником поступления натрия в поверхностные воды суши являются изверженные и осадочные породы и самородные растворимые хлористые, сернокислые и углекислые соли натрия. Большое значение имеют также биологические процессы, протекающие на водосборе, в результате которых образуются растворимые соединения натрия. Кроме того, натрий поступает в природные воды с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами и с водами, сбрасываемыми с орошаемых полей.

В поверхностных водах натрий мигрирует преимущественно в растворенном состоянии. Концентрация его в речных водах колеблется от 0,6 до 300 мг/дм<sup>3</sup> в зависимости от физико-географических условий и геологических особенностей бассейнов водных объектов. В подземных водах концентрация натрия колеблется в широких пределах –

от миллиграммов до граммов и десятков граммов в 1 дм<sup>3</sup>. Это определяется составом водовмещающих пород, глубиной залегания подземных вод и другими условиями гидрогеологической обстановки.

ПДК<sub>в</sub> натрия составляет 200 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 120 мг/дм<sup>3</sup>.

*Кальций.* Кальций – это макроэлемент, играющий важную роль в функционировании мышечной ткани, миокарда, нервной системы, кожи и, особенно, костной ткани при его дефиците. Главными источниками поступления кальция в поверхностные воды являются процессы химического выветривания и растворения минералов, прежде всего известняков, доломитов, гипса, кальцийсодержащих силикатов и других осадочных и метаморфических пород. Растворению способствуют микробиологические процессы разложения органических веществ, сопровождающиеся понижением рН.

Большие количества кальция выносятся со сточными водами силикатной, металлургической, стекольной, химической промышленности и со стоками сельскохозяйственных угодий, особенно при использовании кальцийсодержащих минеральных удобрений.

В речных водах содержание кальция редко превышает 1 г/дм<sup>3</sup>. Обычно же его концентрации значительно ниже. Концентрация кальция в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям. В период понижения минерализации (весной) ионам кальция принадлежит преобладающая роль, что связано с легкостью выщелачивания растворимых солей кальция из поверхностного слоя почв и пород. ПДК<sub>вр</sub> кальция составляет 180 мг/дм<sup>3</sup>.

*Магний.* В поверхностные воды магний поступает в основном за счет процессов химического выветривания и растворения доломитов, мергелей и других минералов. Значительные количества магния могут поступать в водные объекты со сточными водами металлургических, силикатных, текстильных и других предприятий. В речных водах содержание магния обычно колеблется от нескольких единиц до десятков миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Содержание магния в поверхностных водах подвержено заметным колебаниям: как правило, максимальные концентрации наблюдаются в меженный период, минимальные – в период половодья. ПДК<sub>вр</sub> ионов Mg<sup>2+</sup> составляет 40 мг/дм<sup>3</sup>.

*Фосфор общий.* Под общим фосфором понимают сумму минерального и органического фосфора.

Так же, как и для азота, обмен фосфором между его минераль-

ными и органическими формами с одной стороны, и живыми организмами – с другой, является основным фактором, определяющим его концентрацию (табл. 11.4).

Таблица 11.4.

**Формы фосфора в природных водах**

Химические формы Р	Общий	Фильтруемый (растворенный)	Частицы
Общий	Общий растворенный и взвешенный фосфор	Общий растворенный фосфор	Общий фосфор в частицах
Ортофосфаты	Общий растворенный и взвешенный фосфор	Растворенные ортофосфаты	Ортофосфаты в частицах
Гидролизирuемые кислотой фосфаты	Общие растворенные и взвешенные гидролизирuемые кислотой фосфаты	Растворенные гидролизирuемые слотой фосфаты	Гидролизирuемые кислотой фосфаты в частицах
Органический фосфор	Общий растворенный и взвешенный органический фосфор	Растворенный органический фосфор	Органический фосфор в частицах

Концентрация общего растворенного фосфора (минерального и органического) в незагрязненных природных водах изменяется от 5 до 200 мкг/дм<sup>3</sup> Фосфор – важнейший биогенный элемент, чаще всего лимитирующий развитие продуктивности водоемов. Поэтому поступление избытка соединений фосфора с водосбора в виде минеральных удобрений с поверхностным стоком с полей (с гектара орошаемых земель выносятся 0,4–0,6 кг фосфора), со стоками с ферм (0,01–0,05 кг/сут. на одно животное), с недоочищенными или неочищенными бытовыми сточными водами (0,003–0,006 кг/сут. на одного жителя), а также с некоторыми производственными отходами приводит к резкому неконтролируемому приросту растительной биомассы водного объекта (это особенно характерно для непроточных и малопроточных водоемов). Происходит так называемое изменение трофического статуса водоема, сопровождающееся перестройкой всего водного сообщества и ведущее к преобладанию гнилостных процессов (и, соответ-

ственно, возрастанию мутности, солености, концентрации бактерий).

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

В соответствии с требованиями глобальной системы мониторинга состояния окружающей среды (ГСМОС/GEMS) в программы обязательных наблюдений за составом природных вод включено определение содержания общего фосфора (растворенного и взвешенного, в виде органических и минеральных соединений). Фосфор является важнейшим показателем трофического статуса природных водоемов.

*Фосфор органический.* В этом разделе не рассматриваются синтезированные в промышленности фосфорорганические соединения. Природные соединения органического фосфора поступают в природные воды в результате процессов жизнедеятельности и посмертного распада водных организмов, обмена с донными отложениями.

Органические соединения фосфора присутствуют в поверхностных водах в растворенном, взвешенном и коллоидном состоянии.

*Фосфор минеральный.* Соединения минерального фосфора поступают в природные воды в результате выветривания и растворения пород, содержащих ортофосфаты (апатиты и фосфориты) и поступления с поверхности водосбора в виде орто-, мета-, пиро- и полифосфатионов (удобрения, синтетические моющие средства, добавки, предупреждающие образование накипи в котлах, и т.п.), а также образуются при биологической переработке остатков животных и растительных организмов. Избыточное содержание фосфатов в воде, особенно в грунтовой, может быть отражением присутствия в водном объекте примесей удобрений, компонентов хозяйственно-бытовых сточных вод, разлагающейся биомассы.

Основной формой неорганического фосфора при значениях pH водоема больше 6,5 является ион  $\text{HPO}_4^{2-}$  (около 90 %). В кислых водах неорганический фосфор присутствует преимущественно в виде  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$

Концентрация фосфатов в природных водах обычно очень мала,

и составляет сотые, редко десятые доли миллиграммов фосфора в 1 дм<sup>3</sup>, в загрязненных водах она может достигать нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>. Подземные воды содержат обычно не более 100 мкг/дм<sup>3</sup> фосфатов; исключение составляют воды в районах залегания фосфорсодержащих пород.

Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, поскольку оно зависит от соотношения интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического окисления органических веществ. Минимальные концентрации фосфатов в поверхностных водах наблюдаются обычно весной и летом, максимальные – осенью и зимой, в морских водах – соответственно весной и осенью, летом и зимой.

Общее токсическое действие солей фосфорной кислоты возможно лишь при весьма высоких дозах и чаще всего обусловлено примесями фтора.

В методике оценки экологической ситуации, принятой Госкомэкологией РФ, рекомендован норматив содержания растворимых фосфатов в воде – 50 мкг/дм<sup>3</sup>.

*Кремний.* Кремний является постоянным компонентом химического состава природных вод. Этому способствует в отличие от других компонентов повсеместная распространенность соединений кремния в горных породах, и только малая растворимость последних объясняет малое содержание кремния в воде.

Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнийсодержащих минералов, например алюмосиликатов.

Значительные количества кремния поступают в природные воды в процессе отмирания наземных и водных растительных организмов, с атмосферными осадками, а также со сточными водами предприятий, производящих керамические, цементные, стекольные изделия, силикатные краски, вяжущие материалы, кремнийорганический каучук и т.д.

Концентрация кремния в речных водах колеблется обычно от 1 до 20 мг/дм<sup>3</sup>; в подземных водах его концентрация возрастает от 20 до 30 мг/дм<sup>3</sup>, а в горячих термальных водах содержание кремния может достигать сотен миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Сравнительно малое содержание кремния в поверхностных водах, уступающее растворимости диоксида кремния (125 мг/дм<sup>3</sup> при

26°C, 170 мг/дм<sup>3</sup> при 38°C), указывает на наличие в воде процессов, уменьшающих его концентрацию. К ним надо отнести потребление кремния водными организмами, многие из которых, например диатомовые водоросли, строят свой скелет из кремния.

Неустойчивости кремния в растворе способствует и склонность кремниевой кислоты при определенных условиях переходить в гель.

Режим кремния в поверхностных водах до некоторой степени сходен с режимом соединений азота и фосфора, однако кремний никогда не лимитирует развитие растительности.

ПДК<sub>в</sub> кремния равна 10 мг/дм<sup>3</sup>.

### 11.3. Микроэлементы в природных водах

*Железо.* Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

Фазовые равновесия зависят от химического состава вод, pH, Eh и в некоторой степени от температуры. В рутинном анализе во взвешенную форму выделяют частицы с размером более 0,45 мкм. Она представлена преимущественно железосодержащими минералами, гидратом оксида железа и соединениями железа, сорбированными на взвесьях. Истинно растворенную и коллоидную форму обычно рассматривают совместно. Растворенное железо представлено соединениями, находящимися в ионной форме, в виде гидроксокомплексов и комплексов с растворенными неорганическими и органическими веществами природных вод. В ионной форме мигрирует главным образом Fe(II), а Fe(III) в отсутствие комплексообразующих веществ не может в значительных количествах находиться в растворенном состоянии.

Содержание железа в поверхностных водах суши составляет десятые доли миллиграмма в 1 дм<sup>3</sup>, вблизи болот – единицы милли-

граммов в 1 дм<sup>3</sup>. Повышенное содержание железа наблюдается в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот – гуматами. Наибольшие концентрации железа (до нескольких десятков и сотен миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>) наблюдаются в подземных водах с низкими значениями рН.

Являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоеме.

Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Осенне-весеннее перемешивание водных масс (гомותרмия) сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде Fe(OH)<sub>3</sub>.

Содержание железа в воде выше 1–2 мг Fe/дм<sup>3</sup> значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус, и делает воду малопригодной для использования в технических целях.

ПДК<sub>в</sub> железа составляет 0,3 мг Fe/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический). *Йод*. Рассеянный йод выщелачивается природными водами из магматических горных пород и концентрируется организмами, например водорослями. Йод концентрируется в почвах и илах. Важным источником йода в почвах и водах являются дождевые осадки, захватывающие йод из атмосферы, в которую он приносится ветром с моря.

Источниками поступления йода в поверхностные воды являются атмосферные осадки, воды нефтяных месторождений и сточные воды некоторых отраслей химической и фармацевтической промышленности.

В речных водах концентрация йода составляет 1–74 мкг/дм<sup>3</sup>, в атмосферных осадках 0–65 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах 0,1–3 мкг/дм<sup>3</sup>. Содержание йода учитывается при санитарной оценке природных вод.

ПДК не установлена.

С недостаточностью йода в пище связано тяжелое заболевание щитовидной железы у человека (эндемический зоб).

*Фтор*. В речные воды фтор поступает из пород и почв при разрушении фторсодержащих минералов (апатит, турмалин) с почвог-

рунтовыми водами и при непосредственном смыве поверхностными водами. Источником фтора также служат атмосферные осадки. Повышенное содержание фтора может быть в некоторых сточных водах предприятий стекольной и химической промышленности (производство фосфорных удобрений, стали, алюминия), в некоторых видах шахтных вод и в сточных водах рудообогатительных фабрик.

Миграционная способность фтора в природных водах в значительной степени зависит от содержания в них ионов кальция, дающих с ионами фтора малорастворимое соединение (произведение растворимости фторида кальция  $L = 4 \cdot 10^{-11}$ ). Большую роль играет режим углекислоты, которая растворяет карбонат кальция, переводя его в гидрокарбонат. Повышенные значения рН способствуют увеличению подвижности фтора.

Содержание фтора в речных водах колеблется от 0,05 до 1,9 мг/дм<sup>3</sup>, атмосферных осадках – от 0,05 до 0,54 мг/дм<sup>3</sup>, подземных водах – от 0,3 до 4,6 мг/дм<sup>3</sup>, иногда достигая насыщения по отношению к CaF<sub>2</sub>. В термальных водах концентрация фтора достигает в отдельных случаях 10 мг/дм<sup>3</sup>, в океанах фтора содержится до 1,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Фтор является устойчивым компонентом природных вод. Внутригодовые колебания концентрации фтора в речных водах невелики (обычно не более, чем в 2 раза). Фтор поступает в реки преимущественно с грунтовыми водами. Содержание фтора в паводковый период всегда ниже, чем в меженный, так как понижается доля грунтового питания.

Повышенные количества фтора в воде (более 1,5 мг/дм<sup>3</sup>) оказывают вредное действие на людей и животных, вызывая костное заболевание (флюороз). Содержание фтора в питьевой воде лимитируется. Однако очень низкое содержание фтора в питьевых водах (менее 0,01 мг/дм<sup>3</sup>) также вредно сказывается на здоровье, вызывая опасность заболевания кариесом зубов.

ПДК<sub>в</sub> фтора составляет 1,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Цинк.* Цинк попадает в природные воды в результате протекающих в природе процессов разрушения и растворения горных пород и минералов (сфалерит, цинкит, госларит, смитсонит, каламин), а также со сточными водами рудообогатительных фабрик и гальванических цехов, производств пергаментной бумаги, минеральных красок, вискозного волокна и др.

В воде цинк существует главным образом в ионной форме или в форме его минеральных и органических комплексов, иногда встречается в нерастворимых формах: в виде гидроксида, карбоната, сульфида и др.

В речных водах концентрация цинка обычно колеблется от 3 до 120 мкг/дм<sup>3</sup>, в морских – от 1,5 до 10 мкг/дм<sup>3</sup>. Содержание в рудных и особенно в шахтных водах с низкими значениями рН может быть значительным.

Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие организмов. В то же время многие соединения цинка токсичны, прежде всего его сульфат и хлорид.

ПДК<sub>в</sub> Zn<sup>2+</sup> составляет 1 мкг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – общесанитарный), ПДК<sub>вр</sub> Zn<sup>2+</sup> – 0,01 мкг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Медь.* Медь – один из важнейших микроэлементов. Физиологическая активность меди связана главным образом с включением ее в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов. Недостаточное содержание меди в почвах отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов и способствует бесплодию растительных организмов. Медь участвует в процессе фотосинтеза и влияет на усвоение азота растениями. Вместе с тем избыточные концентрации меди оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы.

Содержание меди в природных пресных водах колеблется от 2 до 30 мкг/дм<sup>3</sup>, в морских водах – от 0,5 до 3,5 мкг/дм<sup>3</sup>. Повышенные концентрации меди (до нескольких граммов в 1 дм<sup>3</sup>) характерны для кислых рудничных вод.

В природных водах наиболее часто встречаются соединения Cu(II). Из соединений Cu(I) наиболее распространены труднорастворимые в воде Cu<sub>2</sub>O, Cu<sub>2</sub>S, CuCl. При наличии в водной среде лигандов наряду с равновесием диссоциации гидроксида необходимо учитывать образование различных комплексных форм, находящихся в равновесии с акваионами металла.

Основным источником поступления меди в природные воды являются сточные воды предприятий химической, металлургической промышленности, шахтные воды, альдегидные реагенты, используемые для уничтожения водорослей. Медь может появляться в результате коррозии медных трубопроводов и других сооружений, используе-

мых в системах водоснабжения. В подземных водах присутствие меди обусловлено взаимодействием воды с медьсодержащими горными породами (халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит, хризаколла, бротантин).

Для меди ПДК<sub>в</sub> (по иону меди) установлена 1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Кобальт.* В природные воды соединения кобальта попадают в результате процессов выщелачивания их из медноколчедановых и других руд, из почв при разложении организмов и растений, а также со сточными водами металлургических, металлообрабатывающих и химических заводов. Некоторые количества кобальта поступают из почв в результате разложения растительных и животных организмов.

Соединения кобальта в природных водах находятся в растворенном и взвешенном состоянии, количественное соотношение между которыми определяется химическим составом воды, температурой и значениями рН. Растворенные формы представлены в основном комплексными соединениями, в том числе с органическими веществами природных вод. Соединения двухвалентного кобальта наиболее характерны для поверхностных вод. В присутствии окислителей возможно существование в заметных концентрациях трехвалентного кобальта.

Кобальт относится к числу биологически активных элементов и всегда содержится в организме животных и в растениях. С недостаточным содержанием его в почвах связано недостаточное содержание кобальта в растениях, что способствует развитию малокровия у животных (таежно-лесная нечерноземная зона). Входя в состав витамина В<sub>12</sub>, кобальт весьма активно влияет на поступление азотистых веществ, увеличение содержания хлорофилла и аскорбиновой кислоты, активизирует биосинтез и повышает содержание белкового азота в растениях. Вместе с тем повышенные концентрации соединений кобальта являются токсичными.

В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах его содержание колеблется от десятых до тысячных долей миллиграмма в 1 дм<sup>3</sup>, среднее содержание в морской воде 0,5 мкг/дм<sup>3</sup>.

ПДК<sub>в</sub> кобальта составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический). *Свинец.*

Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения эндогенных (галенит) и экзогенных (англезит, церуссит и др.) минералов. Значительное повышение содержания свинца в окружающей среде (в т.ч. и в поверхностных водах) связано с сжиганием углей, с применением тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе, с выносом в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т.д. Существенными факторами понижения концентрации свинца в воде является адсорбция его взвешенными веществами и осаждение с ними в донные отложения. В числе других металлов свинец извлекается и накапливается гидробионтами.

Свинец находится в природных водах в растворенном и взвешенном (сорбированном) состоянии. В растворенной форме встречается в виде минеральных и органоминеральных комплексов, а также простых ионов, в нерастворимой – главным образом в виде сульфидов, сульфатов и карбонатов.

В речных водах концентрация свинца колеблется от десятых долей до единиц микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>. Даже в воде водных объектов, прилегающих к районам полиметаллических руд, концентрация его редко достигает десятков миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>. Лишь в хлоридных термальных водах концентрация свинца иногда достигает нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Свинец – промышленный яд, способный при неблагоприятных условиях оказаться причиной отравления. В организм человека проникает главным образом через органы дыхания и пищеварения. Удаляется из организма очень медленно, вследствие чего накапливается в костях, печени и почках.

ПДК<sub>в</sub> свинца составляет 0,03 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический). Органических соединений свинца в воде быть не должно.

*Кадмий.* К основным антропогенным источникам поступления кадмия в окружающую среду относятся горнорудные и металлургические предприятия, а также сточные воды.

Растворенные формы кадмия в природных водах представляют собой главным образом минеральные и органо-минеральные комплексы. Основной взвешенной формой кадмия являются его сорбирован-

ные соединения. Значительная часть кадмия может мигрировать в составе клеток гидробионтов.

В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах кадмий содержится в субмикrogramмовых концентрациях, в загрязненных и сточных водах концентрация кадмия может достигать десятков микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Соединения кадмия играют важную роль в процессе жизнедеятельности животных и человека. В повышенных концентрациях токсичен, особенно в сочетании с другими токсичными веществами.

ПДК<sub>в</sub> кадмия составляет 0,001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,0005 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Алюминий.* К источникам поступления алюминия в природные воды можно отнести:

- частичное растворение глин и алюмосиликатов;
- атмосферные осадки;
- сточные воды различных производств.

В природных водах алюминий присутствует в ионной, коллоидной и взвешенной формах. Миграционная способность невысокая. Образует довольно устойчивые комплексы, в том числе органоминеральные, находящиеся в воде в растворенном или коллоидном состоянии.

Одним из распространенных соединений алюминия является боксит Al(OH)<sub>3</sub>. Растворимость его является функцией pH. При значениях pH < 4,5 в растворе преобладают ионы Al<sup>3+</sup>, при pH 5–6 в растворе преобладают ионы Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, при pH > 7 в растворе преобладают ионы Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Концентрация алюминия в поверхностных водах обычно колеблется в пределах n·10<sup>-2</sup>-n·10<sup>-1</sup> мг/дм<sup>3</sup>, в некоторых кислых водах иногда достигает нескольких граммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Ионы алюминия обладают токсичностью по отношению к многим видам водных живых организмов и человеку.

ПДК<sub>в</sub> алюминия составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Мышьяк.* В природные воды мышьяк поступает из минеральных источников, районов мышьяковистого оруднения (мышьяковый колчедан, реальгар, аурипигмент), а также из зон окисления пород полиметаллического, медно-кобальтового и вольфрамового типов. Некото-

рое количество мышьяка поступает из почв, а также в результате разложения растительных и животных организмов. Потребление мышьяка водными организмами является одной из причин понижения концентрации его в воде, наиболее отчетливо проявляющегося в период интенсивного развития планктона.

Значительные количества мышьяка поступают в водные объекты со сточными водами обогатительных фабрик, отходами производства красителей, кожевенных заводов и предприятий, производящих пестициды, а также с сельскохозяйственных угодий, на которых применяются пестициды.

В природных водах соединения мышьяка находятся в растворенном и взвешенном состоянии, соотношение между которыми определяется химическим составом воды и значениями рН. В растворенной форме мышьяк встречается в трех- и пятивалентной форме, главным образом в виде анионов.

В речных незагрязненных водах мышьяк находится обычно в микрограммовых концентрациях. В минеральных водах его концентрация может достигать нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>, в морских водах в среднем содержится 3 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных – встречается в концентрациях  $n \cdot 10^5$  мкг/дм<sup>3</sup>. Соединения мышьяка в повышенных концентрациях являются токсичными для организма животных и человека: они тормозят окислительные процессы, угнетают снабжение кислородом органов и тканей.

ПДК<sub>в</sub> мышьяка составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический)

*Марганец.* В поверхностные воды марганец поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов, содержащих марганец (пирролюзит, псиломелан, браунит, манганит, черная охра). Значительные количества марганца поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых, диатомовых водорослей и высших водных растений. Соединения марганца выносятся в водоемы со сточными водами марганцевых обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами.

Понижение концентрации ионов марганца в природных водах происходит в результате окисления Mn(II) до MnO<sub>2</sub> и других высоковалентных оксидов, выпадающих в осадок. Основные параметры, оп-

ределяющие реакцию окисления, – концентрация растворенного кислорода, величина рН и температура. Концентрация растворенных соединений марганца понижается вследствие утилизации их водорослями.

Главная форма миграции соединений марганца в поверхностных водах – взвеси, состав которых определяется в свою очередь составом пород, дренируемых водами, а также коллоидные гидроксиды тяжелых металлов и сорбированные соединения марганца. Существенное значение в миграции марганца в растворенной и коллоидной формах имеют органические вещества и процессы комплексообразования марганца с неорганическими и органическими лигандами. Mn(II) образует растворимые комплексы с бикарбонатами и сульфатами. Комплексы марганца с ионом хлора встречаются редко. Комплексные соединения Mn(II) с органическими веществами (аминами, органическими кислотами, аминокислотами и гумусовыми веществами) обычно менее прочны, чем аналогичные соединения с другими переходными металлами. Mn(III) в повышенных концентрациях может находиться в растворенном состоянии только в присутствии сильных комплексообразователей, Mn(VII) в природных водах не встречается.

В речных водах содержание марганца колеблется обычно от 1 до 160 мкг/дм<sup>3</sup>, среднее содержание в морских водах составляет 2 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных –  $n \cdot 10^2$ - $n \cdot 10^3$  мкг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация марганца в поверхностных водах подвержена сезонным колебаниям.

Факторами, определяющими изменения концентраций марганца, являются соотношение между поверхностным и подземным стоком, интенсивность потребления его при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности, а также процессы осаждения его на дно водных объектов.

