



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Физико-
технологический
институт

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебное пособие



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Учебное пособие

Рекомендовано методическим советом
Уральского федерального университета
для студентов вуза, обучающихся
по направлению подготовки
18.03.01 — Химическая технология

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2019

УДК 502.51 (075.8)

ББК 20.18я73

Э40

Авторы:

А. Ф. Никифоров, А. С. Кутергин, В. С. Семенищев, С. В. Никифоров

Рецензенты:

кафедра «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения (завкафедрой проф., канд. биол. наук *И. И. Гаврилин*);

завлабораторией проф., д-р техн. наук *А. Н. Попов* (ФГУП РосНИИВХ)

Научный редактор — проф., д-р техн. наук *А. Л. Смирнов*

Изображение на обложке с сайта <http://culvercitycrossroads.com/wp-content/uploads/2015/07/waterindustry.png>

Экологические основы охраны водных ресурсов : учебное пособие / А. Ф. Никифоров, А. С. Кутергин, В. С. Семенищев, С. В. Никифоров. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 192 с.

ISBN 978-5-7996-2603-7

В учебном пособии особое внимание уделено вопросам устойчивости экосистем и их изменению под влиянием хозяйственной деятельности человека. Показана взаимосвязь между обобщениями Б. Коммонера и законами физики. Сформулированы принципы и мотивы охраны природных систем. Убедительно доказано, что доступность и качество природной воды является основой стабильности социальных систем, а состояние водных ресурсов служит индикатором общего загрязнения экологических систем. Подробно освещены вопросы дефицита питьевой воды, взаимосвязи качества питьевой воды и здоровья населения, радиоактивности природных вод, стратегического значения водных ресурсов.

Изложена проблема охраны водных ресурсов от загрязнения и истощения и рассмотрены пути ее решения. Показана роль регламентации поступления загрязняющих веществ в водные объекты, внедрения замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий, рыночного механизма охраны водных ресурсов.

Библиогр.: 42 назв. Табл. 4. Рис. 4.

УДК 502.51 (075.8)

ББК 20.18я73

ISBN 978-5-7996-2603-7

© Уральский федеральный университет, 2019

Введение

Под охраной природы понимают комплекс технологических и организационных мероприятий по обеспечению физических, химических и биологических параметров природных систем в пределах, необходимых для здоровья и благосостояния людей. Иначе говоря, охрана природы — это система мер, обеспечивающая оптимальные взаимоотношения человеческого общества с окружающей природной средой.

Природоохранная деятельность в настоящее время представляет попытку смягчить удар, который наносит Природе человек, нарушая ее законы, стремясь хоть немного отдалить возмездие [28]. Однако, решая конкретные вопросы охраны окружающей среды, необходимо помнить, что без знания законов существования и развития природы все наши усилия направляются на борьбу с последствиями, а не с причиной, породившей конфликт человека и природы. Отсюда следует важнейший вывод: решение любой конкретной природоохранной проблемы следует начинать со знакомства с законами, по которым живет и развивается природа [26].

В наши дни охрана природы стала важнейшей естественнонаучной и социально-политической проблемой современности, от правильного решения которой зависит благополучное существование человечества. Общество не может воздействовать на природу без учета возможных отрицательных последствий своей хозяйственной деятельности. Научной основой

природоохранной деятельности является теоретическая и прикладная экология.

Согласно законам экологии причинами экологических кризисов антропогенного характера являются экспоненциальный рост численности популяции человека, неограниченная эксплуатация природных ресурсов и рост загрязнения окружающей среды. Катастрофическое разрушение биосферы в результате активной деятельности человека потребовало формирования научного направления, которое получило название природопользование. Природопользование — совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению. Природопользование включает в себя извлечение и переработку природных ресурсов, их воспроизводство, использование и охрану природной среды, сохранение природного баланса экосистем. Важнейшей задачей природопользования являются природоохранные мероприятия.