Роль марганца в жизни высших растений и водорослей водоемов весьма велика. Марганец способствует утилизации CO<sub>2</sub> растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота растениями. Марганец способствует переходу активного Fe(II) в Fe(III), что предохраняет клетку от отравления, ускоряет рост организмов и т.д. Важная экологическая и физиологическая роль марганца вызывает необходимость изучения марганца и его распределения в природных водах.

Для марганца ПДК<sub>в</sub> (по иону марганца) установлена 0,1 мг/дм<sup>3</sup>

(лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Олово.* В природные воды поступает в результате процессов выщелачивания оловосодержащих минералов (касситерит, станнин), а также со сточными водами различных производств (крашение тканей, синтез органических красок, производство сплавов с добавкой олова и др.).

Токсическое действие олова невелико.

В незагрязненных поверхностных водах олово содержится в субмикrogramмовых концентрациях. В подземных водах его концентрация достигает единиц микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>.

ПДК<sub>в</sub> олова составляет 2 мг/дм<sup>3</sup>. *Ванадий.* Ванадий находится преимущественно в рассеянном состоянии и обнаруживается в железных рудах, нефти, асфальтах, битумах, горючих сланцах, углях и др. Одним из главных источников загрязнения природных вод ванадием являются нефть и продукты ее переработки.

В природных водах встречается в очень малой концентрации: в воде рек 0,2 – 4,5 мкг/дм<sup>3</sup>, в морской воде – в среднем 2 мкг/дм<sup>3</sup>

В воде образует устойчивые анионные комплексы (V<sub>4</sub>O<sub>12</sub>)<sup>4-</sup> и (V<sub>10</sub>O<sub>26</sub>)<sup>6-</sup>. В миграции ванадия существенна роль растворенных комплексных соединений его с органическими веществами, особенно с гумусовыми кислотами.

Повышенные концентрации ванадия вредны для здоровья человека. ПДК<sub>в</sub> ванадия составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Ртуть.* В поверхностные воды соединения ртути могут поступать в результате выщелачивания пород в районе ртутных месторождений (киноварь, метациннабарит, ливингстонит), в процессе разложения водных организмов, накапливающих ртуть. Значительные количества поступают в водные объекты со сточными водами электролизных производств, предприятий, производящих красители, пестициды, фармацевтические препараты, некоторые взрывчатые вещества. Тепловые электростанции, работающие на угле, выбрасывают в атмосферу значительные количества соединений ртути, которые в результате мокрых и сухих выпадений попадают в водные объекты.

Понижение концентрации растворенных соединений ртути про-

исходит в результате извлечения их многими морскими и пресноводными организмами, обладающими способностью накапливать ее в концентрациях, во много раз превышающих содержание ее в воде, а также в результате процессов адсорбции взвешенными веществами и донными отложениями.

В поверхностных водах соединения ртути находятся в растворенном и взвешенном состоянии. Соотношение между ними зависит от химического состава воды и значений рН. Взвешенная ртуть представляет собой сорбированные соединения ртути. Растворенными формами являются недиссоциированные молекулы, комплексные органические и минеральные соединения. В воде водных объектов ртуть может находиться в виде метилртутных соединений.

Содержание ртути в речных незагрязненных и слабозагрязненных водах составляет несколько десятых долей микрограмма в 1 дм<sup>3</sup>, средняя концентрация в морской воде 0,03 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах 1–3 мкг/дм<sup>3</sup>.

Соединения ртути высоко токсичны, они поражают нервную систему человека, вызывают изменение слизистой оболочки, нарушение двигательной функции и секреции желудочно-кишечного тракта, изменения в крови и др. Бактериальные процессы метилирования направлены на образование метилртутных соединений, которые во много раз токсичнее минеральных солей ртути. Метилртутные соединения накапливаются в пищевых цепях (например, фитопланктон-зоопланктон-рыба) и могут попадать в организм человека.

ПДК<sub>в</sub> ртути составляет 0,0005 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,0001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Хром.* В поверхностные воды соединения трех- и шестивалентного хрома попадают в результате выщелачивания из пород (хромит, крокоит, уваровит и др.). Некоторые количества поступают из почв, в процессе разложения организмов и растений. Значительные количества могут поступать в водоемы со сточными водами гальванических цехов, красильных цехов текстильных предприятий, кожевенных заводов и предприятий химической промышленности. Понижение концентрации ионов хрома может наблюдаться в результате потребления их водными организмами и процессов адсорбции.

В поверхностных водах соединения хрома находятся в растворенном и взвешенном состояниях, соотношение между которыми за-

висит от состава вод, температуры, pH раствора. Взвешенные соединения хрома представляют собой в основном сорбированные соединения хрома. Сорбентами могут быть глины, гидроксид железа, высокодисперсный оседающий карбонат кальция, остатки растительных и животных организмов. В растворенной форме хром может находиться в виде хроматов и бихроматов. При аэробных условиях Cr(VI) переходит в Cr(III), соли которого в нейтральной и щелочной средах гидролизуются с выделением гидроксида.

В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах содержание хрома колеблется от нескольких десятых долей микрограмма до нескольких микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>, в загрязненных водоемах оно достигает нескольких десятков и сотен микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>. Средняя концентрация в морских водах – 0,05 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах – обычно в пределах  $n \cdot 10$ - $n \cdot 10^2$  мкг/дм<sup>3</sup>.

Соединения Cr(VI) и Cr(III) в повышенных количествах обладают канцерогенными свойствами. Соединения Cr(VI) являются более опасными.

ПДК<sub>в</sub> для Cr(VI) 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, для Cr(III) – 0,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический); ПДК<sub>вр</sub> для Cr(VI) – 0,001 мг/дм<sup>3</sup>, для Cr(III) – 0,005 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Молибден.* Соединения молибдена попадают в поверхностные воды в результате выщелачивания их из экзогенных минералов, содержащих молибден. Молибден попадает в водоемы также со сточными водами обогатительных фабрик, предприятий цветной металлургии. Понижение концентрации соединений молибдена происходит в результате выпадения в осадок труднорастворимых соединений, процессов адсорбции минеральными взвесями и потребления растительными водными организмами.

Молибден в поверхностных водах находится в основном в форме MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Весьма вероятно существование его в виде органоминеральных комплексов. Возможность некоторого накопления в коллоидном состоянии вытекает из того факта, что продукты окисления молибденита представляют рыхлые тонкодисперсные вещества.

В речных водах молибден обнаружен в концентрациях от 2,1 до 10,6 мкг/дм<sup>3</sup>. В морской воде содержится в среднем 10 мкг/дм<sup>3</sup> молибдена.

В малых количествах молибден необходим для нормального

развития растительных и животных организмов. Молибден входит в состав фермента ксантиноксидазы. При дефиците молибдена фермент образуется в недостаточном количестве, что вызывает отрицательные реакции организма. В повышенных концентрациях молибден вреден. При избытке молибдена нарушается обмен веществ.

Для молибдена ПДК<sub>в</sub> установлена 0,25 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,0012 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Никель.* Присутствие никеля в природных водах обусловлено составом пород, через которые проходит вода: он обнаруживается в местах месторождений сульфидных медно-никелевых руд и железоникелевых руд. В воду попадает из почв и из растительных и животных организмов при их распаде. Повышенное по сравнению с другими типами водорослей содержание никеля обнаружено в сине-зеленых водорослях. Соединения никеля в водные объекты поступают также со сточными водами цехов никелирования, заводов синтетического каучука, никелевых обогатительных фабрик. Значительные выбросы никеля сопровождают сжигание ископаемого топлива.

Концентрация его может понижаться в результате выпадения в осадок таких соединений, как цианиды, сульфиды, карбонаты или гидроксиды (при повышении pH), за счет потребления его водными организмами и процессов адсорбции.

В поверхностных водах соединения никеля находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях, количественное соотношение между которыми зависит от состава воды, температуры и значений pH. Сорбентами соединений никеля могут быть гидроксид железа, органические вещества, высокодисперсный карбонат кальция, глины. Растворенные формы соединений никеля представляют собой главным образом комплексные ионы, наиболее часто с аминокислотами, гуминовыми и фульвокислотами, а также в виде прочного цианидного комплекса. Наиболее распространены в природных водах соединения никеля, в которых он находится в степени окисления +2. Соединения Ni<sup>3+</sup> образуются обычно в щелочной среде.

Соединения никеля играют важную роль в кроветворных процессах, являясь катализаторами. Повышенное его содержание оказывает специфическое действие на сердечно-сосудистую систему. Никель принадлежит к числу канцерогенных элементов. Он способен

вызывать респираторные заболевания. Считается, что свободные ионы никеля ( $\text{Ni}^{2+}$ ) примерно в 2 раза более токсичны, чем его комплексные соединения.

В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах концентрация никеля колеблется обычно от 0,8 до 10 мкг/дм<sup>3</sup>; в загрязненных она составляет несколько десятков микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>. Средняя концентрация никеля в морской воде 2 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах –  $n \cdot 10^3$  мкг/дм<sup>3</sup>. В подземных водах, омывающих никельсодержащие горные породы, концентрация никеля иногда возрастает до 20 мг/дм<sup>3</sup>.

ПДК<sub>в</sub> никеля составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический). *Висмут*. Естественными источниками поступления висмута в природные воды являются процессы выщелачивания висмутсодержащих минералов. Источником поступления в природные воды могут быть также сточные воды фармацевтических и парфюмерных производств, некоторых предприятий стекольной промышленности.

В незагрязненных поверхностных водах содержится в субмикрограммовых концентрациях. Наиболее высокая концентрация обнаружена в подземных водах и составляет 20 мкг/дм<sup>3</sup>, в морских водах – 0,02 мкг/дм<sup>3</sup>.

ПДК<sub>в</sub> висмута составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Серебро*. Источниками поступления серебра в поверхностные воды служат подземные воды и сточные воды рудников, обогатительных фабрик, фотопредприятий. Повышенное содержание серебра бывает связано с применением бактерицидных и альгицидных препаратов.

В сточных водах серебро может присутствовать в растворенном и взвешенном состоянии, большей частью в форме галоидных солей.

В незагрязненных поверхностных водах серебро находится в субмикрограммовых концентрациях. В подземных водах концентрация серебра колеблется от единиц до десятков микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>, в морской воде – в среднем 0,3 мкг/дм<sup>3</sup>.

Ионы серебра способны уничтожать бактерии и уже в незначительной концентрации стерилизуют воду (нижний предел бактерицидного действия ионов серебра  $2 \cdot 10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup>). Роль серебра в организме животных и человека изучена недостаточно.

ПДК<sub>в</sub> серебра составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Сурьма.* Сурьма поступает в поверхностные воды за счет выщелачивания минералов сурьмы (стибнит, сенармонтит, валентинит, сервантит, стибиоканит) и со сточными водами резиновых, стекольных, красильных, спичечных предприятий.

В природных водах соединения сурьмы находятся в растворенном и взвешенном состояниях. В окислительно-восстановительных условиях, характерных для поверхностных вод, возможно существование как трехвалентной, так и пентавалентной сурьмы.

В незагрязненных поверхностных водах сурьма находится в субмикrogramмовых концентрациях, в морской воде ее концентрация достигает 0,5 мкг/дм<sup>3</sup>, в подземных водах – 10 мкг/дм<sup>3</sup>.

ПДК<sub>в</sub> сурьмы составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. *Стронций.* Источниками стронция в природных водах являются горные породы, наибольшие количества его содержат гипсоносные отложения.

Низкая концентрация стронция в природных водах объясняется слабой растворимостью их серноокислых соединений (растворимость SrSO<sub>4</sub> при 18°C 114 мг/дм<sup>3</sup>).

В пресных водах концентрация стронция обычно намного ниже 1 мг/дм<sup>3</sup> и выражается в микрограммах на литр. Встречаются районы с повышенной концентрацией этого иона в водах.

Будучи близок к кальцию по химическим свойствам, стронций резко отличается от него по своему биологическому действию. Избыточное содержание этого элемента в почвах, водах и продуктах питания вызывает "уровскую болезнь" у человека и животных (по названию реки Уров в Восточном Забайкалье) – поражение и деформацию суставов, задержку роста и др.

ПДК<sub>в</sub> составляет 7 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Бор.* Источником бора в природных водах являются подземные воды, обогащенные бором за счет бороносных осадочно-метаморфических пород. Возможно поступление бора со сточными водами стекольного, металлургического, машиностроительного, текстильного, керамического, кожевенного производств, а также с бытовыми сточными водами, насыщенными стиральными порошками. Ло-

кальное загрязнение почвы возможно при разработке борсодержащих руд и при внесении в нее борсодержащих удобрений.

В природных водах бор находится в виде ионов борных кислот, в щелочной среде преимущественно в виде метаборат-иона ( $\text{BO}_2^-$ ).

Средняя концентрация бора в речных водах  $100 \text{ мкг/дм}^3$ .

Бор малотоксичен для рыб. Оксид бора и ортоборная кислота относятся к сильнодействующим токсичным веществам с политропным действием. Обладают эмбриотоксическим действием. В связи с употреблением воды из богатых бором водоисточников возникает хроническая интоксикация.

ПДК<sub>в</sub> ( $\text{B}^{3+}$ ) –  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , ПДК<sub>вр</sub> ортоборной кислоты ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) –  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

*Титан.* Соединения титана в природные воды поступают в результате процессов выветривания титановых руд (ильменит, перовскит, лопарит, сфен) и со сточными водами предприятий металлургической и металлообрабатывающей промышленности, производства титановых белил и др. В природных водах может находиться в виде различных минеральных и органических комплексных соединений. Его присутствие возможно в виде коллоидов гидроксида титана.

В незагрязненных поверхностных водах находится в субмикрограммовых концентрациях. В подземных водах концентрация титана обычно невелика и составляет единицы или десятки микрограммов в  $1 \text{ дм}^3$ , в морской воде – до  $1 \text{ мкг/дм}^3$ .

ПДК<sub>в</sub> титана составляет  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  (лимитирующий показатель вредности – общесанитарный).

## Глава 12. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ

*Органический углерод.* Органический углерод является наиболее надежным показателем суммарного содержания органических веществ в природных водах, на него приходится в среднем около 50 % массы органических веществ.

Состав и содержание органических веществ в природных водах определяется совокупностью многих различных по своей природе и скорости процессов: посмертных и прижизненных выделений гидробионтов; поступления с атмосферными осадками, с поверхностным стоком в результате взаимодействия атмосферных вод с почвами и растительным покровом на поверхности водосбора; поступления из других водных объектов, из болот, торфяников; поступления с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами.

Концентрация органического углерода подвержена сезонным колебаниям, характер которых определяется гидрологическим режимом водных объектов и связанными с ним сезонными вариациями химического состава, временными изменениями интенсивности биологических процессов. В придонных слоях водоемов и поверхностной пленке содержание органического углерода может значительно отличаться от его содержания в остальной массе воды.

Органические вещества находятся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях, образующих некоторую динамическую систему, в общем неравновесную, в которой под воздействием физических, химических и биологических факторов непрерывно осуществляются переходы из одного состояния в другое.

Наименьшая концентрация углерода растворенных органических веществ в незагрязненных природных водах составляет около 1 мг/дм<sup>3</sup>, наибольшая обычно не превышает 10–20 мг/дм<sup>3</sup>, однако в болотных водах может достигать нескольких сотен мг/дм<sup>3</sup>.

*Углеводороды (нефтепродукты и ароматические углеводороды).* В настоящее время поверхность Мирового океана на огромных площадях оказалась покрытой углеводородной пленкой. Причинами этого считают:

§ сброс отходов нефтеперерабатывающих заводов (например, только один завод средней мощности дает 400 т отходов сут.<sup>-1</sup>);

§ сброс балласта и промывка танков нефтяных танкеров после транспортировки (количество нефти, попадающей при этом в воду, в среднем, составляет 1 % от перевозимого груза, т. е. 1–2 Мт год<sup>-1</sup>);

§ большое число аварий с нефтеналивными судами (только за период с 1967 по 1974 г. произошла 161 авария (Эрхард, 1984), с 1960 по 1970 – около 500 (Рамад, 1981)).

На рисунке 12.1 приведены доли разных антропогенных источников в загрязнении океана нефтепродуктами. Но, необходимо учитывать и то, что нефть – природное вещество и попадает в морскую воду не только в результате техногенной активности, но и с естественными выходами (по разным оценкам от 20 кт до 2 Мт год<sup>-1</sup>).



Рис. 12.1. Антропогенное поступление нефтепродуктов в океаны (Frid, 2002)

Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Нефть и продукты ее переработки представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и разнообразную смесь веществ (низко- и высокомолекулярные предельные, непредельные алифатические, нафтеновые, ароматические углеводороды, кислородные, азотистые, сернистые соединения, а также ненасыщенные гетероциклические соединения типа смол, асфальтенов, ангидридов, асфальтеновых кислот). Понятие

"нефтепродукты" в гидрохимии условно ограничивается только углеводородной фракцией (алифатические, ароматические, алициклические углеводороды).

Большие количества нефтепродуктов поступают в поверхностные воды при перевозке нефти водным путем, со сточными водами предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, металлургической и других отраслей промышленности, с хозяйственно-бытовыми водами. Некоторые количества углеводородов поступают в воду в результате прижизненных выделений растительными и животными организмами, а также в результате их посмертного разложения.

В результате протекающих в водоеме процессов испарения, сорбции, биохимического и химического окисления концентрация нефтепродуктов может существенно снижаться, при этом значительным изменениям может подвергаться их химический состав. Наиболее устойчивы ароматические углеводороды, наименее – н-алканы.

Содержание нефтепродуктов в речных, озерных, морских, подземных водах и атмосферных осадках колеблется в довольно широких пределах и обычно составляет сотые и десятые доли мг/дм<sup>3</sup>.

В незагрязненных нефтепродуктами водных объектах концентрация естественных углеводородов может колебаться в морских водах от 0,01 до 0,10 мг/дм<sup>3</sup> и выше, в речных и озерных водах от 0,01 до 0,20 мг/дм<sup>3</sup>, иногда достигая 1–1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание естественных углеводородов определяется трофическим статусом водоема и в значительной мере зависит от биологической ситуации в водоеме.

Неблагоприятное воздействие нефтепродуктов сказывается различными способами на организме человека, животном мире, водной растительности, физическом, химическом и биологическом состоянии водоема. Входящие в состав нефтепродуктов низкомолекулярные алифатические, нафтенные и особенно ароматические углеводороды оказывают токсическое и, в некоторой степени, наркотическое воздействие на организм, поражая сердечно-сосудистую и нервную системы. Наибольшую опасность представляют полициклические конденсированные углеводороды типа 3,4-бензапирена, обладающие канцерогенными свойствами. Нефтепродукты обволакивают оперение птиц, поверхность тела и органы других гидробионтов, вызывая заболевания и гибель.

Отрицательное влияние нефтепродуктов, особенно в concentra-

циях 0,001–10 мг/дм<sup>3</sup>, и присутствие их в виде пленки сказывается и на развитии высшей водной растительности и микрофитов.

В присутствии нефтепродуктов вода приобретает специфический вкус и запах, изменяется ее цвет, рН, ухудшается газообмен с атмосферой.

ПДК<sub>в</sub> нефтепродуктов составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – рыбохозяйственный). Присутствие канцерогенных углеводородов в воде недопустимо.

*ПАУ.* В настоящее время загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) носит глобальный характер. Их присутствие обнаружено во всех элементах природной среды (воздух, почва, биота) от Арктики до Антарктиды.

ПАУ, обладающие выраженными токсическими, мутагенными и канцерогенными свойствами, многочисленны. Их количество достигает 200. Вместе с тем, ПАУ, распространенных повсеместно в биосфере не более нескольких десятков. Это антрацен, флуорантрен, пирен, хризен и некоторые другие.

Наиболее характерным и наиболее распространенным в ряду ПАУ является бенз(а)пирен (БП):

БП хорошо растворим в органических растворителях, тогда как в воде он растворим чрезвычайно мало. Минимальная действующая концентрация бенз(а)пирена мала. БП трансформируется под действием оксигеназ. Продукты трансформации БП являются конечными канцерогенами.

Доля БП в общем количестве наблюдаемых ПАУ невелика (1–20 %). Его делают значимым:

- § Активная циркуляция в биосфере
- § Высокая молекулярная устойчивость
- § Значительная проканцерогенная активность.

С 1977 г. БП на международном уровне считается индикаторным соединением, по содержанию которого оценивается степень загрязненности среды канцерогенными ПАУ.

В формировании природного фона бенз(а)пирена участвуют различные абиотические и биотические источники.

Геологические и астрономические источники. Поскольку ПАУ синтезируются при термических превращениях простых органических структур, БП обнаруживается в:

- § материале метеоритов;
- § магматических породах;
- § гидротермальных образованиях (1–4 мкг кг<sup>-1</sup>);
- § Вулканических пеплах (до 6 мкг кг<sup>-1</sup>). Глобальный поток вулканического БП достигает 1,2 т год<sup>-1</sup> (Израэль, 1989).

Абиотический синтез БП возможен при сгорании органических материалов во время природных пожаров. При горении леса, травяного покрова, торфа образуется до 5 т год<sup>-1</sup>. Биотический синтез БП обнаружен для целого ряда анаэробных бактерий, способных синтезировать БП из природных липидов в донных отложениях. Показана возможность синтеза БП и хлореллой.

В современных условиях рост концентрации бенз(а)пирена связан с антропогенным происхождением. Главными источниками БП являются: бытовые, промышленные сбросы, смывы, транспорт, аварии, дальний перенос. Антропогенный поток БП составляет примерно 30 т год<sup>-1</sup>.

Кроме того, важный источник поступления БП в водную среду – транспортировка нефти. При этом в воду попадает около 10 т год<sup>-1</sup>.

Наибольшее загрязнение БП характерно для бухт, заливов, замкнутых и полужамкнутых морских бассейнов, подверженных антропогенному воздействию (табл. 12.4). Самые высокие уровни загрязнения БП в настоящее время отмечены для Северного, Каспийского, Средиземного и Балтийского морей.

Бенз(а)пирен в донных отложениях

Поступление ПАУ в морскую среду в количестве, превышающем возможности их растворения, влечет за собой сорбцию этих соединений на частицах взвесей. Взвеси оседают на дно и, следовательно, БП накапливаются в донных осадках. При этом основной зоной накопления ПАУ является слой 1–5 см.

Зачастую ПАУ осадков имеют природное происхождение. В этих случаях они приурочены к тектоническим зонам, участкам глубинного термического воздействия, ареалам рассеяния газонефтяных скоплений.

Тем не менее, наиболее высокие концентрации БП обнаруживаются в зонах антропогенного влияния.

ПАУ не только сорбируются на поверхности организмов, но и концентрируются внутриклеточно. Для планктонных организмов характерен высокий уровень накопления ПАУ.

Содержание БП в планктоне может варьировать от нескольких  $\text{мкг кг}^{-1}$  до  $\text{мг кг}^{-1}$  сухой массы. Наиболее обычное содержание (2–5)  $10^2 \text{ мкг кг}^{-1}$  сухой массы. Для Берингова моря коэффициенты накопления (отношение концентрации в организмах к концентрации в воде) в планктоне (Сп/Св) колеблются от 1,6  $10$  до 1,5  $10^4$ , коэффициенты накопления в нейстоне (Сн/Св) колеблются от 3,5  $10^2$  до 3,6  $10^3$  (Израэль, 1989).

Поскольку большинству бентосных организмов основой питания служит взвешенное органическое вещество и детрит грунтов, зачастую содержащие ПАУ в концентрациях выше, чем в воде, бентонты часто накапливают БП в значительных концентрациях (табл. 12.1). Известно накопление ПАУ полихетами, моллюсками, ракообразными, макрофитами.

Поскольку ПАУ – вещества, встречающиеся в природе, естественно, что существуют микроорганизмы, способные их разрушать. Так, в экспериментах в Северной Атлантике БП-окисляющие бактерии разрушали от 10–67 % внесенного БП. В опытах в Тихом океане была показана способность микрофлоры разрушать 8–30 % внесенного БП. В Беринговом море микроорганизмы разрушали 17–66 % внесенного БП, в Балтийском море – 35–87 %.