Важнейшей природной средой, в которой зародилась жизнь и без которой невозможно ее существование, является водная среда. Она определяет благополучие человека, удовлетворяя его физиологические потребности как биологического вида, так и социального существа и выполняя здесь различные функции (гигиеническую, эстетическую, транспортную, технологическую и т. д.). В этом плане безопасность человечества и перспективы его существования в полной мере определяются состоянием водной среды. Без преувеличения можно сказать, что высококачественная вода, отвечающая санитарно-гигиеническим и эпидемиологическим требованиям, является одним из неизменных условий безопасной жизнедеятельности людей [16].

За последние годы оценка роли воды в жизни человека изменилась. О ней все чаще стали говорить не только врачи-гигиенисты, но и биологи, инженеры, строители, экономисты, политические деятели. Вследствие бурного развития общественного производства и градостроительства, роста материального бла-

.....

госостояния и культурного уровня населения постоянно увеличивается потребность в воде, что приводит к более рациональному ее использованию.

Цель данного учебного пособия — рассмотреть закономерности теоретической и прикладной экологии, изучить организационные, правовые, технические и экономические мероприятия по охране природных ресурсов. Особое внимание уделено водным системам. Представленный материал может быть использован студентами технических вузов при выполнении курсовых и дипломных проектов.

1. Экология и природоохранная деятельность

1.1. Предмет изучения экологии

В большинстве случаев под экологией понимают негативные последствия, которые вносит человек в окружающую его среду. Слишком интенсивная эксплуатация природных ресурсов, различные формы загрязнения воды и воздуха рассматриваются с позиций их отрицательного влияния на здоровье человека и условия его жизни.

Такой *антропоцентрический* подход к экологии оправдан в современных условиях кризисного состояния биосферы. Ликвидация вредных для человека последствий его хозяйственной деятельности действительно является важной задачей сегодняшнего дня.

Негативные эффекты стихийного развития промышленности приводят к нарушению функционирования природных сообществ живых организмов, совокупная деятельность которых обеспечивает саму возможность существования жизни как глобального явления. В этом плане человек представляет собой лишь одну из форм жизни, хотя и высокоразвитую. Именно влияние человечества на всю взаимосвязь совокупных живых существ представляет наиболее фундаментальную опасность.

Установить правильное взаимодействие деятельности человека с природными процессами, которые обеспечивают устойчивое поддержание жизни на нашей планете, можно лишь

на основе знания законов формирования и поддержания активного функционирования биологических систем. Такой *биоцентрический* подход отражает наиболее фундаментальные проблемы экологии как науки.

В 90-х гг. XX века человечество столкнулось с рядом глобальных экологических проблем, требующих от всех стран совместных усилий по их разрешению. После доклада, подготовленного для ООН в 1987 г. специально созданной международной комиссией по окружающей среде, появился термин *устойчивое развитие*. Экология с ее системным, комплексным и биоцентрическим подходом к решению всех экономических и социальных проблем призвана стать основой разработки теории устойчивого развития природы и общества [17].

Экология (греч. oikos — дом, убежище и logos — наука, учение) — наука о взаимоотношении организмов между собой и с окружающей неживой природой. Термин в 1866 г. ввел немецкий естествоиспытатель и философ Эрнст Геккель [6].

Геккель Э. сформулировал понятие экологии как новой науки на основании большого фактического материала, накопленного в биологии за время ее длительного развития. Действительно, весь предшествующий период становления биологических знаний шло накопление описания отдельных видов, а также материалов по их образу жизни:

- в 1798 г. Т. Мальтус описал уравнение экспоненциального роста популяции, на основании которого строил свои демографические концепции;
- в 1824 г. французский врач В. Эдварс опубликовал книгу «Влияние физических факторов на жизнь»;
- в 1838 г. П. Ф. Ферхлюст предложил уравнение логистического роста отдельных организмов;
- в 1838 г. Ж. Б. Ламарк в учебнике «Гидрогеология» фактически предвосхитил учение о биосфере;
- в 1840 г. Ю. Либих сформулировал знаменитый «закон минимума»;

- в 1841–1858 гг. К. Ф. Рулье разработал практически полный перечень принципиальных проблем экологии.

Рулье К. Ф. первый четко определил принцип взаимоотношений организма и среды: «Ни одно органическое существо не живет само по себе; каждое вызывается к жизни и живет только поскольку находится во взаимодействии с относительно внешним для него миром» [15]. Научной основой экологии является учение Ч. Дарвина о борьбе организмов за существование. В это понятие он включал не только конкуренцию организмов за жизненные ресурсы, но и их реакции на различные факторы окружающей среды, посредством которых они приспособляются к существованию в конкретных условиях.

В развитие экологии значительный вклад внесли русские ученые С. И. Вавилов, В. Н. Сукачев, Е. Н. Павловский, С. С. Шварц и др. Особая заслуга в развитии экологии принадлежит В. И. Вернадскому, основателю учения о биосфере и ноосфере (сфере жизни и сфере разума соответственно).

И все же начало развития экологии как самостоятельной науки следует отсчитывать от трудов Э. Геккеля, давшего четкое определение ее содержания. Надо отметить, что говоря об отдельных «организмах», Э. Геккель имел в виду не отдельных особей, а рассматривал организмы как представителей конкретных видов.

По существу, основное направление, сформулированное Э. Геккелем, соответствует современному пониманию *аут-экологии* (греч. *autos* — сам) — экологии отдельных видов, поэтому в течение длительного времени основное развитие экологии шло в русле аутэкологического подхода.

В конце XIX века и особенно в первой половине XX века начались широкие работы по изучению более сложных надорганизменных биологических систем:

- в 1877 г. К. Мебиусом сформулирована концепция биоценозов как многовидовых сообществ живых организмов, функционально связанных друг с другом;

- в 1927 г. Ч. Элтон опубликовал первый учебник по экологии, в котором четко выделил понятие трофической ниши и сформулировал правило экологических пирамид;
- в 1927 году появилась книга В. И. Вернадского «Биосфера», в которой впервые показана планетарная роль живых организмов — живого вещества;
- в 1935 г. А. Тенсли ввел понятие «экосистема».

Таким образом, в начале XX века произошло деление экологии на *аутэкологию* (экологию отдельных видов) и *синэкологию* (экологию многовидовых сообществ — биогеоценозов).

В начале XXI века более правильно рассматривать экологию как науку о закономерностях формирования, развития и устойчивого функционирования биологических систем разного ранга в их взаимоотношениях с условиями среды.

1.2. Специфика современной экологии

Понятие *экология* приобретает глобальный масштаб. Экология перешла на изучение процессов, протекающих на уровне биосферы, и не может ограничиваться только экосистемным подходом: он должен включать все разделы естественных и гуманитарных наук.

Требуется не только понимание законов развития и потенциальных возможностей природы, но и осознание единства природы и человека. Одновременно с классической биологической экологией возникла экология человека.

Существуют ли пределы изменения среды обитания, за которыми наступают необратимые разрушения? Безгранична ли возможность адаптации (приспособления) человека к новым условиям, или для нее существует какой-то предел? Если да, то какой? Можно ли заменить природную среду искусственной? Какое влияние природная среда оказывает на человека? Что такое оптимальная среда?

Ответы на эти вопросы можно дать лишь с *экологических* позиций. Нужно производить детальный анализ взаимодействия человека со средой его обитания. Одной из важнейших задач экологии является определение места человека в биосфере или, пользуясь языком экологии, его «экологической ниши». Иными словами, экология призвана определить оптимальные условия, необходимые человеку для жизни и развития, с одной стороны, и возможности его влияния на экосистему, ее функционирование и сохранение — с другой.

Поскольку развитие человеческого общества определяется не только биологическими, но и в значительной степени *социальными* процессами, то человек всем своим существованием вносит в биосферу специфические изменения, которые являются следствием *общественного* развития. Изучение механизмов, при помощи которых человек действует на окружающую среду, и преобразований в природной среде, которые являются прямым или косвенным следствием деятельности человеческого общества, является задачей *экологии человека*. Познание этих законов даст возможность перейти к сознательному воздействию на экологические факторы, которые явно или скрытно действуют в окружающей среде.