Таблица 12.1

**Коэффициенты накопления БП в различных объектах экосистемы Балтийского моря (Израэль, 1989)**

Объекты	Коэффициенты
Планктон/вода	$10-10^3$
Грунт/вода	$10^3$
Бентос/вода	$10^2-10^3$
Бентос/грунт	$10^{-1}-10$

Для БП доказаны токсичность, канцерогенность, мутагенность, тератогенность, действие на репродуктивную способность рыб. Кроме того, как и другие труднорастворимые вещества, БП способен к биоаккумуляции в пищевых цепях и, соответственно, представляет опасность для человека.

*Бензол.* Бензол представляет собой бесцветную жидкость с характерным запахом.

В поверхностные воды бензол поступает с предприятий и производств основного органического синтеза, нефтехимической, хими-

ко-фармацевтической промышленности, производства пластмасс, взрывчатых веществ, ионообменных смол, лаков и красок, искусственных кож, а также со сточными водами мебельных фабрик. В стоках коксохимических заводов бензол содержится в концентрациях 100–160 мг/дм<sup>3</sup>, в сточных водах производства капролактама – 100 мг/дм<sup>3</sup>, производства изопропилбензола – до 20000 мг/дм<sup>3</sup>. Источником загрязнения акваторий может быть транспортный флот (применяется в моторном топливе для повышения октанового числа). Бензол используется также в качестве ПАВ.

Бензол быстро испаряется из водоемов в атмосферу (период полураспада составляет 37,3 минуты при 20°C). Порог ощущения запаха бензола в воде составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup> при 20°C. При 2,9 мг/дм<sup>3</sup> запах характеризуется интенсивностью в 1 балл, при 7,5 мг/дм<sup>3</sup> – в 2 балла. Мясо рыб приобретает неприятный запах при концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup>. При 5 мг/дм<sup>3</sup> запах исчезает через сутки, при 10 мг/дм<sup>3</sup> интенсивность запаха за сутки снижается до 1 балла, а при 25 мг/дм<sup>3</sup> запах снижается до 1 балла через двое суток.

Привкус при содержании бензола в воде 1,2 мг/дм<sup>3</sup> измеряется в 1 балл, при 2,5 мг/дм<sup>3</sup> – в 2 балла. Наличие в воде бензола (до 5 мг/дм<sup>3</sup>) не изменяет процессы биологического потребления кислорода, так как под влиянием биохимических процессов в воде бензол окисляется слабо. В концентрациях 5–25 мг/дм<sup>3</sup> бензол не задерживает минерализации органических веществ, не влияет на процессы бактериального самоочищения водоемов.

В концентрации 1000 мг/дм<sup>3</sup> бензол тормозит самоочищение разведенных сточных вод, а в концентрации 100 мг/дм<sup>3</sup> – процесс очистки сточных вод в аэротенках. При содержании 885 мг/дм<sup>3</sup> бензол сильно задерживает брожение осадка в метантенках.

ПДК<sub>в</sub> – 0,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Фенолы.* Фенолы представляют собой производные бензола с одной или несколькими гидроксильными группами. Их принято делить на две группы – летучие с паром фенолы (фенол, крезолы, ксиленолы, гваякол, тимол) и нелетучие фенолы (резорцин, пирокатехин, гидрохинон, пирогаллол и другие многоатомные фенолы).

Фенолы в естественных условиях образуются в процессах метаболизма водных организмов, при биохимическом распаде и транс-

формации органических веществ, протекающих как в водной толще, так и в донных отложениях.

Фенолы являются одним из наиболее распространенных загрязнений, поступающих в поверхностные воды со стоками предприятий нефтеперерабатывающей, сланцеперерабатывающей, лесохимической, коксохимической, анилинокрасочной промышленности и др. В сточных водах этих предприятий содержание фенолов может превосходить 10–20 г/дм<sup>3</sup> при весьма разнообразных сочетаниях.

Превышение естественного фона по фенолу может служить указанием на загрязнение водоемов. В загрязненных фенолами природных водах содержание их может достигать десятков и даже сотен микрограммов в 1 дм<sup>3</sup>. Фенолы – соединения нестойкие и подвергаются биохимическому и химическому окислению.

Простые фенолы подвержены главным образом биохимическому окислению. При концентрации более 1 мг/дм<sup>3</sup> разрушение фенолов протекает достаточно быстро, убыль фенолов составляет 50–75 % за трое суток, при концентрации несколько десятков микрограммов в 1 дм<sup>3</sup> этот процесс замедляется, и убыль за то же время составляет 10–15 %. Быстрее всех разрушается собственно фенол, медленнее крезолы, еще медленнее ксиленолы. Многоатомные фенолы разрушаются в основном путем химического окисления.

Концентрация фенолов в поверхностных водах подвержена сезонным изменениям. В летний период содержание фенолов падает (с ростом температуры увеличивается скорость распада).

Сброс фенольных вод в водоемы и водотоки резко ухудшает их общее санитарное состояние, оказывая влияние на живые организмы не только своей токсичностью, но и значительным изменением режима биогенных элементов и растворенных газов (кислорода, углекислого газа).

В результате хлорирования воды, содержащей фенолы, образуются устойчивые соединения хлорфенолов, малейшие следы которых (0,1 мкг/дм<sup>3</sup>) придают воде характерный привкус.

В токсикологическом и органолептическом отношении фенолы неравноценны. Летучие с паром фенолы более токсичны и обладают более интенсивным запахом при хлорировании. Наиболее резкие запахи дают простой фенол и крезолы.

ПДК<sub>в</sub> для фенола установлена 0,001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,001 мг/дм<sup>3</sup> (ли-

митирующий показатель вредности – рыбохозяйственный).

*Спирты. Метанол.* Метанол попадает в водоемы со сточными водами производств получения и применения метанола. В сточных водах предприятий целлюлозно-бумажной промышленности содержится 4,5–58 г/дм<sup>3</sup> метанола, производств фенолоформальдегидных смол – 20–25 г/дм<sup>3</sup>, лаков и красок 2 г/дм<sup>3</sup>, синтетических волокон и пластмасс – до 600 мг/дм<sup>3</sup>, в сточных водах генераторных станций работающих на буром, каменном угле, торфе, древесине – до 5 г/дм<sup>3</sup>.

При попадании в воду метанол снижает содержание в ней O<sub>2</sub> (вследствие окисления метанола). Концентрация выше 4 мг/дм<sup>3</sup> влияет на санитарный режим водоемов. При содержании 200 мг/дм<sup>3</sup> наблюдается торможение биологической очистки сточных вод. Порог восприятия запаха метанола составляет 30–50 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация 3 мг/дм<sup>3</sup> стимулирует рост сине-зеленых водорослей и нарушает потребление кислорода дафниями. Летальные концентрации для рыб составляют 0,25–17 г/дм<sup>3</sup>.

Метанол является сильным ядом, обладающим направленным действием на нервную и сердечно-сосудистую системы, зрительные нервы, сетчатку глаз. Механизм действия метанола связан с его метаболизмом по типу летального синтеза с образованием формальдегида и муравьиной кислоты, далее окисляющихся до CO<sub>2</sub>. Поражение зрения обусловлено снижением синтеза АТФ в сетчатке глаза.

ПДК<sub>в</sub> – 3 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Этиленгликоль.* Этиленгликоль попадает в поверхностные воды со сточными водами производств, где он получается или применяется (текстильная, фармацевтическая, парфюмерная, табачная, целлюлозно-бумажная промышленности).

Токсическая концентрация для рыб составляет не более 10 мг/дм<sup>3</sup>, для кишечной палочки – 0,25 мг/дм<sup>3</sup>.

Этиленгликоль очень токсичен. При попадании в желудок действует главным образом на ЦНС и почки, а также вызывает гемолиз эритроцитов. Токсичны и метаболиты этиленгликоля – альдегиды и щавелевая кислота, обуславливающая образование и накопление в почках оксалатов кальция.

ПДК<sub>в</sub> – 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,25 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий

показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Органические кислоты.* Органические кислоты относятся к числу наиболее распространенных компонентов природных вод различного происхождения и нередко составляют значительную часть всего органического вещества в этих водах. Состав органических кислот и их концентрация определяются с одной стороны внутриводоемными процессами, связанными с жизнедеятельностью водорослей, бактерий и животных организмов, с другой – поступлением этих веществ извне.

Органические кислоты образуются за счет следующих внутриводоемных процессов:

- прижизненных выделений в результате нормальных физиологических процессов здоровых клеток;
- посмертных выделений, связанных с отмиранием и распадом клеток;
- выделений сообществами, связанных с биохимическим взаимодействием различных организмов, например водорослей и бактерий;
- ферментативного разложения высокомолекулярных органических веществ типа углеводов, протеинов и липидов.

Поступление органических кислот в водные объекты извне возможно с поверхностным стоком, особенно в период половодья и паводков, с атмосферными осадками, промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами и с водами, сбрасываемыми с орошаемых полей.

Данные о содержании и составе органических кислот необходимы при изучении процессов химического выветривания, миграции элементов, образования осадочных пород, а также при решении вопросов о взаимоотношении водных организмов со средой, поскольку органические кислоты служат одним из источников углерода и энергии для большинства этих организмов.

Концентрация органических кислот в речных водах колеблется от  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 10^2$  ммоль/дм<sup>3</sup>. Амплитуда внутригодовых колебаний достигает нередко многих сотен процентов. Ряд высших жирных кислот присутствуют в природных водах в очень незначительных концентрациях. Концентрации пропионовой и уксусной кислот колеблются от  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 10^2$  мкг/дм<sup>3</sup>.

*Летучие кислоты.* Под летучими кислотами понимают сумму концентраций муравьиной и уксусной кислот.

В природных водах в небольших количествах муравьиная кислота образуется в процессах жизнедеятельности и посмертного разложения водных организмов и биохимической трансформации содержащихся в воде органических веществ. Ее повышенная концентрация связана с поступлением в водные объекты сточных вод предприятий, производящих формальдегид и пластические массы на его основе.

Муравьиная кислота мигрирует главным образом в растворенном состоянии, в виде ионов и недиссоциированных молекул, количественное соотношение между которыми определяется константой диссоциации  $K_{25^{\circ}\text{C}} = 2,4 \cdot 10^{-4}$  и значениями рН. При поступлении муравьиной кислоты в водные объекты она разрушается главным образом под влиянием биохимических процессов.

В незагрязненных речных и озерных водах муравьиная кислота обнаружена в концентрациях 0–830 мкг/дм<sup>3</sup>, в снеговых – 46–78 мкг/дм<sup>3</sup>, в грунтовых – до 235 мкг/дм<sup>3</sup>, в морских – до 680 мкг/дм<sup>3</sup>. Концентрация муравьиной кислоты подвержена заметным сезонным колебаниям, что определяется главным образом интенсивностью биохимических процессов, протекающих в воде.

ПДК<sub>в</sub> – 3,5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – общесанитарный), ПДК<sub>вр</sub> – 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

ПДК<sub>в</sub> уксусной кислоты составляет 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – общесанитарный), ПДК<sub>вр</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический). *Гумусовые кислоты*. Гуминовые и фульвокислоты, объединяемые под названием гумусовые кислоты, нередко составляют значительную долю органического вещества природных вод и представляют собой сложные смеси биохимически устойчивых высокомолекулярных соединений.

Главным источником поступления гумусовых кислот в природные воды являются почвы и торфяники, из которых они вымываются дождевыми и болотными водами. Значительная часть гумусовых кислот вносится в водоемы вместе с пылью и образуется непосредственно в водоеме в процессе трансформации "живого органического вещества".

Гумусовые кислоты в поверхностных водах находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях, соотношения между которыми определяются химическим составом вод, рН, биологической ситуацией в водоеме и другими факторами.

Наличие в структуре фульво- и гуминовых кислот карбоксильных и фенолгидроксильных групп, аминогрупп способствует образованию прочных комплексных соединений гумусовых кислот с металлами. Некоторая часть гумусовых кислот находится в виде малодиссоциированных солей – гуматов и фульватов. В кислых водах возможно существование свободных форм гуминовых и фульвокислот.

Гумусовые кислоты в значительной степени влияют на органолептические свойства воды, создавая неприятный вкус и запах, затрудняют дезинфекцию и получение особо чистой воды, ускоряют коррозию металлов. Они оказывают влияние также на состояние и устойчивость карбонатной системы, ионные и фазовые равновесия и распределение миграционных форм микроэлементов. Повышенное содержание гумусовых кислот может оказывать отрицательное влияние на развитие водных растительных и животных организмов в результате резкого снижения концентрации растворенного кислорода в водоеме, идущего на их окисление, и их разрушающего влияния на устойчивость витаминов. В то же время при разложении гумусовых кислот образуется значительное количество ценных для водных организмов продуктов, а их органоминеральные комплексы представляют наиболее легко усваиваемую форму питания растений микроэлементами.

Почвенные кислоты: гуминовые (в щелочной среде) и особенно хорошо растворимые фульвокислоты играют наибольшую роль в миграции тяжелых металлов.

Гуминовые кислоты содержат циклические структуры и различные функциональные группы (гидроксильные, карбонильные, карбоксильные, аминогруппы и др.). Молекулярная масса их колеблется в широком интервале (от 500 до 200 000 и более). Относительная молекулярная масса условно принимается равной 1300–1500.

Содержание гуминовых кислот в поверхностных водах обычно составляет десятки и сотни микрограммов в 1 дм<sup>3</sup> по углероду, достигая нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup> в природных водах лесных и болотистых местностей, придавая им характерный бурый цвет. В воде многих рек гуминовые кислоты не обнаруживаются.

Фульвокислоты являются частью гумусовых кислот, не осаждающихся при нейтрализации из раствора органических веществ, извлеченных из торфов и бурых углей обработкой щелочью. Фульвокислоты представляют соединения типа оксикарбоновых кислот с

меньшим относительным содержанием углерода и более выраженными кислотными свойствами.

Хорошая растворимость фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами является причиной их более высоких концентраций и распространения в поверхностных водах. Содержание фульвокислот, как правило, превышает содержание гуминовых кислот в 10 раз и более.

*Азот органический.* Под "органическим азотом" понимают азот, входящий в состав органических веществ, таких, как протеины и протеиды, полипептиды (высокомолекулярные соединения), аминокислоты, амины, амиды, мочевины (низкомолекулярные соединения).

Значительная часть азотсодержащих органических соединений поступает в природные воды в процессе отмирания организмов, главным образом фитопланктона, и распада их клеток. Концентрация этих соединений определяется биомассой гидробионтов и скоростью указанных процессов. Другим важным источником азотсодержащих органических веществ являются прижизненные их выделения водными организмами. К числу существенных источников азотсодержащих соединений относятся также атмосферные осадки, в которых концентрация азотсодержащих органических веществ близка к наблюдающейся в поверхностных водах. Значительное повышение концентрации этих соединений нередко связано с поступлением в водные объекты промышленных, сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

На долю органического азота приходится 50–75 % общего растворенного в воде азота. Концентрация органического азота подвержена значительным сезонным изменениям с общей тенденцией к увеличению в вегетационный период (1,5–2,0 мг/дм<sup>3</sup>) и уменьшению в период ледостава (0,2–0,5 мг/дм<sup>3</sup>). Распределение органического азота по глубине неравномерно – повышенная концентрация наблюдается, как правило, в зоне фотосинтеза и в придонных слоях воды.

*Амины.* К основным источникам образования и поступления в природные воды аминов следует отнести:

- декарбоксилирование при распаде белковых веществ под воздействием декарбоксилаз бактерий и грибов и аминирование;
- водоросли;
- атмосферные осадки;
- сточные воды анилино-красочных предприятий.

Амины присутствуют преимущественно в растворенном и отчасти в сорбированном состоянии. С некоторыми металлами они могут образовывать довольно устойчивые комплексные соединения. Концентрация аминов в воде рек, водохранилищ, озер, атмосферных осадках колеблется в пределах 10 – 200 мкг/дм<sup>3</sup>. Более низкое содержание характерно для малопродуктивных водных объектов.

Амины токсичны. Обычно принято считать, что первичные алифатические амины токсичнее вторичных и третичных, диамины токсичнее моноаминов; изомерные алифатические амины более токсичны, чем алифатические амины нормального строения; моноамины с большей вероятностью обладают гепатотоксичностью, а диамины – нефротоксичностью. Наибольшей токсичностью и потенциальной опасностью среди алифатических аминов характеризуются непредельные амины из-за наиболее выраженной у них способности угнетать активность аминоксидаз.

Амины, присутствуя в водных объектах, отрицательно влияют на органолептические свойства воды, могут усугублять заморные явления. ПДК<sub>в</sub> для различных видов аминов – от 0,01 до 170 мг/дм<sup>3</sup>.

*Сера органическая.* Метилмеркаптан является продуктом метаболизма живых клеток. Он также поступает со стоками предприятий целлюлозной промышленности (0,05 – 0,08 мг/дм<sup>3</sup>).

В водном растворе метилмеркаптан является слабой кислотой и частично диссоциирует (степень диссоциации зависит от рН среды). При рН 10,5 50 % метилмеркаптана находится в ионной форме, при рН 13 происходит полная диссоциация. Метилмеркаптан стабилен менее 12 часов, образует соли – меркаптиды. ПДК<sub>в</sub> – 0,0002 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический).

Диметилсульфид выделяется водорослями (*Oedogonium*, *Ulothrix*) в ходе нормальных физиологических процессов, имеющих существенное значение в круговороте серы. В поверхностные воды диметилсульфид может поступать также со стоками предприятий целлюлозной промышленности (0,05 – 0,08 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрация диметилсульфида в морях достигает  $n \cdot 10^{-5}$  мг/дм<sup>3</sup> (повышенное содержание наблюдается в местах скопления водорослей).

Диметилсульфид не может долго сохраняться в воде водоемов (стабилен от 3 до 15 суток). Он частично подвергается превращениям при участии водорослей и микроорганизмов, а в основном испаряется в воздух.

В концентрациях 1–10 мкг/дм<sup>3</sup> диметилсульфид обладает слабой мутагенной активностью. ПДК<sub>в</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,00001 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Карбонильные соединения.* К карбонильным относятся соединения, содержащие карбонильные и карбоксильные группы (альдегиды, кетоны, кетокислоты, полуфункциональные карбонилсодержащие вещества).

В природных водах карбонильные соединения могут появляться в результате прижизненных выделений водорослей, биохимического и фотохимического окисления спиртов и органических кислот, распада органических веществ типа лигнина, обмена веществ бактериобентоса. Постоянное присутствие карбонильных соединений среди кислородных соединений нефти и в воде, контактирующей с залежами углеводородов, позволяет рассматривать последние в качестве одного из источников обогащения природных вод этими веществами. Источником карбонильных соединений являются также наземные растения, в которых образуются альдегиды и кетоны алифатического ряда и фурановые производные. Значительная часть альдегидов и кетонов поступает в природные воды в результате деятельности человека.

Основными факторами, обуславливающими уменьшение концентрации карбонильных соединений, являются их способность к окислению, летучесть и относительно высокая трофическая ценность отдельных групп карбонилсодержащих веществ.

В поверхностных водах карбонильные соединения находятся в основном в растворенной форме. Средняя концентрация их в воде рек и водохранилищ колеблется от 1 до 6 мкмоль/дм<sup>3</sup>, несколько выше она (6–40 мкмоль/дм<sup>3</sup>) в озерах дистрофного типа. Максимальные концентрации в водах нефтяных и газонефтяных залежей – 40–100 мкмоль/дм<sup>3</sup>.

В воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования нормируются отдельные соединения с карбонильной группой: циклогексанон ПДК<sub>в</sub> – 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), формальдегид ПДК<sub>в</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический).

*Ацетон.* В природные воды ацетон поступает со сточными водами фармацевтических, лесохимических производств, производства

лаков и красок, пластмасс, киноплёнки, ацетилена, ацетальдегида, уксусной кислоты, оргстекла, фенола, ацетона.

В концентрациях 40–70 мг/дм<sup>3</sup> ацетон придает воде запах, 80 мг/дм<sup>3</sup> – привкус. В воде ацетон малостабилен – при концентрациях 20 мг/дм<sup>3</sup> на седьмые сутки исчезает.

Для водных организмов ацетон сравнительно малотоксичен. Токсические концентрации для молодых дафний составляют 8300, для взрослых – 12900 мг/дм<sup>3</sup>; при 9300 мг/дм<sup>3</sup> дафнии гибнут через 16 часов.

Ацетон – наркотик, поражающий все отделы ЦНС. Кроме того, он оказывает эмбриотоксическое действие. ПДК<sub>в</sub> – 2,2 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – общесанитарный), ПДК<sub>вр</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Формальдегид.* Формальдегид поступает в водную среду с промышленными и коммунальными сточными водами. Он содержится в сточных водах производств основного органического синтеза, пластмасс, лаков, красок, лекарственных препаратов, предприятий кожевенной, текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности.

В дождевой воде городских районов зарегистрировано присутствие формальдегида. Формальдегид – сильный восстановитель. Он конденсируется с аминами, с аммиаком образует уротропин. В водной среде формальдегид подвергается биodeградации. В аэробных условиях при 20°C разложение продолжается около 30 часов, в анаэробных – примерно 48 часов. В стерильной воде формальдегид не разлагается. Биodeградация в водной среде обусловлена действием *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, *Zanthomonas*.

Подпороговая концентрация, не влияющая на санитарный режим водоемов и сапрофитную микрофлору, составляет 5 мг/дм<sup>3</sup>; максимальная концентрация, не вызывающая при постоянном воздействии в течение сколь угодно длительного времени нарушение биохимических процессов, – 5 мг/дм<sup>3</sup>, максимальная концентрация, не влияющая на работу биологических очистных сооружений, – 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

При 10 мг/дм<sup>3</sup> формальдегид оказывает токсическое действие на наиболее чувствительные виды рыб. При 0,24 мг/дм<sup>3</sup> ткани рыб приобретают неприятный запах.

Формальдегид оказывает общетоксическое действие, вызывает поражение ЦНС, легких, печени, почек, органов зрения. Возможно

кожно-резорбтивное действие. Формальдегид обладает раздражающим, аллергенным, мутагенным, сенсибилизирующим, канцерогенным действием.

ПДК<sub>в</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – санитарно-токсикологический), ПДК<sub>вр</sub> – 0,25 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Углеводы.* Под углеводами понимают группу органических соединений, которая объединяет моносахариды, их производные и продукты конденсации – олигосахариды и полисахариды. В поверхностные воды углеводы поступают главным образом вследствие процессов прижизненного выделения водными организмами и их посмертного разложения. Значительные количества растворенных углеводов попадают в водные объекты с поверхностным стоком в результате вымывания их из почв, торфяников, горных пород, с атмосферными осадками, со сточными водами дрожжевых, пивоваренных, сахарных, целлюлозно-бумажных и других заводов.

В поверхностных водах углеводы находятся в растворенном и взвешенном состоянии в виде свободных редуцирующих сахаров (смесь моно, ди- и трисахаридов) и сложных углеводов.

Концентрация в речных водах свободных редуцирующих сахаров и сложных углеводов в пересчете на глюкозу составляет 100–600 и 250–1000 мкг/дм<sup>3</sup>. В воде водохранилищ концентрация их соответственно равна 100–400 и 200–300 мкг/дм<sup>3</sup>, в воде озер пределы возможных концентраций редуцирующих сахаров 80–65000 мкг/дм<sup>3</sup> и сложных углеводов 140–6900 мкг/дм<sup>3</sup> – более широки, чем в реках и водохранилищах. В морских водах суммарная концентрация углеводов составляет 0–8 мг/дм<sup>3</sup>, в атмосферных осадках 0–4 мг/дм<sup>3</sup>. Наблюдается корреляция между содержанием углеводов и интенсивностью развития фитопланктона.

*Жиры.* Жиры представляют собой полные сложные эфиры глицерина и жирных кислот (стеариновой, пальмитиновой, олеиновой).

Жиры, присутствующие в природных водах, являются главным образом результатом метаболизма растительных и животных организмов и их посмертного разложения. Жиры образуются при фотосинтезе и биосинтезе и входят в состав внутриклеточных и резервных липидов. Высокие концентрации жиров в воде связаны со сбросом в водные объекты сточных вод предприятий пищевой и кожевенной промышленности, а также хозяйственно-бытовых сточных вод. По-

нижение содержания жиров в природных водах связано с процессами их ферментативного гидролиза и биохимического окисления.

Жиры находятся в поверхностных водах в растворенном, эмульгированном и сорбированном взвешенными веществами и донными отложениями состояниях. Они входят в состав более растворимых сложных соединений с белками и углеводами, которые находятся в воде как в растворенном, так и в коллоидном состояниях.

Попадая в водный объект в повышенных концентрациях, жиры ухудшают его кислородный режим, органолептические свойства воды, стимулируют развитие микрофлоры.

Содержание жиров в поверхностных водах колеблется от сотых долей миллиграмма до нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>.

*Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ).* СПАВ представляют собой обширную группу соединений, различных по своей структуре, относящихся к разным классам. Эти вещества способны адсорбироваться на поверхности раздела фаз и понижать вследствие этого поверхностную энергию (поверхностное натяжение). В зависимости от свойств, проявляемых СПАВ при растворении в воде, их делят на анионоактивные вещества (активной частью является анион), катионоактивные (активной частью молекул является катион), амфолитные и неионогенные, которые совсем не ионизируются.

Анионоактивные СПАВ в водном растворе ионизируются с образованием отрицательно заряженных органических ионов. Из анионоактивных СПАВ широкое применение нашли соли сернокислых эфиров (сульфаты) и соли сульфокислот (сульфонаты). Радикал R может быть алкильным, алкиларильным, алкилнафтальным, иметь двойные связи и функциональные группы.

Катионоактивные СПАВ – вещества, которые ионизируются в водном растворе с образованием положительно заряженных органических ионов. К ним относятся четвертичные аммониевые соли, состоящие из: углеводородного радикала с прямой цепью, содержащей 12–18 атомов углерода; метильного, этильного или бензильного радикала; хлора, брома, иода или остатка метил- или этилсульфата.

Амфолитные СПАВ ионизируются в водном растворе различным образом в зависимости от условий среды: в кислом растворе проявляют катионоактивные свойства, а в щелочном – анионоактивные.

Неионогенные СПАВ представляют собой высокомолекулярные соединения, которые в водном растворе не образуют ионов.

В водные объекты СПАВ поступают в значительных количествах с хозяйственно-бытовыми (использование синтетических моющих средств в быту) и промышленными сточными водами (текстильная, нефтяная, химическая промышленность, производство синтетических каучуков), а также со стоком с сельскохозяйственных угодий (в качестве эмульгаторов входят в состав инсектицидов, фунгицидов, гербицидов и дефолиантов).

Главными факторами понижения их концентрации являются процессы биохимического окисления, сорбция взвешенными веществами и донными отложениями. Степень биохимического окисления СПАВ зависит от их химического строения и условий окружающей среды.

По биохимической устойчивости, определяемой структурой молекул, СПАВ делят на мягкие, промежуточные и жесткие с константами скорости биохимического окисления, соответственно не менее  $0,3 \text{ сутки}^{-1}$ ;  $0,3-0,05 \text{ сутки}^{-1}$ ; менее  $0,05 \text{ сутки}^{-1}$ . К числу наиболее легко окисляющихся СПАВ относятся первичные и вторичные алкилсульфаты нормального строения. С увеличением разветвления цепи скорость окисления понижается, и наиболее трудно разрушаются алкилбензолсульфонаты, приготовленные на основе тетрамеров пропилена.

При понижении температуры скорость окисления СПАВ уменьшается и при  $0-5^\circ\text{C}$  протекает весьма медленно. Наиболее благоприятные для процесса самоочищения от СПАВ нейтральная или слабощелочная среды (рН 7–9).

С повышением содержания взвешенных веществ и значительным контактом водной массы с донными отложениями скорость снижения концентрации СПАВ в воде обычно повышается за счет сорбции и соосаждения. При значительном накоплении СПАВ в донных отложениях в аэробных условиях происходит окисление микрофлорой донного ила. В случае анаэробных условий СПАВ могут накапливаться в донных отложениях и становиться источником вторичного загрязнения водоема.

Максимальные количества кислорода (БПК), потребляемые  $1 \text{ мг/дм}^3$  различных ПАВ колеблется от 0 до  $1,6 \text{ мг/дм}^3$ . При биохимическом окислении СПАВ, образуются различные промежуточные продукты распада: спирты, альдегиды, органические кислоты и др. В результате распада СПАВ, содержащих бензольное кольцо, образуются

фенолы.

В поверхностных водах СПАВ находятся в растворенном и сорбированном состоянии, а также в поверхностной пленке воды водного объекта. В слабозагрязненных поверхностных водах концентрация СПАВ колеблется обычно в пределах тысячных и сотых долей миллиграмма в 1 дм<sup>3</sup>. В зонах загрязнения водных объектов концентрация повышается до десятых долей миллиграмма, вблизи источников загрязнения может достигать нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>.

Попадая в водоемы и водотоки, СПАВ оказывают значительное влияние на их физико-биологическое состояние, ухудшая кислородный режим и органолептические свойства, и сохраняются там долгое время, так как разлагаются очень медленно. Отрицательным, с гигиенической точки зрения, свойством ПАВ является их высокая пенообразующая способность. Хотя СПАВ не являются высокотоксичными веществами, имеются сведения о косвенном их воздействии на гидробионтов. При концентрациях 5–15 мг/дм<sup>3</sup> рыбы теряют слизистый покров, при более высоких концентрациях может наблюдаться кровотечение жабр.

ПДК<sub>в</sub> СПАВ составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

*Смолистые вещества.* Некоторые растения вырабатывают сложные по химическому составу смолистые вещества. Наиболее токсичны для рыб и представителей планктона смолистые вещества, выделяемые хвойными породами (сосна, ель).

Смолистые вещества поступают в поверхностные воды в результате лесосплава, а также со стоками гидролизной промышленности (переработка непищевого растительного сырья).

ПДК<sub>вр</sub> для смолистых веществ, вымываемых из хвойных пород древесины – ниже 2 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Водорастворимый сульфатный лигнин.* Лигнин представляет собой высокомолекулярное соединение ароматической природы. Различают три класса лигнинов: лигнин хвойной древесины, лиственной древесины и травянистых растений. Общей структурной единицей всех видов лигнина является фенилпропан. Различия связаны с разным содержанием функциональных групп. В растворенной форме сульфатный лигнин поступает в поверхностные водоемы со сточными водами предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (сульфатная варка целлюлозы).

Важнейшим свойством лигнина является его склонность к реакциям конденсации. В природных водах лигнин разрушается примерно через 200 суток. При разложении лигнина появляются токсичные низкомолекулярные продукты распада (фенолы, метанол, карбоновые кислоты).

ПДК<sub>в</sub> – 5 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК<sub>вр</sub> – 2 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

*Хлорорганические соединения.* Хлорорганические соединения относят к суперэкотоксикантам – чужеродным веществам, которые отличаются уникальной биологической активностью, распространяются в окружающей среде далеко за пределы своего первоначального местонахождения и уже на уровне микропримесей оказывают негативное воздействие на живые организмы.

К хлорорганическим соединениям относят полихлорированные диоксины, дибензофураны, бифенилы, а также хлорорганические пестициды.

Диоксины хорошо растворимы в органических растворителях и практически нерастворимы в воде. Среди других характеристик диоксинов следует указать на их высокую адгезионную способность, в том числе к почве, частичкам золы, донным отложениям, что способствует их накоплению и миграции в виде комплексов с органическими веществами и поступлению в воздух, воду и пищевые продукты.

Однако опасность диоксинов состоит не столько в острой токсичности, сколько в кумулятивном действии и отдаленных последствиях. В настоящее время признано недопустимым присутствие диоксинов в продуктах питания, воздухе и питьевой воде. Однако достичь этого при наличии в окружающей среде больших количеств указанных ксенобиотиков практически невозможно. Поэтому санитарно-гигиеническими службами и органами охраны природы большинства развитых стран установлены нормы допустимого поступления диоксинов в организм человека, а также предельно-допустимые концентрации или уровни их содержания в различных средах.

*Хлорированные бифенилы (трихлордифенил, бихлордифенил).* В воду хлорированные бифенилы попадают главным образом за счет сброса промышленных отходов в реки, а также из отбросов судов. Они накапливаются в иловых отложениях водоемов (в воде рек и лиманов содержится 50–500 мг/дм<sup>3</sup>).

В почву хлорированные бифенилы попадают при использовании ила в качестве удобрения и с полей орошения.

Снижение содержания их в почве происходит благодаря испарению и биотрансформации: период полураспада около 5 лет.

Хлорированные бифенилы обнаружены во всех объектах окружающей среды и всех звеньях биологических цепей, в частности, яйцах птиц; они весьма устойчивы к воздействию факторов окружающей среды.

Хлорированные бифенилы – высокотоксичные соединения, поражающие печень и почки. Их хроническое действие сходно с действием хлорпроизводных нафталина. Они вызывают порфирию: активируют микросомные ферменты печени. С повышением содержания хлора в молекуле хлорбифенилов это последнее свойство усиливается.

Хлорбифенилы обладают эмбриотоксическим действием. По-видимому, токсическое действие хлорированных бифенилов связано с образованием высокотоксичных полихлордибензофуранов и полихлордибензодиоксинов. Медленно накапливаются в организме. Хлорированные бифенилы оказывают выраженное влияние на репродуктивную функцию.

*Пестициды.* К пестицидам относят химические вещества, применяемые для борьбы с различными вредными организмами: растительноядными клещами (акарициды), насекомыми (инсектициды), бактериями (бактерициды), высшими растениями (гербициды), грибами (фунгициды), моллюсками (лимациды), круглыми червями (нематоциды), паразитическими червями у животных (антигельминты), тлей (афицид), личинками и гусеницами (ларвициды) и др. В эту группу веществ обычно включают и антисептики, применяемые для предохранения неметаллических материалов от разрушения микроорганизмами, а также вещества, употребляемые для предуборочного удаления листьев с растений (дефолианты), вызывающие обезвоживание тканей растений, что ускоряет их созревание и облегчает уборку урожая (десиканты), предпосевную обработку семян (протравители семян) и др.

Пестициды подразделяются на два основных класса: хлорорганические и фосфорорганические. Хлорорганические пестициды представляют собой хлорпроизводные многоядерных углеводов (ДДТ), циклопарафинов (гексахлорциклогексан), соединения диенового ряда (гептахлор), алифатических карбоновых кислот (пропанид) и

др.

Важнейшей отличительной чертой большинства хлорорганических соединений является стойкость к воздействию различных факторов окружающей среды (температура, солнечная радиация, влага и др.) и нарастание концентрации их в последующих звеньях биологической цепи (например, содержание ДДТ в гидробионтах может превышать содержание его в воде на один–два порядка). Хлорорганические инсектициды обладают значительно большей токсичностью для рыб.

Фосфорорганические пестициды представляют собой сложные эфиры: фосфорной кислоты – диметилдихлорвинилфосфат (ДДВФ); тиофосфорной – метафос, метилнитрофос; дитиофосфорной – карбофос, рогор; фосфоновой – хлорофос. Преимуществом фосфорорганических пестицидов является их относительно малая химическая и биологическая устойчивость. Большая часть их разлагается в растениях, почве, воде в течение одного месяца, но отдельные инсектициды и акарициды внутрирастительного действия (рогор, сейфос и др.) могут сохраняться в течение года.

Некоторые химические препараты могут действовать на вредные организмы только при непосредственном контакте (контактные пестициды). Для проявления действия такой препарат обязательно должен войти в непосредственное соприкосновение с объектом воздействия. Контактные гербициды должны, например, иметь контакт со всеми частями уничтожаемого растения, в противном случае возможно отрастание сорных растений. Контактные инсектициды в большинстве случаев проявляют свое действие при соприкосновении с любой частью тела насекомого. Системные пестициды способны передвигаться по сосудистой системе растения и в ряде случаев, по сосудистой системе животного. Они часто оказываются более эффективными, чем препараты контактного действия. Механизм действия системных фунгицидов в большинстве случаев существенно отличается от такового для инсектицидов. Если инсектициды поражают сосущих членистоногих в результате попадания яда в организм вредителя, то фунгициды в основном способствуют повышению устойчивости растения к данному виду заболевания.

Основным источником поступления пестицидов в водные объекты является поверхностный сток талых, дождевых и грунтовых вод с сельскохозяйственных угодий, коллекторно-дренажные воды, сбрасываемые в водоемы.

сываемые с орошаемых территорий. Пестициды также могут вноситься в водные объекты во время их обработки с целью уничтожения нежелательных водных растений и других гидробионтов, со сточными водами промышленных предприятий, производящих ядохимикаты, непосредственно при обработке полей пестицидами с помощью авиации, при небрежной транспортировке их водным транспортом и при хранении. Несмотря на большой вынос стойких пестицидов в водную среду, содержание их в природных водах относительно невелико из-за быстрой кумуляции пестицидов гидробионтами и отложения в илах. Коэффициенты кумуляции (во сколько раз содержание химического вещества больше в гидробионтах, чем в воде) составляют от 3–10 до 1000–500000 раз.

В поверхностных водах пестициды могут находиться в растворенном, взвешенном и сорбированном состояниях. Хлорорганические пестициды содержатся в поверхностных водах обычно в концентрациях  $n \cdot 10^{-5}$ – $n \cdot 10^{-3}$  мг/дм<sup>3</sup>, фосфорорганические –  $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-2}$  мг/дм<sup>3</sup>.

*Гербициды. Рамрод (ацилид, нитицид, шатецид, пропахлор).* Рамрод – гербицид, представляющий собой белое кристаллическое вещество с периодом разложения в почве до нетоксичных продуктов – до 2-х месяцев.

Рамрод используется для борьбы с сорными растениями при возделывании капусты, лука, брюквы, турнепса, чеснока, кукурузы и некоторых других культур. ПДК<sub>в</sub> – 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, в рыбохозяйственных водоемах содержание препарата не допускается.

*Сатурн (рисан, болеро, тиобенкарб, бентиокарб).* Сатурн – гербицид, применяемый для борьбы с просовидными сорными растениями при возделывании риса.

Препарат представляет собой светлую труднорастворимую в воде жидкость, нетоксичную для пчел и других насекомых. Меры предосторожности при использовании сатурна – как со среднетоксичными пестицидами. ПДК<sub>в</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, ПДК<sub>вр</sub> – 0,0002 мг/дм<sup>3</sup>.

*Симазин (аквазин, гезатон, принцеп).* Симазин – гербицид, применяемый для уничтожения сорняков в посевах кукурузы, в садах, виноградниках, на плантациях чая. Это белое кристаллическое вещество, легко гидролизуемое в воде с образованием циануровой кислоты. Меры предосторожности при использовании симазина – как с малотоксичными пестицидами.

Симазин обладает широким спектром действия на однолетние

сорные растения и большой продолжительностью сохранения в почве. В нашей стране симазин рекомендован на кукурузе, озимой пшенице и ржи, на картофеле, землянике, крыжовнике, малине и др. В больших дозах симазин может быть использован для сплошного уничтожения растений на несельскохозяйственных участках (территории железных дорог и аэродромов). В почве симазин сохраняется длительное время.

Симазин практически нетоксичен для птиц и пчел. Содержание препарата в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения не допускается, ПДК<sub>вр</sub> – 0,0024 мг/дм<sup>3</sup>.

*Инсектициды. Альдрин (аглюкон, вератокс, ГГДН, картофин, окталин, соединение 118).* Альдрин – инсектицид, отличающийся большой устойчивостью, кумулятивностью и токсичностью. Это сильнодействующее ядовитое вещество, которое поражает внутренние органы (печень, почки). В РФ применение альдрина не разрешено.

Ранее альдрин широко использовался для протравливания семян и опрыскивания хлопчатника. В почве, растениях, в организме насекомых и позвоночных альдрин метаболизируется с образованием дильдрина. В почве данный инсектицид сохраняется долгое время: через год после опрыскивания обнаруживается 90 %, а через 3 года – 72–80 % использованного препарата. При 24–40°С 4–8 % альдрина превращается в дильдрин.

Альдрин придает воде специфический запах и горько-вяжущий привкус. Порог ощущения запаха соответствует концентрации 0,03 мг/дм<sup>3</sup>, привкус возникает при концентрации 0,002 мг/дм<sup>3</sup>. В концентрациях 0,02–0,1 мг/дм<sup>3</sup> препарат не изменяет процессов биохимического окисления органических соединений, а при концентрациях 1–10 мг/дм<sup>3</sup> повышает БПК и оказывает стимулирующее влияние на развитие сапрофитной микрофлоры воды.

ПДК<sub>в</sub> – 0,002 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический).

*Карбофос (малатион, сумитокс, фостион, цитион).* Карбофос, представляющий собой бесцветную жидкость – инсектицид многофункционального действия: акарицид, нематицид, ларвицид. Меры предосторожности при использовании карбофоса – как со среднетоксичными пестицидами.

Препарат применяется для борьбы с вредными насекомыми и клещами на многих сельскохозяйственных культурах: плодовых, овощных, ягодных, зерновых. Карбофос эффективен на чайных план-

тациях, на хлопчатнике, рекомендован для борьбы с вредителями хлебных запасов в зернохранилищах.

ПДК<sub>в</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), содержание препарата в воде рыбохозяйственных водоемов не допускается.

*Хлорофос (трихлорфон, дилокс, диоксафос, тугон, рицифон, метрифонат).* Хлорофос – инсектицид, антигельминтик, афицид. Препарат, представляющий собой белый кристаллический порошок, широко применяется для борьбы с различными вредителями растений и паразитами животных. Хлорофос разлагается на свету, а также в щелочной среде, где протекает дегидрохлорирование. В природных водах он постепенно гидролизует, окончательными продуктами гидролиза являются хлорацетальдегид и фосфорная кислота. Хлорофос проявляет умеренные кумулятивные свойства. Препарат обладает раздражающим действием, проявляет незначительные кумулятивные свойства. При использовании хлорофоса необходимо соблюдать меры предосторожности как при обращении со среднетоксичными пестицидами. Не допускается остаточное содержание в продуктах животноводства.

ПДК<sub>в</sub> – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> (лимитирующий показатель вредности – органолептический), содержание препарата в воде рыбохозяйственных водоемов не допускается.

## Глава 13. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

### 13.1. Основные группы гидробионтов

Гидробионты – организмы, постоянно обитающие в водной среде. К гидробионтам также относятся организмы, живущие в воде часть жизненного цикла.

Разнообразие населения гидросферы нашей планеты (около 250 тыс. видов) заметно беднее населения суши – из-за огромного числа видов насекомых в наземных сообществах. Однако, если сравнение вести по крупным таксонам, получается иная картина. В гидросфере представлены все типы и, по подсчетам академика Л.А. Зенкевича, 90 % классов животных, подавляющее большинство (85 %) которых обитает только в воде.

Напомним, что к наиболее крупным экологическим зонам водоемов относятся их толща, или пелагиаль (pelagos – открытое море), дно с прилегающим к нему слоем воды, или бенталь (bentos – глубина), и поверхностный слой воды, граничащий с атмосферой, или нейсталь (nein – плавать).

Среди населения пелагиали различают представителей планктона, среди которых выделяется фито- и зоопланктон (planktos – парящий) и нектона (nektos – плавающий). К первым относятся формы, либо вовсе не способные к активным движениям, либо не способные противостоять потокам воды, переносящим их с места на место – водоросли, простейшие, рачки, коловратки и другие мелкие организмы. Своеобразной жизненной формой является криопланктон – население талой воды, образующейся под лучами солнца в трещинах льда и пустотах снега. Днем организмы криопланктона ведут активный образ жизни, а ночью вмерзают в лед. Некоторые из них при массовом развитии могут даже окрашивать снег или лед. Гидробионты, приспособленные к донному образу жизни, называются бентосом, который делится на фито- и зообентос.

К нектонным формам принадлежат крупные животные, двигательная активность которых достаточна для преодоления водных течений (рыбы, кальмары, млекопитающие).

Приспособления планктонных и нектонных организмов к пелагическому образу жизни сводятся прежде всего к обеспечению плавуче-

чести, т.е. предотвращению или замедлению погружения под действием силы тяжести.

Это может быть достигнуто за счет повышения трения о воду. Чем меньше тело, тем больше его удельная поверхность и больше трение. Поэтому наиболее характерная черта планктонных организмов – малые и микроскопические размеры.

Увеличение удельной поверхности может достигаться также при уплощении тела, образовании всевозможных выростов, шипов и других придатков. С ухудшением условий плавучести (повышение температуры, понижение солености) часто наблюдается и изменение формы тела планктонных организмов. Например, в Индийском океане жгутиковые *Ceratium reticulatum* и *C. palmatum* имеют гораздо более длинные разветвленные придатки, чем в расположенной восточнее Атлантики, где вода холоднее. В какой-то мере с сезонными колебаниями температуры, сопровождающимися изменением плотности и вязкости воды, связан и цикломорфоз рачков, коловраток и других организмов – при потеплении образуются поколения с менее компактной формой тела, а с похолоданием наблюдается обратная картина<sup>1</sup>.

Второй путь увеличения плавучести – уменьшение остаточной массы, т.е. разницы между массой организма и вытесненной им воды. Это может достигаться за счет повышения содержания воды в теле – ее количество у некоторых сальп, гребневиков, медуз достигает 99 %, благодаря чему их способность к пассивному передвижению становится практически безграничной.

У плавающих организмов происходит редукция тяжелых скелетных образований, например, у пелагических моллюсков (головоногих, крылоногих, килевоногих<sup>2</sup>) – раковины. У пелагических корненожек раковинка более пористая, чем у бентосных. Планктонные диатомовые водоросли отличаются от придонных более тонкими и слабее окремненными оболочками. У многих радиолярий кремниевые иглы становятся полыми. У многих плавающих черепах заметно редуцируются кости панциря.

Широко распространенный способ снижения плотности у гидробионтов – накопление жира. Богаты им радиолярии *Spumellaria*, ветвистоусые и веслоногие рачки. Жировые капли имеются в пелагической икре ряда рыб. Жир вместо тяжелого крахмала в качестве запасного питательного вещества накапливается у планктонных, диатомовых и зеленых водорослей. У некоторых, рыб, таких как гигантская

акула (*Cetorhinus maximus*), луна-рыба (*Mola mola*), в теле так много жира, что они почти без всяких активных движений могут держаться у поверхности воды, где питаются планктоном. Часто накопление жира сопровождается и характерными изменениями в его составе. Например, у акул рода *Centrophorus* жировые отложения на 90 % представлены наиболее легким липидом – скваленом.

Эффективное средство повышения плавучести – газовые включения в цитоплазме или специальные воздушные полости. Газовые вакуоли есть у многих планктонных водорослей. У бурых водорослей рода *Sargassum* накопление газовых пузырей на талломах превратило их из донных в гипонейстонные (приповерхностные) формы. Газовый пузырек в своей цитоплазме имеют раковинные амёбы, воздухоносные камеры есть в подошве плавающих вниз щупальцами медуз. Плавательный пузырь, наполненный газом, свойствен многим рыбам (но у глубоководных форм, в условиях больших давлений, плавательный пузырь часто заполняется липидами). Наибольшего развития воздухоносные полости достигают у ряда сифонофор, благодаря чему их тело<sup>3</sup> становится даже легче воды и сильно выступает из нее.