По мнению Н. Ф. Реймерса [27], экология человека должна стать комплексной наукой: она должна объединять биологию, медицину, антропологию, социологию, психологию, философию и другие естественные и гуманитарные дисциплины. В начале XXI появились различные формы борьбы за охрану окружающей среды, например Движение «Зеленых». Экологические вопросы стали включать в повестку дня международных симпозиумов. С политизацией экологических проблем возникли понятия *экоразвитие*, *экополитика* и *экологическая безопасность*. Связи их с экономикой определили появление гибридных эколого-экономических дисциплин от близких к политэкономии (политэкология) до конкретной экономики природопользования. Само природопользование приобрело экологическую окраску.

Архитектурная, ландшафтная и материальная среды стали предметом экологии культуры. Как научная дисциплина экология культуры призвана исследовать культурную среду обитания человека, ее формирование и воздействие на людей. Это влияние может распространиться на организм человека и на его личность. В последнем случае экология приобретает идеологическую окраску. Идеологическая окраска усиливается в «глубокой экологии».

Глубокая экология основана на системе взглядов, отражающих особую ценность человека по сравнению с другими биологическими видами. Доминирующая самооценность придается нашей планете, а затем лишь человеку, социальные возможности которого ограничены. Это уже не наука, а биоцентристское в своей основе общественное движение. Оно противопоставляется социальной экологии. Движение рассматривает современный экологический кризис как проявление кризиса социального, общечеловеческого, а не глобально-биосферного.

С общенаучной точки зрения такое противопоставление неприемлемо. Для человека его самооценность очевидна, но в то же время без сохранения целостности биоты Земли трудно ожидать, чтобы люди как вид могли существовать.

Смысл возникших противоречий заключается в том, что рассматриваются два пути:

1. Все для современного человека за счет природы.
2. Адаптация людей к природе, уважение к ней, ее законам как непреходящей ценности, передаваемой по наследству последующим поколениям.

В любом случае важно, что при анализе экологии как науки следует учитывать сферу мировоззрения, экологизации знания, и даже идеологии. Окончательно смыкается цикл естественно-научных и гуманитарных знаний, происходит сближение с философией и развивается общенаучный подход к проблеме.

В этом и состоит специфика современной экологии. Она из биологической превратилась в цикл знания, который вклю-

чает практически все научные дисциплины: разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, теории культуры, экономики.

Экология расширила свой предмет за пределы биоэкологии, и, следовательно, включила в круг изучения широкий спектр новых объектов. Смешаны понятия *охрана природы* и *охрана окружающей человека среды*. Цели этих двух областей знания идентичны: сохранение всей природы Земли и ближайшего окружения человека.

Охрана природы подходит к решению проблемы с точки зрения биосферных процессов, естественных ресурсов, их сохранения для развития человечества, т. е. с позиции «глубокой экологии». Охрана окружающей человека среды концентрирует свое внимание прежде всего на потребностях самого человека. Важно, что вместе они являются единым комплексом прикладного знания экологического цикла [27].

Экология является фундаментальной основой для природо- и средоохранного знаний. Термин *прикладная экология* включает в себя промышленную (инженерную), сельскохозяйственную, промысловую, строительную, медицинскую экологию и т. д. Основная цель прикладной экологии состоит в разработке принципов рационального использования природных ресурсов на основе сформулированных общих закономерностей организации жизни.

2. Структура и причины устойчивости экосистем

2.1. Структура экосистем

В современной науке доминирует системная парадигма. Система — совокупность взаимодействующих элементов, составляющих некое более или менее ограниченное целостное единство. Предполагается, что связи взаимодействия между элементами внутри системы сильнее, чем с внешними по отношению к системе даже абсолютно идентичными элементами. У системы есть морфологические и функциональные границы, которые трудно обнаружить. Существует множество понятий экосистемы. Приведем их обобщающее определение. Экосистема — «саморазвивающаяся и саморегулирующаяся, определенным образом упорядоченная материально-энергетическая или информационная совокупность, существующая и управляемая как относительно единое целое за счет взаимодействия, распределения и перераспределения имеющихся, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью веществ, энергии, информации и обеспечивающая преобладание внутренних связей (в том числе перемещений вещества, энергии, передачи информации) над внешними» [23].

Важнейшее значение имеет поток энергии в экосистеме — экосистемы существуют за счет солнечной энергии. Преимущество данного вида энергии [21]:

1. *Избыток.* Растения используют 0,5% количества солнечной энергии, что вполне достаточно для удовлетворения потребностей человека.