Другой ряд адаптаций пелагических организмов связан с характером их передвижения. Такой вид активного плавания осуществляется с помощью жгутиков, ресничек, изгибания тела, гребли конечностями и реактивным способом. Передвижение с помощью ресничек и жгутиков эффективно только при небольших размерах (0,05–0,2 мм) и потому наблюдается лишь у микроскопических организмов. Движение путем изгибания тела характерно для более крупных обитателей пелагиали. В одних случаях (пиявки, немертины) изгибания совершаются в вертикальной плоскости, в других – в горизонтальной (личинки насекомых, рыбы, змеи), в третьих – винтообразно (некоторые полихеты). Наибольшие скорости движения достигаются изгибанием заднего отдела тела в горизонтальной плоскости. Например, меч-рыба (*Xiphias gladius*) способна развивать скорость до 130 км/ч. Весьма эффективно плавание реактивным способом. Среди простейших оно свойственно, например, жгутиковому *Medusochloris phiale* и инфузории *Craspedotella pileotus*, тело которых имеет колоколообразную форму и при сокращении выбрасывает наполняющую его воду. Сокращая колокол, движутся медузы. Подобно колоколу медуз, работают щупальца с натянутой между ними перепонкой у голотурии *Pelagothuria* и головоногих моллюсков рода *Cirrothauma*. Особенно со-

вершено реактивное движение у ряда головоногих моллюсков, которых часто называют «живыми ракетами».

Для обеспечения быстроты движения у гидробионтов вырабатывается обтекаемая форма тела; высокой скорости движения способствуют выделение слизи, снижающее трение (рыбы, головоногие моллюски), и специфическое строение кожных покровов – сопротивление воды телу движущегося дельфина в несколько раз меньше, чем равно-великой модели такой же формы.

Тело плавающих животных, имеющих отрицательную плавучесть, как правило, более выпукло сверху, а у организмов с положительной плавучестью – снизу. В результате во время движения действует, дополнительная подъемная или соответственно заглубляющая сила, благодаря чему активно передвигающиеся животные почти не тратят энергии на поддержание своего положения в толще воды.

Активное передвижение в воде может также осуществляться за счет прыжков. К таким движениям способны многие коловратки, ракообразные, личинки насекомых, рыбы, млекопитающие. Во время прыжка скорость движения во много раз выше, чем при плавании. Например, коловратка *Scaridium eudactylosum* плавает со скоростью 0,25 мм/с, а совершая прыжок, достигает 6 мм/с. Рачки-эвфаузииды, обычно плавающие со скоростью не более 8 см/с, способны делать резкие прыжки в любом направлении. После быстрого броска планктонные организмы замирают, дезориентируя хищников.

Некоторые пелагические животные, разгоняясь в воде, выпрыгивают из нее, совершая планирующий полет в воздухе. Характерны частые прыжки из воды в воздух рачков «летающих копепод» *Pontellidae* – у черноморских форм такие прыжки могут достигать 15 см в высоту и 15–20 см в длину.

К полету способны многие головоногие моллюски и рыбы. Кальмар *Stenoteuthis bartrami* длиной 30–40 см, разогнавшись в воде, может пролетать над морем более 50 м со скоростью около 50 км/ч. К такому полету он прибегает, спасаясь от хищников. Так же спасаются от них летучие рыбы (сем. *Echocoetidae*), обитающие в тропических и субтропических морях. Они разгоняются в воде до скорости 30 км/ч, резко увеличивают ее на поверхности при отрыве от воды – до 60–65 км/ч и пролетают 100–200 м, а иногда и до 400 м.

Наконец, третьей формой активного перемещения у водных организмов является скольжение. Среди пелагических организмов оно

наблюдается у мелких форм, например у дитомовых водорослей, и обеспечивается контактом движущейся цитоплазмы с водой.

Трехмерность водной среды обитания позволяет выделять также способы перемещения организмов в вертикальной плоскости – всплытие и погружение. Активное движение такого рода за счет изменения плотности характерно для многих представителей фитопланктона и мелкого зоопланктона, реже оно встречается у крупных животных. Окружая себя микроскопическими пузырьками кислорода, выделяемого при фотосинтезе, водоросли всплывают, а сбросив с себя эти «поплавки», движутся вниз. Принципиально сходен с этим механизм вертикального перемещения водорослей за счет попеременного накопления в клетках тяжелых или легких ионов, в результате чего происходит изменение плотности. Регулируя ее, водоросли удерживаются в горизонтах воды, благоприятных по освещенности и содержанию биогенных элементов. У мелких беспозвоночных изменение плотности и соответствующее перемещение по вертикали достигается образованием временных газовых камер, например вакуолизации цитоплазмы у многих простейших. Крупные организмы, имеющие постоянные газовые камеры, регулируют их объем и благодаря этому перемещаются вверх или вниз. Чрезвычайно распространено движение организмов вверх с помощью локомоторных органов, а вниз – под действием силы тяжести.

Помимо активного передвижения, в водных сообществах широко распространено пассивное перемещение организмов. Подвижность самой среды обитания (масс воды) позволяет гидробионтам широко использовать природные силы для расселения, смены биотопов, перемещения в поисках пищи, мест размножения и других целей, компенсируя таким путем недостаточность средств активного передвижения или просто экономя энергию. Естественно, что из обитателей пелагиали планктонные формы перемещаются за счет внешних сил в большем масштабе, чем нектонные.

В реках пассивно скатывающаяся молодь рыб использует течения для перемещения к устьям. Морские течения, обладающие большой протяженностью и высокой скоростью, способны перемещать растения и животных на тысячи километров. Например, личинки европейского угря (*Anguilla anguilla*), вышедшие из икры в центральной части Атлантического океана, с потоками течений Гольфстрим и Северо-Атлантического в течение 2,5–3 лет пассивно дрейфуют к бере-

гам Европы, преодолевая расстояние в 7–8 тыс. км. Водами Гольфстрима тепловодные сифонофора *Physophora hydrostatica* и зеленая водоросль *Halosphaera viridis* заносятся до Лафотенских островов и Новой Земли. Личинки некоторых брюхоногих моллюсков и десятиногих раков с помощью течений могут пересекать океаны от берега к берегу.

Временно прикрепленные планктонные организмы могут перемещаться с кораблями, плавающими предметами, другими гидробионтами. Многие представители морского и пресноводного планктона могут вмерзать в лед и перемещаться вместе с ним. Интересно, что покоящиеся стадии планктонных организмов могут переноситься и воздушными течениями! Когда водоемы частично или полностью пересыхают, ветер, поднимая пыль с обсохшего грунта, переносит вместе с ней и их, обеспечивая расселение по другим водоемам.

Наряду с горизонтальными пассивными перемещениями у гидробионтов существуют и вертикальные, обусловленные выходом глубинных вод на поверхность, или погружением поверхностных вод в глубину. Наибольший размах вертикальных перемещений водных организмов токами воды наблюдается в умеренных и приполярных водах в зонах перемешивания водных масс.

Многим представителям планктона и нектона свойственны миграции – массовые перемещения, регулярно повторяющиеся во времени и пространстве. Такие перемещения могут совершаться и в горизонтальном, и в вертикальном направлениях – в те участки ареала, где в данное время условия наиболее благоприятны.

Массовые активные перемещения в горизонтальном направлении совершают, главным образом, представители нектона, особенно рыбы и млекопитающие. Миграции, направленные из открытого моря к его берегам и в реки, называются анадромными, а имеющие противоположное направление – катадромными. Горизонтальные миграции нектонных организмов могут достигать очень большой протяженности. Креветка *Penaeus plebejus* преодолевает расстояние до 1 тыс. км и более. Тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* – нерка, чавыча, горбуша, кета и другие, идущие на нерест из океана в реки, проплывают 3–4 тыс. км. Путь в 7–8 тыс. км преодолевают взрослые угри, идущие на нерест из рек Европы в Саргассово море. Грандиозны миграции тунцов, некоторых китообразных. Покрывая огромные расстояния во время миграций, животные обнаруживают поразительные навига-

онные способности. Например, тихоокеанские лососи неизменно идут на нерест в реки, в которых появились на свет.

Планктонные организмы могут мигрировать и пассивным путем, используя, например, течения – как те же личинки угрей.

Многим водным организмам свойственны суточные вертикальные миграции. Размах их в морях обычно составляет 50–200 м и более, а в пресных водоемах с малопрозрачной водой может не превышать несколько десятков сантиметров. Особенно сложна картина суточных миграций у представителей зоопланктона, большинство которых в темное время суток концентрируется у поверхности, а днем – в более глубоких слоях. Своеобразны миграции глубоководного планктона, поднимающего на глубины 200–300 м ночью и опускающегося днем на многие сотни метров (иногда – наоборот). Экологическое значение таких миграций разнообразно и во многих случаях еще не ясно.

Помимо суточных, вертикальные миграции гидробионтов могут носить сезонный характер или быть связанными с изменением образа жизни в ходе индивидуального развития.

В бентали жизненные формы гидробионтов представлены бентосом – организмами, обитающими на поверхности грунта и в его толще (соответственно, эпи- и эндобентос) и перифитоном (*peri* – вокруг, *phyton* – растение) – совокупностью организмов, поселяющихся на различных предметах и телах других организмов.

К наиболее массовым представителям бентоса относятся бактерии, актиномицеты, водоросли, грибы, простейшие (особенно корнежки и инфузории), губки, кораллы, кольчатые черви, ракообразные, личинки насекомых, моллюски, иглокожие. В состав перифитона также входят бактерии, водоросли, грибы, простейшие, губки, мшанки, черви, усоногие ракообразные, двустворчатые моллюски и другие беспозвоночные. Перифитонные организмы селятся на днищах кораблей, корягах, бревнах и иных плавающих предметах, на растениях и животных. В ряде случаев четкую границу между бентосом и перифитоном провести невозможно, например, в случае обрастания скал и различных предметов на дне.

Приспособления гидробионтов к бентосному и перифитонному образу жизни прежде всего сводятся к развитию средств удержания на твердом субстрате, защите от засыпания оседающей взвесью осадков, к выработке наиболее эффективных способов передвижения. Очень

характерны для организмов бентоса и перифитона приспособления к временному переходу к пелагическому образу жизни, что обеспечивает этим малоподвижным формам возможность расселения.

Удержание на твердом субстрате достигается различными путями. Прикрепление к субстрату наблюдается у многих растений, простейших, губок, кишечнополостных, червей, моллюсков, ракообразных и других гидробионтов. Прикрепление может быть временным или постоянным, а по своему механизму – пневматическим (присасывательным), в виде сплошного прирастания, или корневидным – с помощью нитей. Присасывательное прикрепление наблюдается, например, у моллюсков *Ancylus*, пиявок, актиний. Сплошное прирастание может быть известковым (кораллы), хитиновым или рогоподобным (моллюски, усоногие раки). Прикрепление с помощью корней и ризоидов характерно для высших растений и многих водорослей (например, ламинарии). Прикрепление нитями биссуса свойственно ряду двустворчатых моллюсков (мидия, дрейссена).

Другая форма удержания – заглубливание в субстрат: частичное или полное закапывание в грунт или внедрение в твердые породы путем их высверливания и протачивания. Закапываться способны многие моллюски, иглокожие, черви, личинки насекомых и даже некоторые рыбы. Например, некоторые морские угри выкапывают на песчаном дне норку, куда прячутся при опасности. К временному закапыванию в грунт приспособились также разные крабы, креветки, головоногие моллюски, рыбы (например, камбала). Внедряются в твердые субстраты, разрушая их механически или химически (растворение кислотами), некоторые губки, моллюски, иглокожие, ракообразные.

В качестве защиты от засыпания слоем осадков у бентосных организмов разных систематических групп конвергентно вырабатывается приподнятие над грунтом за счет соответствующей формы тела и вытягивания вверх в процессе роста. Наиболее распространенная форма тела прикрепленных донных организмов – конусообразная, воронковидная, грибообразная, во всех случаях более тонкая снизу (губки, одиночные кораллы, моллюски). У морских лилий имеется длинный стебелек, с помощью которого они прикрепляются к грунту, а стеклянные губки рода *Euplectella* имеют вид вытянутой вверх трубки. Наряду с вытягиванием вверх, защита от засыпания взвесью у прикрепленных организмов достигается поселением на субстратах, возвышающихся над дном. Прирастают к скалам и камням, различным

предметам и организмам усоногие рачки, моллюски дрейссены, мшанки. Растения спасает от засыпания их быстрое нарастание.

По степени подвижности среди бентосных и перифитонных организмов выделяют формы бродячие (крабы, осьминоги, морские звезды), слабо перемещающиеся (моллюски, морские ежи) и прикрепленные (губки, мшанки, кораллы). В целом в этой группе способность к активным движениям выражена слабее, чем у пелагических организмов. Однако малая подвижность бентосных и перифитонных видов во взрослом состоянии обычно компенсируется высокой мобильностью их молодежи, ведущей пелагической образ жизни.

Миграции вниз по течению ручьев и рек совершают многие ракообразные и личинки насекомых. Для этого они поднимаются в толщу воды и, проплыв некоторое расстояние, оседают на новом месте.

Наиболее значительные горизонтальные миграции во взрослом состоянии совершают крупные ракообразные. На расстояние до 200 км от побережья в открытое море перемещается осенью камчатский краб *Paralithodes camtschica*, – а весной с мест зимовки он возвращается в прибрежные воды. Массовые миграции лангустов *Panularis argus* происходят осенью с началом штормов со скоростью 1 км/ч и длятся в течение нескольких дней. Мигрируя, лангусты образуют цепочки из десятков особей, следующих строго друг за другом, касаясь своими антеннами впереди идущего.

Ряд бентосных организмов совершает и вертикальные перемещения в толще грунта, которые носят суточный и сезонный характер и могут быть связаны с защитой от хищников, поисками пищи, обеспечением кислородом.

В нейстали обитают представители нейстона (*nein* – плавать) – микроскопические или мелкие формы, населяющие приповерхностный слой воды, и плейстона (*pleusis* – плавать) – организмы крупных или средних размеров, часть тела которых погружена в воду, а часть выступает над ней.

Среди нейстонных организмов также выделяют тех, кто обитает на поверхности водяной пленки – эпинеuston. В пресных водоемах это клопы-водомерки *Gerris* и *Hydrometra*, жуки-вертячки *Cyrtinus*, мухи *Ephydra*; а на поверхности океанов многочисленны клопы-водомерки *Halobates*.

Совокупность организмов, населяющих верхний слой воды толщиной 5 см, называют гипонейстоном. Условия жизни в этом по-

верхностном слое достаточно сильно отличаются от остальной массы воды. Здесь поглощается до половины всей солнечной радиации, проникающей в воду, большая часть ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Здесь резко выражен перепад температур воды и атмосферы, здесь вследствие испарения и выпадения осадков варьирует содержание соли. А вот концентрация кислорода из-за контакта с воздухом неизменно высокая.

Для приповерхностного слоя воды характерна также высокая концентрация органических веществ, что создает благоприятные условия для питания нейстонных организмов. С одной стороны, на поверхность воды попадают трупы различных животных, летающих над водой, а также содержащая органику пыль, приносимая с суши. С другой – из глубин к поверхности всплывают остатки отмерших гидробионтов (так называемый антидождь трупов). Существенную роль в повышении концентрации органики играют также газовые пузырьки и пена – возникая в результате волнения воды, фотосинтеза, гниения и других причин, пузырьки газа адсорбируют органические вещества и транспортируют их в приповерхностный горизонт.

В составе гипонейстона преобладают гетеротрофные организмы – бактерии, простейшие, ракообразные, моллюски, насекомые, икра и молодь рыб и других гидробионтов. Интересно, что некоторые из них в качестве опоры используют нижнюю поверхность пленки воды (в пресных водах – моллюски *Limnaea*, *Physa*, рачки *Scapholeberis* и др.; в море – моллюски *Hydrobia*, *Glaucus*, *Aeolis*, личинки высших раков и др.).

Для представителей плейстона характерна двойственность адаптаций, соответствующая тому, что часть их тела находится в воде, а часть – в воздухе. У плейстонных растений устьица, например, образуются только на верхней стороне листовой пластинки, которая изогнута и покрыта восковым налетом, что обеспечивает несмачиваемость и предупреждает заливание устьиц.

Многие плейстонные организмы для своего движения используют ветер. Например, сифонофора физалия (*Physalia aretusa*) имеет крупный, до 30 см, пневматофор, окрашенный в ярко-голубой или красный цвет. Газ, наполняющий пневматофор, вырабатывается специальными газовыми железами, находящимися внутри пузыря, и по своему составу близок к атмосферному, но отличается повышенным содержанием азота и углекислого газа. Верхняя часть пневматофора

имеет вырост в виде гребня (парус), который расположен несколько по диагонали и имеет слегка выгнутую S-образную форму. Благодаря косому расположения паруса физалия ассиметрична, причем у особей, обитающих по разные стороны экватора, асимметрия зеркальная. В северном полушарии, где экваториальное течение отклоняется к северу, ветер сносит физалий к югу, а в южном, где течение отклоняется к югу, – к северу. В результате физалии, все время передвигаясь под действием ветра и течений, не выходят за пределы своего ареала.

Некоторые рыбы, например парусник (*Istiophorus platypterus*), луна-рыба (*Mola mola*), переходя временно к плейстонному образу жизни, выставляют над поверхностью воды сильно развитый спинной плавник и медленно дрейфуют, используя для передвижения силу воздушных течений.

Природным водоемам свойствен определенный химический состав. Преобладают карбонаты, сульфаты, хлориды. В пресных водоемах концентрация солей не более 0,5 г/, в морях – от 12 до 35 г/л (промилле – десятые доли процента). При солёности более 40 промилле водоем называют гипергалинным или пересоленным.

1) В пресной воде (гипотоническая среда) хорошо выражены процессы осморегуляции. Гидробионты вынуждены постоянно удалять проникающую в них воду, они гомойосмотичны (инфузории каждые 2–3 минуты «прокачивают» через себя количество воды, равное ее весу). В соленой воде (изотоническая среда) концентрация солей в телах и тканях гидробионтов одинакова (изотонична) с концентрацией солей, растворенных в воде – они пойкилоосмотичны. Поэтому у обитателей соленых водоемов осморегуляторные функции не развиты, и они не смогли заселить пресные водоемы.

2) Водные растения способны поглощать воду и питательные вещества из воды – «бульона», всей поверхностью, поэтому у них сильно расчленены листья и слабо развиты проводящие ткани и корни. Корни служат в основном для прикрепления к подводному субстрату. У большинства растений пресных водоемов есть корни.

Типично морские и типично пресноводные виды – стеногалинные, не переносят значительных изменений в солёности воды. Эвригалинных видов немного. Они обычны в солоноватых водах (пресноводный судак, щука, лещ, кефаль, приморские лососи).

В воде кислород важнейший экологический фактор. Источник его – атмосфера и фотосинтезирующие растения. При перемешивании

воды, особенно в проточных водоемах и при уменьшении температуры содержание кислорода возрастает. Некоторые рыбы очень чувствительны к дефициту кислорода (форель, гольян, хариус) и потому предпочитают холодные горные реки и ручьи. Другие рыбы (карась, сазан, плотва) неприхотливы к содержанию кислорода и могут жить на дне глубоких водоемов. Многие водяные насекомые, личинки комаров, легочные моллюски тоже толерантны к содержанию кислорода в воде, потому что они время от времени поднимаются к поверхности и заглатывают свежий воздух.

Углекислого газа в воде достаточно – почти в 700 раз больше, чем в воздухе. Он используется в фотосинтезе растений и идет на формирование известковых скелетных образований животных (раковины моллюсков, покровы ракообразных, каркасы радиолярий и др.).

В пресноводных водоемах кислотность воды, или концентрация водородных ионов, варьирует гораздо сильнее, чем в морских – от  $\text{pH}=3,7-4,7$  (кислые) до  $\text{pH}=7,8$  (щелочные). Кислотностью воды определяется во многом видовой состав растений гидробионтов. В кислых водах болот растут сфагновые мхи и живут в обилии раковинные корненожки, но нет моллюсков-беззубок (*Unio*), редко встречаются другие моллюски. В щелочной среде развиваются многие виды рдестов, элодея. Большинство пресноводных рыб живут в диапазоне  $\text{pH}$  от 5 до 9 и массово гибнут за пределами этих значений.

Кислотность морской воды убывает с глубиной.

Об экологической пластичности гидробионтов. Пресноводные растения и животные экологически более пластичны (эвритермны, эвригаленны), чем морские, обитатели прибрежных зон более пластичны (эвритермны), чем глубоководные. Есть виды, обладающие узкой экологической пластичностью по отношению к одному фактору (лотос – стенотермный вид, рачок артемия (*Artemia solina*) – стеногаленный) и широкой – по отношению к другим. Более пластичны организмы в отношении тех факторов, которые более изменчивы. И именно они распространены более широко (элодея, корненожки *Cyphoderia ampulla*). Зависит пластичность и от возраста и фазы развития.

## 13.2. Фитопланктон

Альгофлора рек складывается из трех основных компонентов: водорослей автотрофного происхождения (зеленых, синезеленых, диато-

мовых, эвгленовых и др.), перифитона (водорослей обрастания) и водорослей бентоса, вегетирующих на дне и попавших в планктон.

Развитие водорослей определяют наличие азота и фосфора, света, движение воды, ее температура и мутность. Синезеленые и зеленые водоросли развиваются при температуре от 4 до 23°C (максимальное развитие – от 19 до 23°C), большинство эвгленовых – от 2 до 28°C (максимальное их развитие наблюдается летом и в начале осени). В то же время диатомовые водоросли хорошо развиваются при низких температурах воды. Отмечено два пика их развития – весенний и осенний.

Роль фитопланктона и фитомикробентоса в формировании качества воды двоякая. С одной стороны, они являются активными агентами биологического самоочищения, поскольку выделяют кислород и поглощают биогенные элементы, непосредственно поступающие в водоем или образующиеся при разложении органических веществ. С другой стороны, новообразованное в процессе фотосинтеза органическое вещество при отмирании попадает в воду и представляет собой источник вторичного загрязнения (биологического). Как правило, биомасса фитопланктона в пределах 1 – 4 мг/л не вызывает ухудшения качества воды; при концентрации водорослей 5 – 10 мг/л оно существенно ухудшается, а при концентрации 10 – 50 мг/л и более возникает угроза биологического загрязнения и появления токсикантов.

Фитомикробентос, как правило, играет положительную роль в формировании качества воды, поскольку водоросли дна продуцируют незначительную биомассу, которая не может вызвать ощутимого вторичного биологического загрязнения.

Скорость течения как фактор, лимитирующий вегетацию водорослей и обеспечивающий удовлетворительное качество воды, проявляется для фитопланктона при скорости течения 1 м/с, для фитомикробентоса – выше 1 м/с.

Водоросли живут в основном в водной среде, но встречаются они и в почве, на скалах, на стволах деревьев, внутри известнякового субстрата, в воздухе, в горячих источниках, а также во льдах Северного полюса и Антарктиды. Самые первые сведения о водорослях нам известны из книг античного римского ученого Плиния Старшего. Он дал название этим растениям – *Algae*, что означает «травянистая морская поросль». В России в двадцатых годах XIX века естествоиспытатель И. А. Двигубский для растений, произрастающих в

воде, предложил название «водарасли», но в 1927 году ученый М. А. Максимович изменил его на «водоросли». С тех пор мы используем это название и в разговорной речи, и как научный термин.

Определение водорослей, используемое в учебниках по ботанике и научно-популярной литературе, звучит следующим образом: «Водоросли – это низшие, т. е. слоевцовые (лишенные расчленения на стебель и листья), споровые растения, содержащие в своих клетках хлорофилл и живущие преимущественно в воде».

Водоросли играют огромную роль в природе и жизни человека. В водоемах, как создатели органического вещества, они являются первым звеном пищевых цепей. По содержанию белков, жиров и углеводов водоросли не уступают селу и являются калорийной пищей для многочисленных водных животных – корненожек, червей, мелких ракообразных, ручейников и моллюсков. Некоторые пресноводные водоросли являются съедобными и для людей, они употребляются в пищу в Китае, Японии, Канаде, США, Франции, Австралии, Корее. Широко используются водоросли в животноводстве в качестве корма и кормовых добавок, так как белки, витамины и физиологически активные вещества повышают устойчивость животных к различным заболеваниям, ускоряют их рост и размножение.