2. *Чистота.* Ядерные реакции, идущие в недрах Солнца, сопровождаются выделением радионуклидов, которые находятся на расстоянии 150 млн км от Земли. Солнечная энергия «чистая» в отличие от энергии, получаемой путем сжигания ископаемого топлива или на АЭС.

3. *Постоянство.* Солнечная энергия всегда будет доступна в одинаковом (безграничном) количестве. В то же время она слишком рассеяна. Ее можно сконцентрировать (солнечные батареи).

4. *Вечность.* Астрономы предполагают, что через несколько миллиардов лет Солнце погаснет. Это не имеет для нас практического значения. Люди существуют около 3 млн лет (0,3 млрд %). Даже если через 1 млрд лет жизнь на Земле станет невозможной, у человечества в запасе еще 99,7% этого срока.

В экологической системе (экосистеме) имеет место пространственно-ограниченное взаимодействие организмов и окружающей их среды. Ограничение может быть физико-химическим (например, граница капли воды, пруда, озера, острова) или связанным с круговоротом веществ, интенсивность которого внутри экосистемы выше, чем между нею и внешним миром. В последнем случае границы экосистемы размыты, имеется широкая переходная полоса.

Если рассматривать экосистему как совокупность различных растений, животных и микробов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей их средой, то вся эта совокупность может сохраняться неопределенно долгое время. Как клетка представляет собой функциональную единицу организма, так и экосистема является функциональной единицей биосферы.

Очень крупные наземные экосистемы называют *биомами*: листопадные леса, злаковые прерии, хвойные вечнозеленые леса,

.....

тундра, дождевые тропические леса. Биом включает в себя целый ряд меньших по размерам, связанных друг с другом экосистем.

Существуют множество типов водных экосистем: ручьи, реки, озера, пруды, болота. Каждая водная экосистема имеет свой характерный набор растений, животных и микроорганизмов. Океаны также можно подразделить на отдельные экосистемы: коралловые рифы, континентальный шельф и т. д.

Водные экосистемы [29] отличаются от экосистем суши прежде всего своими физическими и химическими свойствами. Водные экосистемы делят на пресноводные и экосистемы Мирового океана. Пресноводные экосистемы широко представлены на всех континентах. Реки и озера Земли содержат основную часть пресной воды, хотя в некоторых внутренних водоемах вода соленая (это характерно для жаркого и сухого климата).

Прибрежные зоны любых водоемов являются их главными трофическими областями. Кроме полупогруженных растений в водоемах живут придонные организмы, которые составляют бентос и планктон, что плавает в толще воды. Продукция большинства водоемов часто лимитируется недостатком биогенных минеральных веществ. Живое вещество сосредоточено в верхних слоях воды, где есть достаточно солнечного света, а минеральные вещества поступают из придонных слоев.

В придонной части озер почти нет растений, вода мало подвижна и имеет в течение года температуру +4 °С. Фауна указанной части озер обеднена. Она представлена в основном личинками комаров и моллюсками. Все живые организмы имеют различные приспособления, помогающие им удерживаться в толще воды. У растений — это парашутоподобные выросты, капельки жира в теле — животные активно плавают. Растительный и животный мир озер во многих случаях определяется наличием в воде питательных веществ. По этому признаку озера делятся на эвтрофные, богатые азотом и фосфором; олиготроф-

ные, бедные азотом и фосфором (нитратов менее 1 мг/л) и мезотрофные — промежуточные между ними озера.

В развитии речных экосистем основную роль играют характер дна и берегов, температура воды и скорость течения. В прибрежной части ручьев и рек растут обычные для этих мест камыши, лепешняк и стрелолист. В толще воды плавают элодея, кувшинки. При росте скорости течения до 0,3–0,6 м/с и более толща воды остается постоянной. Для рек планктон не характерен, поскольку сносится течением. Речная энтомофауна весьма разнообразна. Здесь немало водных насекомых и их личинок. Часто встречаются рачки-бокоплавы.