Водоросли производят и выделяют в окружающую среду различные химические соединения и биологически активные вещества и таким образом оказывают воздействие на формирование качества природных вод и их органолептические свойства (вкус, цвет и запах). Так, например, *Anabaena* и *Microcystis* придают воде болотный запах, а *Asterionella* и *Synedra* – рыбный. «Цветение» воды сопровождается ухудшением ее физико-химических показателей, происходит повышение цветности, снижение прозрачности, повышение окисляемости, хлорпоглощаемости.

Сине-зеленые водоросли продуцируют токсины, обладающие широким спектром биологического действия. По характеру действия на теплокровных животных их делят на две большие группы: нейротоксины и гепатотоксины. Потребление воды, в которой массово развиваются сине-зеленые водоросли, может привести к возникновению гастроэнтеритов и других желудочно-кишечных заболеваний, сильной мышечной боли, судорог, парезов конечностей. Известны случаи заболевания людей конъюнктивитом после купания в «цветущей» воде, аллергического поражения кожных и слизистых

покровов, поражения печени присутствующими в воде гепатотоксинами водорослевого происхождения.

Развившийся в массе фитопланктон вызывает гибель мальков и взрослых рыб. Водоросли принимают активное участие в обмелении водоемов, происходящем из-за осаждения фитопланктона. Кроме того, массовое развитие водорослей оказывает и чисто механическое вредное влияние – засоряет фильтровальные устройства водопроводных станций, конденсаторы гидроэлектростанций.

Так как большинство пресноводных водорослей имеют микроскопические размеры, то увидеть их невооруженным глазом в природе возможно лишь в случае их массового развития – по изменению окраски среды обитания: воды, почвы или другого субстрата.

В стоячих водоемах при массовом развитии сине-зеленых водорослей вода приобретает голубовато-зеленый оттенок, а на поверхности ее появляются голубоватые или бирюзового цвета пенные скопления. Если на поверхности стоячих водоемов плавают сплошные ватообразные скопления зеленых нитей («тина»), – это, скорее всего, скопления нитчатых зеленых водорослей. Слизистые зеленые пленки на почве в увлажненных местах или у уреза воды водоема также указывают на присутствие водорослей. Иногда водорослями обрастают высшие водные растения, и в таком случае их можно заметить в виде тонких нитей или скользкого налета на листьях растений с нижней стороны листа, погруженной в воду. Бесформенные бурые рыхлые скопления, зеленые слизистые шарики или даже небольшие зеленые разветвленные кустики, состоящие из тонких нитей на поверхности ветки, долгое время пролежавшей в воде, тоже водоросли. Может быть, никаких оформленных обрастаний нет, только какая-то бурая рыхлая грязь у уреза воды стоячего водоема, – это тоже скопления микроскопических водорослей.

*Синезеленые.* Любые организмы, живущие на Земле, занимают определенное и уникальное место в составе биоценозов, незаменимы и заслуживают тщательного изучения. Однако роль некоторых групп в эволюции и существовании биосферы представляется особенно значительной. Такой группой, по данным современной науки, несомненно, являются цианобактерии.

Еще в 19 веке ученые обращали внимание на несомненное сходство синезеленых водорослей и бактерий.

Синезеленые водоросли по характеру их клеточной организации

вполне соответствуют граммотрицательным бактериям и представляют самостоятельную ветвь их эволюции, для цианобактерии характерна высокая морфологическая сложность и способность к осуществлению фотосинтеза с выделением молекулярного кислорода. Таким образом, термин "цианобактерии" вполне оправдан. Хотя цианобактерии с точки зрения формальной систематики не могут рассматриваться в качестве таксона высокого ранга, в эволюции жизни на Земле они сыграли особую роль, большое значение они имеют и в функционировании современной биосферы. Описано более 1500 видов синезеленых водорослей, среди них есть формы одноклеточные, размножающиеся делением, почкованием или дроблением клетки на ряд дочерних клеток, формы колониальные и формы нитчатые. Нити могут быть простые или ветвящиеся. Размеры клеток значительно варьируют: их диаметр у некоторых видов может составлять доли микрометра, тогда как у других – десятки микрометров. Колонии цианобактерий или дерновинки, образованные нитчатыми формами, могут быть макроскопических размеров. Отдельные клетки или нити у некоторых цианобактерий способны ползать по плотному субстрату.

Различные виды цианобактерий обладают разнообразными адаптационными механизмами, определяющими успешное развитие их в тех или иных условиях окружающей среды. Некоторые формы *Scytonema*, например, образуют пигмент, концентрирующийся на поверхности клетки и эффективно защищающий ее от ультрафиолетовых лучей, что определяет возможность развития этой цианобактерий при прямом солнечном освещении.

Некоторые цианобактерий синтезируют сидерофоры – вещества, связывающие ионы железа и делающие их доступными для бактерии. Другие, развивающиеся в прибрежной зоне водоемов, синтезируют поверхностно-активные соединения. При волнении вода у берега становится мутной за счет взвешенных частиц песка и детрита. В присутствии сурфактанта (ПАВ) частички слипаются и оседают на дно, вода становится прозрачной и цианобактерий получают достаточно света. Многие цианобактерий синтезируют биологически активные вещества. Это могут быть антибиотики с гербицидной активностью, препятствующие росту других цианобактерий, водорослей и высших растений. Значение способности к синтезу таких веществ при конкуренции в природе очевидна. Было бы крайне желательно производство таких гербицидов промышленностью, поскольку они экологически безопас-

ны и не токсичны для человека и животных. Реже цианобактерий образуют антибиотики, активные против грибков и гетеротрофных бактерий. Приспособительное значение таких антибиотиков менее очевидно, но следует отметить, что существуют грибки и бактерии, паразитирующие на цианобактериях.

*Диатомовые водоросли.* Группа простейших, традиционно рассматриваемая в составе водорослей, отличающаяся наличием у клеток своеобразного «панциря». Панцирь состоит из двух половинок – *эпитеки* и *гипотеки*, причём эпитека больше, и её края заходят на края гипотеки. В результате деления клетки дочерние получают по одной половинке панциря и достраивают к ней меньшую. Очевидно, что из-за этого популяция постепенно мельчает и после нескольких делений клетки образуют *ауксоспоры*, не имеющие панциря. Ауксоспоры растут в объёме и впоследствии дают начало новому крупному поколению.

Панцирь состоит из аморфного кремнезёма. Массовые скопления скелетов диатомовых образуют горную породу диатомит.

Типичны для весеннего и осеннего фитопланктона, во многих водоемах в этот период являются основной группой. Иногда может наблюдаться цветение.

*Зеленые водоросли.* Зелёные водоросли (лат. *Chlorophyta*) – группа низших растений. В современной систематике эта группа имеет ранг отдела, включающего одноклеточные и колониальные планктонные водоросли, одноклеточные и многоклеточные формы бентосных водорослей. Здесь встречаются все морфологические типы слоевища, кроме ризоподальных одноклеточных и крупных многоклеточных форм со сложным строением. Многие нитчатые зелёные водоросли крепятся к субстрату только на ранних стадиях развития, затем они становятся свободноживущими, формируя маты или шары.

Самый обширный на данное время отдел водорослей. По приблизительным подсчётам сюда входит от 13 000 до 20 000 видов. Все они отличаются в первую очередь чисто-зелёным цветом своих слоевищ, сходным с окраской высших растений и вызванным преобладанием хлорофилла над другими пигментами.

Роды нитчатых зеленых водорослей можно определить по хроматофору (аналог хлоропластов в клетках растений). Чаще всего эти водоросли развиваются в виде больших скоплений зеленых нитей в небольших стоячих водоемах, заводях рек. Чаще других встречается

*Spirogyra*.

Это то, что в народе называют «тина». Виды *Spirogyra* чаще всего являются показателями слабо загрязненных вод. Этот род не имеет индекса сапробности. Виды *Mougeotia* и *Zygnema* – показатели чистых вод.

*Золотистые водоросли.* Золотистые водоросли (лат. *Chrysophyta*) – отдел низших растений, включающий в себя преимущественно микроскопические водоросли различных оттенков жёлтого цвета. Золотистые водоросли бывают одноклеточными, колониальными и многоклеточными. Известно около 800 видов.

*Динофлагелляты.* Это тип протистов из группы альвеолят. Большинство представителей – двусторонне-симметричные или асимметричные жгутиконосцы с развитым внутриклеточным панцирем. Значительную часть динофлагеллят характеризует способность к фотосинтезу, в связи с чем группу также называют динофитовыми водорослями. Некоторые представители (например, ночесветки) способны к люминесценции. Всего описано 5–6 тысяч видов.

Высокое хозяйственное значение имеют представители, массовые вспышки численности которых приводят к возникновению «красных приливов».

*Эвгленовые водоросли.* Отряд простейших. Объединяет около 1000 видов, среди них имеется много бесцветных форм. Эвглениды имеют один или несколько жгутиков, за исключением небольшой группы безжгутиковых форм, а также прикрепленных организмов.

Эвглена также имеет глазок, который реагирует на свет.

Клетки лишены целлюлозных оболочек. Под плазмалеммой расположен плотный, эластичный, белковой природы слой протопласта, называемый *пелликулой*. От её плотности зависит постоянство формы клеток. Каждый хлоропласт имеет трёхслойную мембрану. Согласно теории эндосимбиоза, третья мембрана хлоропласта – это плазмалемма зеленой водоросли, поглощенной предковой зоофлагеллятой, или эндоцитозная мембрана хозяина.

*Красные водоросли.* Красные водоросли (лат. *Rhodophyta*) – отдел растений. Это обитатели прежде всего морских водоемов, пресноводных представителей известно немного. Обычно это довольно крупные растения, но встречаются и микроскопические. Среди красных водорослей имеются одноклеточные (крайне редко), нитчатые и псевдопаренхимные формы, истинно паренхимные формы отсутству-

ют. Ископаемые остатки свидетельствуют, что это очень древняя группа растений.

### 13.3. Зоопланктон

Основными факторами, лимитирующими развитие зоопланктона, являются температура воды, а также наличие пищи (бактериопланктон и органические вещества), движение воды и токсических соединений. Зимой при температуре воды до 10°C численность зоопланктона низкая; в весенне-летний период при температуре воды выше 10°C происходит интенсивное его развитие, которое достигает своего максимума при 20°C.

Развивается зоопланктон лишь при скорости течения воды не выше 1м/с. Нормально же развитие происходит при скоростях ниже 0,5 – 0,8м/с. Если скорость превышает 1 м/с, формирование планктонного комплекса как единого биоценотического комплекса невозможно [6.16].

Скорость течения, являясь регулирующим фактором развития жизни в реке, отрицательно воздействует на зоопланктон также посредством увеличения мутности и взвешенных наносов в толще воды. Кроме прямого воздействия взвешенных частиц на фильтрующий аппарат рачков, упомянутые частицы снижают прозрачность воды, ухудшают условия инсоляции, что отрицательно сказывается на развитии фитопланктона, а следовательно, ухудшает трофические условия существования зоопланктона.

В малых реках наблюдаются два основных, перекрывающих и дополняющих друг друга, типа организации зоопланктона. Первый – субституционный тип организации; при таком типе организации близкие виды выступают как экологическая сумма.

Основная биоценотическая функция каждого вида осуществляется прерывисто на основе функциональной субституции одного вида другим, более адаптированным к изменившимся параметрам среды. Например, в условиях влияния источника избыточного поступления органических, минеральных, биогенных веществ зоопланктон постоянно изменяется. Одни группы и виды зоопланктеров, характерные для данного сезона и достигающие максимального развития, сменяются нехарактерными и малочисленными в данный сезон. Так, обычные в меженный период кладоцеры заменяются коловратками, или в

летний сезон представители семейств Daphniidae и Bosminidae заменяются представителями сем. Chydoridae, в то время, как "в норме" их массовое развитие приурочено к осеннему сезону. Происходит закономерное чередование определенных фазовых состояний биоценоза, одновременно допускающее возврат к исходному состоянию или более ранней сукцессионной стадии. Именно осуществление принципа субституции одних основных видов-функционеров другими обеспечивает устойчивость системы в изменяющихся в результате влияния различных нарушений в условиях природной среды. Этот механизм создает эффект "настройки" системы к изменяющейся "тональности" ведущего фактора среды не за счет мобилизации индивидуальных адаптационных реакций организмов, а путем поочередного выдвигания разных, наиболее подходящих моменту видов.

Второй тип организации зоопланктона малых рек – флуктуационный, характеризуется обратимыми периодическими сдвигами границ подсистем. Суть его в том, что система реки гетерогенна и включает одновременно несколько подсистем. При разных фазах флуктуации условий подсистемы обнаруживают способность расширять площадь одной за счет другой, изменяя при смене фазы флуктуации направление сезонной сукцессии зоопланктона. Это наблюдается при изменениях, связанных с увеличением или снижением скорости течения, вследствие чего регистрируется распространение загрязнения вниз по течению, либо его локализация, а также различия количественного обилия зоопланктона по продольному профилю бобровых прудов.

Зоопланктон отличается ещё большим разнообразием форм и видов, чем фитопланктон. В нанопланктоне зоопланктон представлен одноклеточными (или простейшими). В микропланктоне, помимо одноклеточных, содержится довольно большой процент многоклеточных организмов, таких как самые мелкие виды ракообразных и их личинки. К ним относятся, например, веслоногие ракообразные или копеподы ("soropode" в переводе с греческого означает "нога, имеющая форму весла"), хорошо известные аквариумистам под названием "циклоп". Веслоногие играют фундаментальную роль в жизни озёр потому, что они многочисленнее всех остальных планктонных многоклеточных организмов, вместе взятых, и потому, что их скопления представляют собой самые большие скопления протеина в озёрах, и наконец потому, что, в основном, именно веслоногие являются основ-

ной пищей огромного количества цихлид в озёрах. Размеры веслоногих рачков колеблются от 0,5 до 12 мм, т.е. они входят в состав не только микропланктона, но также мезопланктона и макропланктона. Растительноядные веслоногие питаются, в основном, диатомеями и другими водорослями, а плотоядные рачки поедают личинок и своих более мелких собратьев. Почти все копеподы совершают вертикальные миграции. Одни виды проводят светлое время суток на больших глубинах, а к вечеру поднимаются к поверхности, другие – совершают перемещения в обратном порядке. К копеподам относятся множество видов из отряда "циклопов" (Cyclopoida). Так например, только в Танганьике их насчитывается 34 вида. Помимо циклопа (Cyclops) веслоногие также представлены видами *Diaptomus* и *Heterocor*.

Кроме копепод, к мезопланктонным ракообразным относятся ветвистоусые (*Cladocera*, *Leptodora*, *Bythotrephes*) и ракушковые (*Ostracoda*) рачки. Тело ветвистоусых рачков, за исключением головы, защищено полупрозрачной хитиновой раковинкой (панцирем). В озёрах они представлены дафниями, которых, например, в Танганьике насчитывается 12 видов. Зоопланктон озёр, помимо перечисленных ракообразных, содержит также: коловраток (*Keratella cochlearis*); щетинкочелюстных – кольчатые черви (полихеты); брюхоногих (похожих на креветок) моллюсков; килевоногих (*Gastropoda*) и крылоногих (*Pteropoda*) моллюсков; простейших, таких как корненожки, солнечники и ресничковые инфузории. Нередко встречаются личинки насекомых (*Corethra*) и относящиеся к паукообразным клещи. Здесь можно встретить также медуз, личинок моллюсков и, наконец, похожих на инфузорий церкарий, которые представляют собой одну из личиночных стадий паразитических червей – сосальщиков (или трематод). К зоопланктону (макропланктону) относятся также мизиды (бокоплавцы) и креветки.

Наиболее важным компонентом зоопланктона озёр как по численности, так и по той роли, которую они играют в питании цихлид, являются низшие ракообразные: веслоногие (например, циклоп) и ветвистоусые (например, дафния или водяная блоха). Взрослые рачки имеют крупные размеры, поэтому их включают в мезопланктон, куда входят организмы размером 1–5 мм. Низшие ракообразные представляют собой высококалорийную, богатую белками пищу для обитателей озёрных вод. Исследователи подсчитали, что слой планктона в су-

хой сезон года составляет 3000 организмов на одну тонну воды, а в сезон дождей – 350000 организмов на одну тонну воды.

В озёрах принято различать пелагический планктон, т.е. планктон центральной, открытой части водоёма, и планктон прибрежной части, или литоральный. Зоопланктон отнюдь не просто пассивно переносится течениями. Каждый день зоопланктон совершает вертикальные миграции, во время которых организмы перемещаются на десятки и сотни метров. С рассветом планктон постепенно мигрирует на глубину, при этом скорость движения обычно бывает больше, чем при подъёме. Эти вертикальные миграции играют ведущую роль в питании цихлид и других озёрных рыб. Цихлиды, поднимающиеся ночью к поверхности, находят здесь более обильную пищу, чем на глубине, где они находились в дневное время. Поэтому и создаётся впечатление, что днём поверхностные слои озёр, как будто "вымирают" и, наоборот, ночью "оживают" в полном смысле этого слова. Благодаря вертикальным миграциям, осуществляется "транспорт" органического вещества из поверхностной высокопродуктивной зоны в глубинные слои. Пространственное распределение планктона зависит от температуры воды, освещённости, содержания в воде кислорода, углекислого газа и ряда других веществ. Так, многие виды зоопланктона исчезают, как только содержание кислорода в воде падает ниже 0,2 мг/л, а вот веслоногий рачок циклоп (*Cyclops cuspidatus*) может жить в воде, содержащей вдвое меньше кислорода.

#### **13.4. Бактериопланктон**

Основным деструктором различных загрязнений, поступающих извне или продуцирующихся биоценозом реки, является бактериопланктон – свободно плавающая часть бактерий. Развитие бактериопланктона определяют наличие легкоусвояемой органики и биогенных элементов, особенно азота и фосфора, температура, отсутствие токсических веществ, а для аэробных форм бактерий, которые преобладают в бактериопланктоне чистой реки, – кислород, концентрация которого ниже 0,2 мг/л лимитирует жизнедеятельность аэробных бактерий. В природе существует две формы бактерий: одна из них функционирует при низких температурах, другая – при более высоких. Первые – психрофилы – имеют оптимум развития около 5°C, вторые – мезофилы – 20–25°C. Мезофильные формы бактерий обладают большой

скоростью роста. В теплый период она намного выше, чем в зимний. Наибольшая численность бактериопланктона наблюдается весной и осенью: в первом случае –\* з& счёт внесения бактерий во время паводка и повышения температуры воды, во втором – вследствие разложения фитопланктона.

Активности бактериопланктона способствует наличие в водоеме течения воды. Наиболее благоприятная скорость – 0,2 м/с.

Еще в 1892 г. известный бактериолог Роберт Кох сделал открытие – если в миллилитре воды находится не более 100 безвредных бактерий, то она неопасна. Но при увеличении этого числа надо объявлять тревогу. Им предложен критерий оценки качества воды, которым и пользуются до настоящего времени.

О качестве воды в бактериальном отношении судят по количеству кишечных палочек в 1 л воды. Кишечная палочка – это микроб, постоянно обитающий в кишечнике человека и животных, она не является возбудителем какого-либо заболевания и безвредна. Но она свидетельствует о загрязненности воды и возможности заражения ее болезнетворными бактериями. Чем больше их в воде, тем больше вероятность присутствия болезнетворных микробов. Согласно ГОСТу в 1 л питьевой воды допускается не более трех кишечных палочек, т. е. так называемый «коли-индекс» должен быть не более трех. Обратная величина (количество см<sup>3</sup>, в котором находится одна кишечная палочка) называется коли-титром. Безупречная в бактериальном отношении вода должна иметь коли-титр не менее 300.

По этой же характеристике есть более детальная классификация (табл. 13.1).

Сезонный цикл развития бактериопланктона в период открытой воды характеризуется наличием нескольких сезонных пиков численности. Как правило, в развитии бактериопланктона отмечается ранневесенний пик и один или несколько пиков разной степени выраженности в летне-осенний период. Весенний пик связан с поступлением alloхтонного органического вещества в процессе наполнения водоемов тальными и паводковыми водами, а также с интенсификацией микробиологических процессов в самих водоемах за счет начинающегося весеннего прогрева воды. Летние и осенние пики численности связаны с периодами максимального развития фитопланктона или периодами прекращения цветения и обусловлены поступлением автохтонного органического вещества в процессе внеклеточной первичной

продукции или после отмирания клеток фитопланктона. В "макрофитных" озерах сезонные изменения численности бактериопланктона в большей степени связаны с особенностями развития макрофитов в годовом цикле.

Таблица 13.1

**Санитарное состояние природных вод хозяйственно-питьевого водоснабжения**

Состояние воды	Микробное число	Коли-индекс
Чрезвычайно чистая (очень здоровая)	0 – 10	< 10
Очень чистая (здоровая)	10 – 100	10–10 <sup>2</sup>
Чистая (удовлетворительная)	100 – 1000	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>3</sup>
Посредственная (сомнительная)	1000 – 10000	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup>
Нечистая (нездоровая)	10000–100000	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>
Грязная (совершенно нездоровая)	> 100000	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>

### 13.5. Бентос

Бентос, организмы, живущие в толще воды и не связанные с дном, называются пелагическими организмами (нейстон, планктон и нектон). Бентос делят на животный (зообентос) и растительный (фитобентос). По способу обитания на дне водоёма в зообентосе различают животных, живущих в грунте и на грунте, подвижных, малоподвижных и неподвижных, внедрившихся частично в грунт или прикрепленных. По способу питания представители зообентоса подразделяются на хищных (плотоядных), растительноядных, детритоядных (питающихся органическими частицами) и т.д. Многих животных, обитающих на дне водоёма, трудно отнести к пелагическим или бентосным и их называют: планктобентос и нектобентос. По размерам бентосные организмы делят на крупные (макробентос), средние (мезобентос) и мелкие (микробентос).

В морях зообентос представлен главным образом фораминиферами, губками, кишечнополостными, немертинами, многощетинковыми червями, сипункулидами, мшанками, плеченогими, моллюсками, ракообразными, иглокожими, асцидиями и рыбами. Основная масса зообентоса приурочена к мелководным районам. На литорали и в верхнем горизонте сублиторали масса животных организмов на площади в 1 м<sup>2</sup> может достигать многих десятков килограммов (глав-

ным образом моллюски). На глубинах до 100–150 м биомасса Бентос составляет сотни и десятки граммов; на глубине 500–1000 м биомасса Бентос также иногда исчисляется граммами, глубже – долями грамма, на больших глубинах (абиссаль) – миллиграммами. Наблюдается вертикальная зональность и в распределении бентоса: в верхних горизонтах преобладают моллюски и ракообразные, в средних – моллюски, полихеты и иглокожие, в более глубоких – полихеты, ракообразные и иглокожие.

Из растительных организмов основную массу составляют бактерии и водоросли. Наиболее богат и разнообразен фитобентос на скалистых и каменистых участках дна, которые служат прочным субстратом для прикрепления водорослей.

В пресных водоёмах количество зообентоса значительно меньше, чем в морских, и состав его однообразнее; в него входят простейшие, губки, ресничные и малощетинковые черви, пиявки, мшанки, моллюски и личинки насекомых. Иногда он состоит в основном из личинок хирономид и олигохет, дающих на 1 м<sup>2</sup> массу в несколько десятков граммов и представляющих очень большую кормовую ценность для рыб. В состав растительного бентоса пресных водоёмов входят бактерии, диатомовые и зелёные (харовые и нитчатки) водоросли.

Развитие бентоса определяется характером грунтов, наличием пищи и скоростью течения. Он играет важную роль в самоочищении реки и является индикатором качества воды, характеризующим большой период времени. Организмы зообентоса незначительно реагируют на кратковременное изменение качества воды.