Трофические цепи пресноводных экосистем, особенно рек, короткие вследствие отсутствия богатой кормовой базы. Они начинаются с автотрофных растений и заканчиваются в пастбищных трофических цепях хищными рыбами, а в детритно-трофических цепях — микроорганизмами. Водные экосистемы являются важным национальным богатством. Это — и хранилища пресной воды, и источники разнообразной продукции, и места отдыха.

Характерной особенностью океанических экосистем являются глобальность размеров и огромные глубины, заполненные жизнью; непрерывность (все океаны связаны друг с другом); постоянная циркуляция (наличие сильных ветров, которые дуют в течение года в одном и том же направлении, существование глубинных течений); доминирование разных волн и приливов; соленость и буферность; наличие растворенных биогенных элементов. Все население водных экосистем (около 200 000 видов), как и наземных, разделяют на продуцентов, консументов и редуцентов.

Выделение в ландшафте различных экосистем производится достаточно произвольно. Четкие границы между ними встречаются редко. Между экосистемами обычно есть переходная зона. Экосистемы не изолированы друг от друга. Процессы в одной экосистеме неизбежно затрагивают и другую. Все экосистемы взаимосвязаны и взаимозависимы.

Люди вместе со своими культурными растениями и домашними животными образуют группировку организмов. Это экосистема человека, взаимодействующая со всеми прочими экосистемами планеты.

Экосистема состоит из двух основных подсистем:

- живые организмы;
- окружающая организм среда.

Экология изучает три разных уровня организации живой материи: организменный, популяционно-видовой и биогеоценотический, поэтому экологию принято разделять на три крупных раздела: организменную (факторальную), популяционно-видовую (популяционную) и биогеоценологию (экологию сообществ или экосистем).

Факторальная экология изучает взаимоотношения представителей вида с окружающей его средой. Иначе говоря, факторальная экология исследует совокупность экологических факторов, действующих на изолированную особь, и ответные реакции особи на их действие.

Популяционная экология изучает условия формирования структуры и динамики естественных группировок особей одного вида — популяции. Академик С. С. Шварц [33] так определяет предмет изучения этого раздела экологии: «Главное содержание популяционной экологии заключается в изучении пространственной структуры популяций, их генетического состава, механизмов динамики численности, соотношения разных возрастных групп, факторов ранжирования и группообразования, внутривидовых средств сигнализации и связи, консолидирующих популяцию в единое целое и т. д. ».

Биогеоценология исследует видовой состав сообществ, их пространственную структуру, изменения сообществ во времени. Вместе популяционную экологию и биогеоценологию называют синэкологией (греч. *syn* — вместе).

Исторически экология делится на экологию растений и экологию животных. Сейчас получила широкое развитие

экология микроорганизмов. Экология тесно связана с другими биологическими науками. Так, экология организмов использует физиологию и морфологию. В свою очередь, определенные направления этих наук специально занимаются связями между организмами и средой обитания. Например, экологическая физиология изучает физиологические адаптации организмов к разным факторам среды. Экологическая морфология выясняет, как условия среды формируют строение организмов.

Популяционная экология вступает во взаимодействие с популяционной генетикой. При изучении экосистемного уровня экология вступает в соприкосновение с небиологическими науками: геологией, физической географией, климатологией, почвоведением, гидрологией и т. д. Экология связана с эволюционной теорией. Действие факторов среды на популяции изучают экологи, эти же факторы учитывают при отборе, который рассматривают эволюционисты.

Задача экологии — определить закономерности размещения живых организмов в пространстве, изменения численности организмов, потока энергии через живые системы и круговорота веществ, происходящего при участии живых организмов.

Как и всякая наука, экология должна быть востребована на практике. Роль экологии в решении практических задач велика. В период охоты и собирательства знания об образе жизни животных, распространении и свойствах растений передавались от родителей к детям. Когда экология сформировалась как наука, ее роль резко выросла. Появилась возможность предсказывать последствия хозяйственной деятельности и давать рекомендации, как вести промысел, развивать сельское хозяйство и промышленность, не истощая ресурсы среды и не разрушая природные сообщества. Важность таких научных прогнозов особенно велика в наши дни, когда из-за технического прогресса человечество впервые начало заметно воздействовать на всю биосферу в целом.