На чистом песке в состав зообентоса входят многочисленные черви, личинки криптохироном, личинки мошек и др. При заилении песчаного дна развиваются крупные малощетинковые черви, моллюски, а при заилении глинистого дна – биоценоз, состоящий из моллюсков, бокоплавов, ракушковых рачков, многочисленных личинок тендипедид и др. На жизнь зообентоса большое влияние оказывает температура воды – она определяет его рост, развитие, размножение, обмен веществ, биологические циклы. Зимой численность зообентоса незначительная, при установлении температуры воды выше 10°C начинается размножение большинства донных видов беспозвоночных. Распространение и численность зообентоса в значительной мере зависит от скорости течения воды в реке. Оптимальной в реке с мелкозер-

нистым песчаным дном считается скорость течения до 0,2 м/с. Прикрепленные формы могут удерживаться и при скоростях до 2 – 3 м/с. В целом развитие зообентоса возможно в тех реках или на отдельных их участках, где скорость течения воды меньше той, которая способна унести покрытие дна реки.

### 13.6. Высшая водная растительность (макрофиты)

Макрофиты играют как положительную, так и отрицательную роль в формировании качества воды. Они являются мощными агентами очистки воды от солей; в то же время обильное их развитие снижает скорость течения реки, что приводит к заилению, обильному развитию перифитона, зоопланктона и фитопланктона, способствующему эвтрофикации водоема. Кроме того, разлагаясь в осенне-зимний период, макрофиты служат источником дополнительного загрязнения реки.

Воздушно-водные и погруженные растения могут произрастать при больших динамических нагрузках, когда максимальная придонная скорость не в состоянии перемещать грунт. Растения с плавающими листьями способны образовывать фитоценозы на участках, где придонные максимальные скорости не превышают 0,2 м/с.

Водная растительность лучше развивается на глинистом, хуже – на песчаном дне. Глубина при этом колеблется от менее чем 0,3 до 2 – 3 м. Скорости течения также изменяются от 0,3 – 0,4 до 0,6 – 0,7 м/с. Скорости выше приведенных лимитируют развитие водной растительности.

*Группы макрофитов.* Наиболее распространены представители трех экологических групп растений: воздушно-водных – тростник, рогоз, камыш, манник и др; погруженных – рдест, уруть, элодея, роголистник; с плавающими листьями – кувшинки, водокрас, рясковые.

Водные растения плавающие – водные растения, не имеющие органов прикрепления к грунту (к этой группе относятся макрофитные планктонные водоросли, а также некоторые сосудистые растения – *Hydrocharis*, *Lemna*, *Salvinia natans* и др.).

Водные растения прикрепляющиеся – водные растения, органы прикрепления к грунту которых выполняют только функцию фиксации организма и не участвуют в его снабжении элементами минерального питания (к этой группе относятся макрофитные бентосные водоросли, мхи и печёночники, а также некоторые сосудистые растения –

ряд таксонов Podostemaceae, *Utricularia intermedia*).

Водные растения укореняющиеся – водные растения, специальные органы прикрепления к грунту которых помимо фиксации организма выполняют также функцию снабжения его элементами минерального питания (к этой группе относятся большая часть сосудистых водных растений).

Воздушно-водные растения, или гелофиты – укореняющиеся растения, вегетативное тело которых расположено как в воде, так и над её поверхностью. Растения данной группы занимают прибрежные мелководья с глубиной до 1 (2) м. По высоте побегов их делят на высокотравные (*Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*, *Typha angustifolia* и др.) и низкотравные (*Butomus umbellatus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Sparganium erectum* и др.).

Истинно-водные растения, или гидрофиты – растения, которые для нормального прохождения своего жизненного цикла требуют постоянного контакта своего вегетативного тела с водной средой. Различают растения, плавающие в толще воды (*Ceratophyllum demersum*, *Lemna trisulca*), погружённые укореняющиеся или прикрепляющиеся растения (*Myriophyllum*, большинство *Potamogeton*, харовые и прочие крупные водоросли), укореняющиеся растения с плавающими на воде листьями (*Nuphar*, *Nymphaea*, *Persicaria amphibia*, некоторые *Potamogeton*) и растения, плавающие на поверхности воды (*Hydrocharis*, *Lemna*, *Spirodela*).

Растения уреза воды (гигрогелофиты) – растения, типичными местообитаниями которых является низкие уровни береговой зоны затопления, зона контакта берега и водного тела (т.е. уреза воды) и прибрежные отмели с глубиной до 20 (40) см; многие из них типичны для окраин озёрных сплавин (*Agrostis stolonifera*, *Bolboschoenus maritimus*, *Calla palustris*, *Caltha palustris*, *Carex acuta*, *Catabrosa aquatica*, *Cicuta virosa*, *Comarum palustre*, *Eleocharis acicularis*, *Glyceria fluitans*, *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Oenanthe aquatica*, *Ranunculus lingua*, *Rorippa amphibia*, *Rumex hydrolapathum*, *Sium latifolium*).

Земноводные растения – растения, которые могут пройти весь свой жизненный цикл как по типу истинно-водного, так и по типу наземного растения (*Callitriche palustris*, *Elatine hydropiper*, *Persicaria amphibia* и др.).

*Зарастание водоемов.* Зарастание – процесс появления и развития растительного покрова на акватории водоёма или водотока, кото-

рый завершается переходом водной экосистемы в болотную.

Заращение водоемов происходит в результате выноса в них минеральных и органических веществ с водосбора, а также отложения отмирающих организмов, приводящих к обмелению и эвтрофикации водоемов.

Как правило, заращение водоемов начинается со дна (от берега к центру). Второй путь заращения: от центра к берегам, путем нарастания сплавины – мощного травяно-мохового ковра, плавающего на поверхности воды.

Небольшие заросли подводной растительности выполняют положительную роль в водоеме, так как они являются местом нереста фитофильных рыб. Если же водные растения занимают более 25 % площади водоема, то они оказывают отрицательное влияние на ихтиофауну.

В этом случае снижается рыбопродуктивность водоема и ухудшается его гидрохимический режим. В темное время суток растения могут создавать дефицит кислорода в воде и тем самым вызвать замор рыбы в водоеме.

Для предотвращения указанных негативных явлений в водоеме жесткую надводную растительность (камыш, рогоз, тростник) выкашивают при помощи камышекосилок. Мягкую подводную растительность удаляют из водоема при помощи водяной бороны – деревянного треугольника с зубьями из гвоздей с прикрепленными по углам крючками. Биомассу зеленых растений используют как органическое удобрение в озерных хозяйствах и в качестве корма для домашнего скота. Плавающая растительность – ряска – является прекрасным кормом для водоплавающей птицы. Ее удаляют из водоема специально сконструированными небольшими бреднями.

В водоемах с пологими, низкими берегами болотная растительность располагается концентрическими кругами. В местах наибольшей глубины (около 6 м) на дне произрастают водоросли. Эти места называют поясом микрофитов (от греческих слов «микрос» – маленький и «фитой» – растение). На меньших глубинах пояс микрофитов переходит в пояс макрофитов (от «макрос» – большой). Здесь растут под водой более крупные растения: зеленые водоросли – хара, нителла, мхи и некоторые цветковые растения – рдест узколистный, роголистник.

Ближе к берегу, на глубине не меньше 3 м располагается пояс широколистных рдестов. Кроме рдестов здесь растет уруть с сильно рассеченными листьями, распластанными в толще воды. За этим поясом идет пояс кувшинок. Здесь раскрывают свои нежные лепестки белые кувшинки (водяные лилии), рядом скромные кубышки с желтыми цветками, слегка покачивается на прибрежной волне рдест плавающий. У растений пояса кувшинок корневища скрыты в иле на глубине от 2,5 до 4 м, а листья – обычно широкие, с длинными черешками – плавают на поверхности воды.

На меньших глубинах – от 1,5 до 3 м – развивается пояс камышей. Камыши, тростники и хвощи образуют здесь сравнительно плотную травянистую массу. Еще ближе к берегу расположены пояс крупных осок и пояс мелких осок. В этих двух поясах вода сильно прогревается и болотные растения более разнообразны. Кроме осок здесь растут стрелолист, сусак, ежеголовник, частуха, ситняг, лютик, ирис болотный. У некоторых из этих растений листья на различной глубине принимают разные формы – подводную, плавающую и надводную. Пояс мелких осок примыкает к самому берегу. Дальше идет уже наземная растительность.

Ежегодные отложения остатков отмерших растений приводят к обмелению водоема. Растительные пояса сменяют друг друга, передвигаются от берега к центру, сжимая открытую водную поверхность все более тесным кольцом. В конце концов наступает время, когда на месте бывшего водоема остается один пояс мелких осок. Так водоем превращается в осоковое болото. Водоемы, которые у берегов очень глубоки, или водоемы со спокойной, защищенной от ветра поверхностью часто заболачиваются нарастанием сплавины.

### **13.7. Самоочищение**

Об очистительной способности реки известно давно. Этим свойством владеет живое вещество реки. По своей производительности оно может сравниться с огромной очистительной фабрикой. Нам следует полнее ее использовать и, что намного важнее, не мешать ей работать своим вмешательством.

В реке каждый компонент гидробиоценоза выполняет определенную функцию по очистке воды. Моллюски, например, пропускают через себя (одна особь) за сутки до 3 л воды, очищая ее от всех приме-

сей, в том числе и от взвешенных частиц. Особо следует остановиться на значении высших водных растений в процессах самоочищения. Эти растения жестко прикреплены к субстрату и являются основой для образования сложных гидробиоценозов, очистительная способность которых превосходит таковую почти всех гидробионтов, взятых в отдельности. Функция высшей водной растительности в водотоках разнообразна и многочисленна: они поглощают и аккумулируют биогенные элементы и органические соединения, являются хорошими фильтраторами, могут выступать также в качестве детоксикаторов пестицидов и других токсических загрязнителей, попадающих в водоемы и водотоки со сточными водами.

Велика роль высших водных растений в процессах поглощения и накопления минеральных элементов поступающих в водотоки со стоком с сельскохозяйственных угодий и других площадей водосбора. Этим растениям присуща избирательная способность в поглощении азота, фосфора, калия и других элементов. Наибольшая интенсивность поглощения макрофитами минеральных веществ наблюдается в период развития и усиленного роста. В основе процесса самоочищения лежит круговорот биогенных элементов в водотоке (водоеме), в котором роль высших водных растений чрезвычайно велика. Наиболее активно поглощаются и используются растениями азот, фосфор, калий, железо, хлор и марганец. Азот и фосфор аккумулируются почти всеми растениями в одинаковом количестве (табл. 13.2). Остальные биогены поглощаются и аккумулируются в неодинаковых количествах.

Таблица 13.2

**Накопление некоторых биогенных элементов высшими водными растениями, % на сухое вещество**

Объект исследования	Элементы						
	Азот	Фосфор	Калий	Кальций	Марганец	Натрий	Хлор
Тростник обыкновенный	2,17	0,35	1,70	0,38	0,10	0,14	1,36
Рогоз узколистый	2,52	0,41	1,19	1,07	0,15	0,51	1,20
Камыш озерный	2,34	0,39	2,37	0,89	0,12	0,40	1,56
Сусак зонтичный	2,66	0,40	4,36	1,36	0,21	0,43	1,17
Частуха подорожниковая	2,09	0,55	2,89	1,20	0,16	0,36	1,87
Рдест пронзеннолистный	2,02	0,53	2,01	0,95	0,33	0,33	1,55

Наибольшая интенсивность поглощения и аккумуляции биогенов наблюдается в начале вегетации и в конце лета, обычно в августе. К концу вегетации количество биогенных элементов в надземной части растений резко снижается. Межвидовое различие по содержанию биогенных веществ в течение вегетационного сезона объясняется видовой спецификой обмена веществ и особенностями фенологического развития растений.

Таким образом, заросли высших водных растений являются фактором, непосредственно участвующим в процессе формирования качества воды в реке. При разработке мероприятий по охране вод от загрязнения биогенными элементами с использованием высших водных растений необходимо учитывать пути движения биогенов в растениях. Накопившийся за период вегетации биогенный элемент, например азот, к ее концу аккумулируется в подземных органах – корневищах.

Величина накопления биогенных элементов зависит от биомассы высших водных растений. Количественным показателем поглощения биогенов макрофитами является коэффициент накопления – отношение концентрации биогена в растениях к его содержанию в воде.

Не менее важная водоохранная роль высших водных растений заключается в их способности поглощать и аккумулировать токсические загрязнители водной среды, особенно пестициды. Их поглощение бывает активным и пассивным. Преобладание того или другого типа определяется природой соединения, его концентрацией в среде и видом растения. Поглощение высшей водной растительностью токсических веществ и их аккумуляция, особенно в корневой системе, способствует самоочищению водотока (водоема) от токсических агентов путем исключения их из круговорота веществ.

### **13.8. Первичная и вторичная продукция**

Основная роль в процессах новообразования органического вещества в водоемах принадлежит хлорофилсодержащим организмам – фитопланктону и макрофитам. Первичная продукция – результат жизнедеятельности растительных организмов – характеризует итог процесса фотосинтеза, в ходе которого органическое вещество синтезируется из минеральных компонентов окружающей среды. Таким обра-

зом, первичная продукция представляет собой массу новообразованного органического вещества за определенный период времени. Мемой первичной продукцией является скорость новообразования органического вещества.

Различают валовую и чистую первичную продукцию. Под валовой первичной продукцией понимается все количество образовавшегося в ходе фотосинтеза органического вещества. Под чистой продукцией понимается та часть новообразованного органического вещества, которая остается после трат на обмен и которая остается непосредственно доступной для использования другими организмами в воде в качестве пищи.

Продукцию в экосистеме можно считать производной от биомассы. С другой стороны, сама биомасса сохраняется благодаря продукции. Если сравнить различные экосистемы по соотношению продукции и биомассы (Р/В-коэффициенты), видно, что чистая продукция на единицу биомассы выше в водных экосистемах, чем в наземных.

Кроме вышеперечисленных факторов, в любом водоеме наблюдается изменение продуктивности по вертикали в результате изменения освещенности. Глубину, на которой валовая продукция фитопланктона уравнивается тратами на дыхание, называют компенсаторным горизонтом. Выше чистая продукция положительна, ниже отрицательна. При высокой освещенности и прозрачности воды в поверхностном слое часто наблюдают явление фотоингибирования – снижения фотосинтеза.

Вторичная продукция определяется как скорость образования новой биомассы гетеротрофными организмами. В отличие от растений бактерии, грибы и животные не способны синтезировать необходимые им сложные, богатые энергией соединения из простых молекул. Они растут и получают энергию, потребляя растительное вещество либо прямо, либо опосредованно – поедая других гетеротрофов. Растения, первичные продуценты, составляют в сообществе первый трофический уровень. На втором находятся первичные консументы; на третьем – вторичные консументы (хищники).

### **13.9. Пищевые цепи и экологические пирамиды**

Внутри экологической системы органические вещества создаются автотрофными организмами (например, растениями). Растения

поедают животные, которых, в свою очередь, поедают другие животные. Такая последовательность называется пищевой цепью; каждое звено пищевой цепи называется трофическим уровнем (греч. trophos «питание»).

Организмы первого трофического уровня называются первичными продуцентами. На суше большую часть продуцентов составляют растения лесов и лугов; в воде это, в основном, зелёные водоросли. Кроме того, производить органические вещества могут синезелёные водоросли и некоторые бактерии.

Организмы второго трофического уровня называются первичными консументами, третьего трофического уровня – вторичными консументами и т. д. Первичные консументы – это травоядные животные (многие насекомые, птицы и звери на суше, моллюски и ракообразные в воде) и паразиты растений (например, паразитирующие грибы). Вторичные консументы – это плотоядные организмы: хищники либо паразиты. В типичных пищевых цепях хищники оказываются крупнее на каждом уровне, а паразиты – мельче.

Существует ещё одна группа организмов, называемых редуцентами. Это сапрофиты (обычно, бактерии и грибы), питающиеся органическими остатками мёртвых растений и животных (детритом). Детритом могут также питаться животные – детритофаги, ускоряя процесс разложения остатков. Детритофагов, в свою очередь, могут поедать хищники. В отличие от пастбищных пищевых цепей, начинающихся с первичных продуцентов (то есть с живого органического вещества), детритные пищевые цепи начинаются с детрита (то есть с мёртвой органики).

В схемах пищевых цепей каждый организм представлен питающимся организмами какого-то определённого типа. Действительность намного сложнее, и организмы (особенно, хищники) могут питаться самыми разными организмами, даже из различных пищевых цепей. Таким образом, пищевые цепи переплетаются, образуя пищевые сети.

Пищевые сети служат основой для построения экологических пирамид. Простейшими из них являются пирамиды численности, которые отражают количество организмов (отдельных особей) на каждом трофическом уровне. Для удобства анализа эти количества отображаются прямоугольниками, длина которых пропорциональна количеству организмов, обитающих в изучаемой экосистеме, либо логарифму этого количества. Часто пирамиды численности строят в рас-

чёте на единицу площади (в наземных экосистемах) или объёма (в водных экосистемах).

### 13.10. Сукцессии

Сукцессия – последовательная смена биоценозов, преемственно возникающих на одной и той же территории (биотопе) под влиянием природных факторов, в том числе внутренних противоречий развития самих биоценозов, или воздействия человека. Ныне, как правило, наблюдается в результате сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов. Конечным результатом сукцессии являются более медленно развивающиеся климаксовые и узловые сообщества. Выделяют сукцессию вековую, или циклическую. Это обратимая динамика климаксовой экосистемы, возникающая в результате ее внутреннего развития. К вековой сукцессии относится и условно обратимая многолетняя динамика экосистем, связанная с циклами их надсистем – изменениями солнечной активности, климатическими флуктуациями и т.п..

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.

### 13.11. Критерии оценки качества вод по данным гидробиологического анализа

Обилие видов живых существ, населяющих водоем, сложность их взаимодействия, как между собой, так и с окружающей средой, послужили причиной создания многочисленных вариантов методов оценки состояния природных вод. Большинство этих методов основано на оценке совокупности показателей: числа видов, численностей и биомасс популяций, населяющих водоём, и рассчитанных различных соотношений между ними. Показатели можно разделить на:

- простые, непосредственно характеризующие какой-либо индивидуальный компонент экосистемы (например, численность, биомасса, или число видов в сообществе);
- комбинированные, отражающие компоненты с разных сторон (например, видовое разнообразие учитывает как число видов, так и распределение их обилия);
- комплексные, использующие сразу несколько компонентов экосистемы (например, продукция, самоочищающая способность, устойчивость).

Комбинированные и комплексные показатели принято обобщенно называть «индексами».

Исходя из принципа приоритета первичных данных, основным результатом гидробиологического мониторинга являются три основных показателя:

- плотность видов  $S$  – оценка числа видов (видового разнообразия), характерная для данной точки экосистемы;
- плотность организмов  $N$  – численность особей каждого вида, приходящаяся на единицу размера экосистемы ( $m^3$ ,  $m^2$ ,  $m$ );
- плотность биомассы  $B$  – масса особей каждого вида, приходящаяся на пространственную единицу экосистемы.

Каждый из перечисленных показателей или их различные комбинации являются основой для построения многих теорий, критериев и методов оценок качества некоторой гидробиологической субстанции (либо водоемов в смысле их утилитарного водохозяйственного предназначения, либо сообществ водных организмов с целью сохранения биоразнообразия и "экологической производительности", либо

и того, и другого, и чего-нибудь третьего).

### **13.11.1. Оценка качества экосистемы по соотношению показателей обилия**

*Индексы, использующие абсолютные показатели обилия.* Абсолютные показатели обилия отдельных групп организмов могут изменяться при антропогенном воздействии, следовательно, в определенной степени отражать его величину. Например, замечено, что олигохеты, обычно немногочисленные в донных биоценозах, в местах спуска бытовых стоков часто развиваются в огромных количествах. Поэтому массовое развитие олигохет (во многих случаях без более точного определения) расценивается как показатель загрязнения.

С. Райт, Дж. Карр и М. Хилтонен, работавшие на оз. Мичиган, используют следующие плотности олигохет для оценки уровня загрязнения:

- слабое загрязнение – 100–999 экз./м<sup>2</sup> ;
- среднее загрязнение – 1000–5000 экз./м<sup>2</sup>;
- тяжелое загрязнение – более 5000 экз./м<sup>2</sup>.

*Индексы, использующие характер питания организмов.* Антропогенное воздействие может изменить условия питания в водоеме, что приводит к реорганизации трофической структуры сообщества, количественные сдвиги в которой могут быть чутким индикатором этого воздействия. А.Ф. Алимовым и Н.П. Финогеновой доказано, что под влиянием загрязнения трофическая структура бентоса обычно упрощается, формируются более простые сообщества, играющие большую роль в самоочищении водоема: уменьшается доля животных с фильтрационным типом питания и увеличивается доля детритофагов-глотателей, изменяется влияние хищных животных и т.д. В.Ф. Шуйский также отмечает, что при органическом удобрении озер возрастает доля животных со специализированным типом питания, увеличивается доля фитодетритофагов, уменьшается доля хищников. Для оценки подобного рода изменений А. Гамильтоном и Г. Хэррингтоном предложен индекс трофических условий, рассчитываемый по соотношению в сообществе различных трофических групп. Из прочих индексов можно отметить следующие:

- индекс Н.М. Кабанова – равный отношению продуцентов к консументам, увеличивающийся по мере самоочищения водоема;

- индекс загрязнения  $i$  по И. Габриелю – соотношение числа видов продуцентов ( $P$  – водорослей) к сумме числа видов редуцентов ( $R$  – бактерий) и консументов ( $C$  – цилиат):  $i = \frac{2P}{R+C}$  ;

- индекс А. Ветцеля, который предложил в формулу И. Габриеля подставлять значения биомассы, т.к. не всегда возможно использовать количество видов, ввиду сложной диагностики отдельных групп гидробионтов;

- индекс загрязнения по Дж. Хорасаве рассчитывается по формуле  $i = \frac{B}{A+B}$ , где  $A$  – организмы, содержащие хлорофилл,  $B$  – организмы, у которых хлорофилл отсутствует (простейшие); индекс предложен С.М. Драчевым наряду с другими гидробиологическими показателями для классификации степени загрязненности поверхностных вод;

*Индексы, использующие соотношение крупных таксонов.* К.Г. Гуднайт и Л.С. Уитлей о санитарном состоянии реки судят по соотношению численности олигохет и других обитателей дна (т.е. численности всего бентоса, включая олигохет) – индекс Гуднайта и Уитлея. Ими использовались следующие оценки:

- река в хорошем состоянии – олигохет менее 60 % от общего числа всех донных организмов,
- в сомнительном состоянии – 60 %–80 %,
- сильно загрязнена – более 80 %.

Э.А. Пареле совместно с О.Л. Качаловой [Гидробиологический режим., 1981] в рамках разработки метода оценки загрязнения водотоков Латвии предложили два олигохетных индекса (индекс Пареле):

$$D_1 = \frac{\{\text{численность олигохет}\}}{\{\text{численность бентоса}\}} \quad \text{и} \quad D_2 = \frac{\{\text{численность тубифицид}\}}{\{\text{численность олигохет}\}} \quad \text{и связали их}$$

градации (табл. 13.3) с зонами сапробности и классами качества воды. Коэффициент  $D_1$  предложен для оценки быстро текущих рек с хорошей аэрацией, где развивается разнообразная донная фауна; коэффициент  $D_2$  рекомендован для медленно текущих рек с неудовлетворительным кислородным режимом, где донная фауна однообразна и состоит почти полностью из олигохет.

**Взаимосвязь индекса Пареле с классами качества воды и зонами сапробности**

Индекс Пареле $D_1$	Зона сапробности	Класс качества вод по С.М. Драчеву [1964]
0.01 – 0.16	Олигосапробная	Чистая
0.17 – 0.33	Олиго- $\beta$ – мезосапробная	Условно чистая
0.34 – 0.50	$\beta$ - мезосапробная	Слабо загрязненная
0.51 – 0.67	$\beta$ - $\alpha$ – мезосапробная	Загрязненная
0.68 – 0.84	$\alpha$ - мезосапробная	Грязная
0.85 – 1.00	Полисапробная	Очень грязная

Не осталась без внимания исследователей и такая признанная группа биоиндикаторов загрязнения воды, как личинки и куколки хирономид. Индексы, основанные на учете личинок водных насекомых, более других подвержены ошибкам за счет особенностей сезонной динамики гидробионтов. Во время массового дружного вылета имаго насекомых из водоема величины этих индексов резко изменяются вне зависимости от степени загрязнения, поэтому соответствующие методики желательнее применять только к пробам, собранным в одну и ту же фазу жизненного цикла насекомых.

Д.Л. Кинг и Р.С. Болл [King, Ball, 1964<sup>M</sup>] для оценки санитарного состояния водоёма предложили индекс загрязнения бытовыми и промышленными стоками, значение которого уменьшается при загрязнении:  $i = \frac{\{\text{вес насекомых}\}}{\{\text{вес олигохет}\}}$ .

При оценке эвтрофирования Куйбышевского водохранилища в многолетнем ряду измерений использовались следующие соотношения:

- суммарная численность хирономид *Chironomus* sp. ( $N_{Ch}$ ) и *Procladius* sp. ( $N_{Pr}$ ) к общей численности бентоса ( $N$ ):

$$(N_{Ch} + N_{Pr}) / N ;$$

- численность мирных *Chironomus* sp. ( $N_{mCh}$ ) и хищных *Procladius* sp. ( $N_{xPr}$ ):  $N_{mCh} / N_{xPr}$  ;

- суммарная численность олигохет ( $N_o$ ) и хирономид:  $N_o / N_{ch}$ .

Определённое направленное изменение этих показателей интерпретируется как свидетельство интенсивности происходящего процесса эвтрофирования.

Индекс Е.В. Балускиной основан на соотношении численности подсемейств хирономид:

$$K = (\alpha_t + 0.5 \alpha_{ch}) / \alpha_o, \quad (4.2)$$

где  $\alpha_t$ ,  $\alpha_{ch}$  и  $\alpha_o$  – смещенные относительные численности отдельных групп хирономид: соответственно, Tanypodinae ( $\alpha_t$ ), Chironomidae ( $\alpha_{ch}$ ), Orthoclaadiinae и Diamesinae ( $\alpha_o$ );  $\alpha = N + 10$ , где  $N$  – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид. Предлагается следующая связь индекса Балускиной, который может варьироваться в диапазоне от 0.136 до 11.5.

### 13.11.2. Оценка качества экосистемы по индексам видового разнообразия

Видовое разнообразие складывается из двух компонентов:

- видового богатства, или плотности видов, которое характеризуется общим числом имеющихся видов;
- выравненности, основанной на относительном обилии или другом показателе значимости вида и положении его в структуре доминирования.

Таким образом, один из главных компонентов биоразнообразия – видовое богатство или плотность видов – это просто общее число видов, которое в сравнительных целях иногда выражается как отношение числа видов к площади или числа видов к числу особей. Так, например, Р.Маргалев предложил в качестве меры биоразнообразия индекс видового богатства Маргалева:

$$d = (s - 1) / \ln N ,$$

где  $s$  – число видов,  $N$  – число особей.

Е.Ф. Менхиникк рассчитывал видовое богатство полевых насекомых по несколько другой формуле, используя в знаменателе функцию квадратного корня (индекс Менхиникка):

$$d_M = (s - 1) / (N)^{1/2} .$$

Виды, входящие в состав биоценоза, очень сильно различаются по своей значимости. Традиционно принято выделение следующей иерархии видов: руководящие (или "доминантные") виды; за ними следует группа "субдоминантов"; остальные же виды считаются второстепенными, среди которых отмечают случайные или редкие. Значение отдельных видов должно определяться тем, какую роль играют они в функционировании экосистемы или в продукционном процессе. Но при исследованиях водных сообществ установить истинную функциональную роль видов нелегко, если об их значении судить только по обилию, т.е. численности и биомассе.

При этом для анализа биоразнообразия и степени доминантности в разных ситуациях используют два традиционных подхода:

- сравнения, основанные на формах кривых относительного обилия или доминирования – разнообразия:
- сравнения, основанные на индексах разнообразия, представляющих собой отношения или другие математические выражения зависимости между числом видов и их значимостью.

Е.Ф. Менхиникк рассчитывал видовое богатство полевых насекомых по несколько другой формуле, используя в знаменателе функцию квадратного корня (*индекс Менхиникка*):

$$d_M = (s - 1) / (N)^{1/2} .$$

*Индексы доминирования.* Для природных биоценозов принято использовать индекс доминирования И. Балога:  $D_i = N_i / N_s$ ,

где  $N_i$  – число особей  $i$ -го вида,  $N_s$  – общее число особей в биоценозе. К сожалению, этот идеальный по своей простоте индекс не отражает самого смысла доминирования, поскольку может принимать, например, значение 0.5 как при истинном доминировании, когда при нескольких сотнях видов один вид выражен половиной численности, так и в случае двух особей двух видов.

Другая формула индекса доминирования (или доминантности) предложена А. Ковнацки на основе "коэффициента обилия" В.Ф. Палия (индекс доминирования Палия – Ковнацки):

$$D_i = 100 \cdot p_i \cdot N_i / N_s , \quad (4.4)$$

где  $p_i$  – встречаемость;  $p_i = m_i / M_i$ ,  $m_i$  – число проб, в которых был найден вид  $i$ ,  $M$  – общее число проб,  $N_i$  – число особей  $i$ -го вида,  $N_s$  – общее число особей в биоценозе. Для характеристики видового

комплекса предлагается выделять доминанты в пределах  $10 < D_i < 100$ , субдоминанты – в пределах  $1 < D_i < 10$ , субдоминанты первого порядка – в пределах  $0.1 < D_i < 1$  и второстепенные члены –  $0.01 < D_i < 0.1$ .

К. Шеннон определил *энтропию* опыта  $H$ , как среднее значение неопределенности отдельных исходов:

- для случая двух опытов

$$H(\alpha \beta) = - (1/r) \log(1/r) - (1/l) \log(1/l)$$

• или в общем случае произвольного опыта с  $k$  исходами, имеющими вероятности  $P_1, P_2, \dots, P_k$

$$H = - \sum_{i=1}^k P_i \cdot \log_2 P_i$$

Энтропия (или неопределенность исхода) равна нулю, если вероятность одного из событий равна 1, и принимает максимальное значение в случае равновероятных исходов. Действительно, если известно, что в водоеме присутствует только один вид гидробионтов, то какая-либо неопределенность по его извлечению отсутствует (т.е.  $H = 0$ ). Неопределенность в предсказании результата отлова резко возрастает, если мы имеем в водоеме  $k$  видов с одинаковой численностью. Важным для биологии свойством энтропии является то, что значительным числом исходов, суммарная вероятность которых мала, при подсчете энтропии можно пренебречь.

Энтропию  $H$ , как меру неопределенности, нельзя отождествлять с *информацией*  $I$  (как, например, напряженность электрического поля нельзя отождествлять с разностью потенциалов). Но количество информации об опыте  $\beta$ , содержащейся в опыте  $\alpha$ , равно

$$I(\alpha, \beta) = H(\beta) - H_\alpha(\beta)$$

где  $H_\alpha(\beta)$  – условная энтропия опыта  $\beta$  после выполнения опыта  $\alpha$  (т.е. снижение неопределенности  $\beta$  в результате выполнения  $\alpha$ ).

При расчете энтропии  $H$  по Шеннону считается, что каждая проба – случайная выборка из сообщества, а соотношение видов в пробе отражает их реальное соотношение в природе. В качестве оценок вероятностей независимых событий  $p_i$  для формулы (4.6) могут быть использованы следующие апостериорные отношения:

- *удельная численность*  $i$ -го вида, как частное от деления его численности  $N_i$  на общую численность всех видов, взятых для анализа:  $p_i = N_i / \sum N_i$ ;

• удельная биомасса  $i$ -го вида, как частное от деления его биомассы  $B_i$  на общую биомассу всех видов в пробе:  $p_i = B_i / \sum B_i$ .

Чуть позже Р. Маргалеф предложил другое выражение для индекса разнообразия:

$$H = \frac{1}{N} 1.443 \cdot \ln \frac{N!}{n_1! + n_2! + \dots + n_N!}$$

где  $N!$  – факториальная величина всех исследуемых видов,  $n_i!$  – факториал от числа особей каждого вида. Сопоставляя формулы, нетрудно увидеть, что формула Маргалефа – просто иная форма расчета энтропии по Шеннону.

### 13.12.3. Классификация водоемов и биоценозов по сапробности

Классификация организмов по сапробности – это их классификация по сопротивляемости загрязнению (органической нагрузке, недостатку кислорода, присутствию соединений сероводорода), поскольку: сапробность (от греч. *sapros* – гнилой) – «это комплекс физиологических свойств данного организма, обуславливающий его способность развиваться в воде с тем или иным содержанием органических веществ, с той или иной степенью загрязнения»..

Для каждой зоны сапробности можно выделить тесно связанное с ней подмножество видов гидробионтов, которые считаются ее индикаторами. Именно это обстоятельство породило иллюзию того, что в основании сапробиологической классификации водоемов лежат именно "биологические" факторы, а не механизмы деструкции органического вещества.

О.П. Оксьюк и В.Н. Жукинский в своих классификационных таблицах соотнесли две шкалы: сапробности и трофности. Если под сапробностью понимается интенсивность органического распада, то трофность означает интенсивность органического синтеза. В природе оба процесса – органический синтез и распад – существуют параллельно и состоят друг с другом в многократном взаимодействии, что позволяет говорить об аналогии ступеней сапробности и трофики: "олигосапробность – олиготрофия", "β-мезосапробность – мезотрофия", "α-мезосапробность – эвтрофия" и "полисапробность – гипертрофия". Эта аналогия привлекательна тем, что создает предпосылку к

устранению одной из классификаций, как ненужного дублирующего звена. В худших конкурентных условиях находится система сапробности, как основанная на весьма "размытых" разделяющих факторах, когда как классификация по трофике жестко связана с концентрациями биогенных элементов. В то же время, ряд исследователей подчеркивает неполное совпадение форм трофики и сапробности, особенно в мезосапробных зонах и для непроточных водоемов.

Система Кольквитца–Марссона была разработана применительно к условиям загрязнения вод средней Европы в начале века. В настоящее время характер и степень загрязнения водоемов изменились, в основном за счет интенсификации антропогенного воздействия. Это явилось причиной расширения "классической" классификации в двух основных направлениях:

- появление новых зон "чище" олигосапробной и "грязнее" полисапробной;
- выделение дополнительных зон на принципиально новой классификационной основе.

Наиболее широкая ревизия "классической" системы была выполнена В. Сладечком, который включил в классификацию абиотические зоны, а внутри полисапробной выделил три зоны – изосапробную (преобладание цилиат над флагеллятами), метасапробную (преобладание флагеллят над цилиатами) и гиперсапробную (отсутствие простейших при развитии бактерий и грибов). Наконец, была сделана методологически решительная попытка [Sládeček, 1969<sup>M</sup>] сравнения некоторых бактериологических и химических показателей с отдельными ступенями сапробности и предложена общая "биологическая" схема качества вод.

Все системы сапробности учитывают фактически только нетоксичные органические загрязнения, которые влияют на организмы в первую очередь через изменение кислородного режима. Для учета влияния токсических органических и неорганических соединений делаются попытки разработать шкалы токсобности и затем объединить их со шкалами сапробности в единую шкалу сапротоксобности, причем существуют противоположные мнения о возможности такого объединения.

#### **13.12.4. Оценка качества экосистемы по соотношению количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению**

Соотношение количества видов, по-разному относящихся к загрязнению, неоднократно использовалось в качестве показателя качества воды. При усилении загрязнения, как правило, уменьшается обилие стенобионтных и олигосапробных видов животных, в результате чего возрастает относительная доля эврибионтных и сапробионтных видов. О.М. Кожова [1986] разделила виды гидробионтов на четыре группы: 1 – чувствительные и устойчивые, 2 – чувствительные и неустойчивые, 3 – нечувствительные и неустойчивые, 4 – нечувствительные и устойчивые. Группа 1 – лучшие индикаторы загрязнения; при усилении загрязнения виды группы 2 обычно мигрируют (при наличии соответствующей способности), а группы 3 – погибают. При дальнейшем загрязнении начинают доминировать представители группы 4.

Для оценки изменения биоразнообразия под влиянием загрязнений Дж. Керном с соавт. [Cairns et al., 1968<sup>B</sup>, 1971<sup>M</sup>] предложен простой индекс последовательного сравнения (SCI). Для его расчета не нужно определять организмы до вида, а достаточно лишь улавливать их различие по форме, окраске и величине.

Т. Ватанабе [Watanabe, 1962<sup>M</sup>] для расчёта индекса загрязнения использует соотношение видов диатомей, которые автор считает в разной мере устойчивыми к загрязнению:

$$i = \frac{2A + B - 2C}{A + B - C} \cdot 100, \text{ где } A - \text{число видов, устойчивых к загрязнению, } B - \text{безразличных и } C - \text{встречающихся только в загрязнённых водах.}$$

#### **13.12.5. Интегральные критерии: оценка качества экосистем по нескольким показателям**

Классы качества воды по гидробиологическим и микробиологическим показателям определяются "Правилами контроля качества воды водосливов и водотоков" [ГОСТ 17.1.3.07–82], которые регламентируют содержание программ контроля гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей, периодичность контроля, а также назначение и расположение пунктов отбора проб

(табл. 13.7). Согласно этому документу, степень загрязненности воды оценивается с учетом индекса сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека, олигохетного индекса Гуднайта–Уитлея и Пареле, биотического индекса Вудивисса и традиционного набора микробиологических показателей

Интегральный показатель по Е.В. Балускиной [1997] разработан и используется для оценки состояния экосистем водоемов, подверженных смешанному органическому и токсическому загрязнению. Прошел широкое тестирование в системе Ладожское озеро – р. Нева – восточная часть Финского залива [Балускина с соавт., 1996]. Интегральный показатель IP рассчитывается по формуле:

$$IP = K_1 * S_t + K_2 * OI + K_3 * K_{ch} + K_4 / BI ,$$

где  $S_t$  – индекс сапротоксности В.А. Яковлева ( $K_1 = 25$ );  $OI$  – олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея, равный отношению численности олигохет к суммарной численности зообентоса в процентах ( $K_2 = 1$ );  $K_{ch}$  – хирономидный индекс Балускиной ( $K_3 = 8.7$ );  $1 / BI$  – величина, обратная биотическому индексу Вудивисса ( $K_4 \cong 100$ ).

Е.В. Балускина полагает, что полученный ею интегральный показатель включил в себя все лучшие черты родительских индексов и максимально учитывает характеристики донных сообществ: наличие видов-индикаторов сапротоксности, соотношение индикаторных групп животных более высокого таксономического ранга, степень доминирования отдельных групп и структуру сообщества в целом.

*Комбинированный индекс состояния сообщества по А.И. Баканову.* При оценке состояния донных сообществ ряда рек, озер и водохранилищ России для количественной характеристики состояния бентоса автор использовал следующие показатели: численность ( $N$ ), экз./м<sup>2</sup>; биомассу ( $B$ ), г/м<sup>2</sup>; число видов ( $S$ ); видовое разнообразие по Шеннону ( $H$ ), бит/экз.; олигохетный индекс Пареле (ОИП, %), равный отношению численности олигохет-тубифицид к общей численности бентоса, среднюю сапробность ( $CC$ ), рассчитываемую как средневзвешенную сапробность трех первых доминирующих по численности видов бентосных организмов. Для объединения значений перечисленных показателей и замене их одним числом предлагается результирующий показатель – комбинированный индекс состояния сообщества (КИСС; [Баканов, 1997]), находимый по обычной методике расчета интегральных ранговых показателей:

$$КИСС = \left( \sum_{i=1}^k P_i \cdot R_i \right) / \sum_{i=1}^k P_i, \quad (4.22)$$

где  $R_i$  – ранг станции по  $i$ -му показателю,  $P_i$  – "вес" этого показателя,  $k$  – число показателей.

Вначале все станции ранжируются по каждому показателю, причем, ранг 1 присваивается максимальным значениям  $N$ ,  $B$ ,  $H$  и  $S$ . Если на нескольких станциях значения какого-либо показателя были одинаковыми, то они характеризовались одним средним рангом. В статье приводятся разные версии итоговой формулы (4.22) (подчеркнем, что в формулы входят не абсолютные значения показателей, а их ранги):

- $КИСС = (2B + N + H + S)/5$ , где биомассе придан "вес", равный 2, поскольку с ней связана величина потока энергии, проходящей через сообщество, что чрезвычайно важно для оценки его состояния;

- $КИСС = (2СС + 1.5ОИП + 1.5B + N + H + S)/8$ , где считается, что с загрязнением наиболее тесно связана средняя сапробность.

Чем меньше величина КИСС, тем лучше состояние сообщества.

Поскольку состояние сообщества зависит как от естественных факторов среды (глубины, грунта, течения и т.п.), так и от наличия, характера и интенсивности загрязнения, дополнительно рассчитывается комбинированный индекс загрязнения (КИЗ; [Баканов, 1999]), включающий ранговые значения трех показателей:

$$КИЗ = (СС + ОИП + B)/3. \quad (4.23)$$

Ранжирование показателей здесь проводится в обратном порядке (от минимальных значений к максимальным)

КИСС и КИЗ – относительные индексы, ранжирующие станции по шкале, в которой наилучшее по выбранному набору показателей состояние сообщества характеризуется минимальными значениями индексов, наихудшее – максимальными. Кроме значений, характеризующих величины показателей на конкретной станции, рассчитывают их средние значения для всего набора станций. Варьирование величин индексов на отдельных станциях относительно среднего позволяет судить, хуже или лучше обстоят на них дела по сравнению с общей тенденцией.

Вычисление коэффициента ранговой корреляции по Спирмену между значениями КИСС и КИЗ показывает, насколько загрязнение

влияет на состояние сообществ зообентоса. Если между значениями этих индексов существует достоверная положительная корреляция, то состояние сообществ донных животных в значительной степени определяется наличием загрязнений (в противном случае оно определяется естественными факторами среды).

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Л.С. Контроль качества воды. М., ИНФРА-М, 2004, 78 с.
- Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л., ГМИ, 1989, 152 с.
- Ботвинков В.М. и др. Гидроэкология на внутренних водных путях. Новосибирск, СО РАН, 2002, 354 с.
- Былинкина А.А., Драчев С.М., Ицкова А.И. О приемах графического изображения аналитических данных о состоянии водоема // Материалы 16-го совещ. Гидрохим. ин-та АН СССР. – Новочеркасск: АН СССР, 1962.
- Балушкина Е.В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение внешних условий. – СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.
- Гаев А.Я. и др. Геоэкология для строителей. Оренбург, 2004, 312 с.
- Гидроэкология: теория и практика. М., 2004, 506 с.
- Гиляров А.М. Популяционная экология. М., МГУ, 1990. 191 с.
- Глухов В.В. и др. Экономические основы экологии. СПб., Питер, 1999, 200 с.
- Голубев И.Р. , Новиков Ю.В. Окружающая среда и её охрана. – М.: Просвещение, 1985, 125 с
- Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод. Вологда, 2000, 127 с.
- Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека / Пер. с франц. М.: Прогресс, 1973. 267 с.
- Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л., 1984
- Исидоров В.А. Введение в экотоксикологию. СПб., Химиздат, 1999, 141 с.
- Комплексное использование и охрана водных ресурсов. М., Агропромиздат, 1985, 303 с.
- Лопух П.С. Гидрология суши. Мн., БГУ, 2009, 198 с
- Лукияненко В.И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М., Агропромиздат, 1987, 239 с.
- Львович М. И. Вода и жизнь: (Водные ресурсы, их преобразова-

ние и охрана). М.: Мысль, 1986. 254 с.

Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 447 с.

Мазаев В.Т. и др. Коммунальная гигиена. М., ГЭОТАР-Медиа, 2005, 300 с

Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1. 1998, 611 с.

Никаноров А.М. Гидрохимия. Л., ГМИ, 1989, 352 с.

Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986, в 2-х томах

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–77.

Попов В.Ф., Толстихин О.Н. Общая экология. Якутск, 2000, 256 с.

Унифицированные методы исследования качества вод. М., СЭВ, 1987, 122 с

Ушаков Е.П. и др. Оценка стоимости важнейших видов природных ресурсов. М., 1999, 71 с.

Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Мн.: Экоинвест, 1996. 240 с.

Шитиков В.К. и др. Количественная гидроэкология. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

Яковлев С.В. и др. Рациональное использование водных ресурсов. М., Высшая школа, 1991, 400 с.

Яцык А.В. Гидроэкология. К., Урожай, 1992. 192 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Введение	4
Глава 1. ГИДРОЭКОЛОГИЯ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК	6
1.1. Гидроэкология как самостоятельная наука	6
1.2. Предмет и задачи гидроэкологии	10
1.3. История развития гидроэкологии	12
1.4. Основные методы гидроэкологии	14
Глава 2. ГИДРОСФЕРА	17
2.1. Вода как среда обитания	17
2.2. Общая характеристика гидросферы	23
2.3. Водные ресурсы и их особенности	24
2.4. Происхождение воды и гидросферы	29
2.5. Круговороты веществ	32
Глава 3. ЭКОСИСТЕМЫ. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ	40
3.1. Экосистемы	40
3.2. Основные законы и принципы гидроэкологии	46
Глава 4. АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОСФЕРУ	50
4.1. Водопотребители и водопользователи	50
4.2. Использование воды в мире	63
4.3. Использование воды в РБ	67
4.4. Причины, источники и последствия загрязнения воды	72
4.5. Понятие о загрязняющих веществах, типы загрязняющих веществ	77
4.6. Загрязнение воды и здоровье	82
Глава 5. Экологическая безопасность	86
5.1. Понятие «экологическая безопасность»	86
5.2. Понятие воздействия на водную среду	87
5.3. Оценка экологической безопасности	88
Глава 6. ОХРАНА И ЗАЩИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	90
6.1. Охрана и защита водных ресурсов	90
6.2. Способы очистки сточных вод	94
6.3. Экономическая оценка водных ресурсов и плата за ущерб	99
Глава 7. МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	103
7.1. Определения и классификация систем мониторинга окружающей среды	103
7.2. История мониторинга	108
7.3. Система мониторинга в Беларуси	110

Глава 8. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УЧЕТ ВОД И ВОДНЫЙ КАДАСТР БЕЛАРУСИ	116
Глава 9. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	121
Глава 10. ОБЩИЕ И СУММАРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОД	135
10.1 Физические свойства воды	135
10.2. Общие химические показатели качества вод	135
Глава 11. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДНОЙ СРЕДЕ	149
11.1. Классификация химических элементов	149
11.2. Макроэлементы	153
11.3. Микроэлементы в природных водах	168
Глава 12. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ	184
Глава 13. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	210
13.1. Основные группы гидробионтов	210
13.2. Фитопланктон	221
13.3. Зоопланктон	228
13.4. Бактериопланктон	231
13.5. Бентос	233
13.6. Высшая водная растительность (макрофиты)	235
13.7. Самоочищение	238
13.8. Первичная и вторичная продукция	240
13.9. Пищевые цепи и экологические пирамиды	241
13.10. Сукцессии	243
13.11. Критерии оценки качества вод по данным гидробиологического анализа	244
13.11.1. Оценка качества экосистемы по соотношению показателей обилия	245
13.11.2. Оценка качества экосистемы по индексам видового разнообразия	248
13.12.3. Классификация водоемов и биоценозов по сапробности	251
13.12.4. Оценка качества экосистемы по соотношению количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению	253
13.12.5. Интегральные критерии: оценка качества экосистем по нескольким показателям	253
Литература	257