Окружающая организм среда состоит из четырех взаимодействующих компонентов: место обитания, другие организмы, ресурсы, условия. Ресурсы — это нечто, что можно потреблять и что может истощаться, т. е. пища, свет, пространство. Условия — это физические и химические особенности окружающей среды, т. е. температура, скорость ветра, кислотность и течение воды, это то, что нельзя потреблять [18].

В ходе эволюции на Земле возникла устойчивая саморегулирующаяся система (химико-биологическая), способная поддерживать благоприятные для существования жизни условия внешней среды. Сформировалась биосфера.

Рассмотрим, как изменяется энергия химических связей атомов при образовании органических и неорганических веществ, и покажем, что природа создала органическое вещество, в том числе и живое, из-за энергетической выгоды.

Поскольку более 99 % веса живого вещества (за вычетом массы воды) приходится на соединения углерода с водородом, кислородом, серой, фосфором и азотом, то именно они являются основными структурными единицами живого вещества Земли.

Энергия химических связей углерода с этими элементами намного выше, чем с другими элементами биосферы. Средняя энергия химических связей в органическом веществе на 359,8 кДж/моль больше, чем в неорганическом веществе Земли, поэтому природе выгоднее образовывать органические соединения, в том числе белковые, входящие в состав живого вещества.

Для преодоления такого энергетического барьера при превращении неорганического вещества в органическую материю атомы получают энергию от повышения температуры и давления, электрических разрядов, ударов космических частиц, радиоактивного излучения или электромагнитного излучения Солнца. Этих энергетических «допингов» атомам достаточно для их возбуждения и преодоления энергетических барьеров.

Живые организмы в сумме составляют *живое вещество*. Кроме него, в составе биосферы есть *косное* вещество (неживое), а также сложные по своей природе *биокосные* тела. В их состав входят как живые организмы, так и видоизмененное неживое вещество. К биокосным веществам относят почвы, илы, природные воды [4].

Живое вещество находится в состоянии постоянного обмена веществом, энергией и информацией с геохимической средой. Оно ежегодно поглощает и ассимилирует большое количество химических элементов и выделяет в окружающую среду новые, образующиеся в организмах соединения, поэтому почти каждый химический элемент в своей истории в той или иной мере проходит биологический цикл превращений.

Общая масса живого вещества Земли, по расчетам В. И. Вернадского, исчисляется сотнями миллиардов тонн и включает 500 тысяч видов растений и около 2 миллионов видов животных. Ежегодный прирост живого вещества, главным образом в результате фотосинтеза, равен $8,8-10,0^{11}$ т. Обновление биомассы суши происходит примерно за 15 лет.

Вернадский В. И. [4] так описывает природный энергетический цикл: «Захватывая энергию Солнца, живое вещество создает химические соединения, при распадении которых эта энергия освобождается в форме, могущей производить химическую работу. Благодаря этому живое вещество представляет с химической точки зрения активную форму материи...».

Минералы, химические молекулы, образующиеся при участии живого вещества, являются носителями той же энергии, начало которой лежит в лучистой энергии Солнца. Но эта энергия в минералах находится в потенциальном состоянии.

В живом веществе энергия в значительной мере свободная, производящая работу. Живое вещество есть форма активированной материи, и эта энергия тем больше, чем больше масса живого вещества.

Роль живого вещества с появлением человека возросла многократно. Сейчас деятельность человека стала сопоставимой с геологическими и другими естественными причинами изменения лика Земли. Человек стал основным геологическим фактором преобразования оболочки Земли.

Человек нуждается в богатствах природы. Люди и впредь будут приспосабливать для себя природу, что определяется объективной необходимостью. Они начнут совершенствовать окружающую среду и развивать ее, научатся согласовывать свои потребности с ее возможностями.

По мнению Н. Н. Моисеева [20], сейчас правомерно говорить не о ноосфере, а об *эпохе ноосферы*. В этой эпохе человечество сумеет не только осознать необходимость перехода биосферы в новое состояние, но и начнет реализовывать стратегию такого перехода.

Термин *эпоха ноосферы* подчеркивает еще одну важную сторону учения В. И. Вернадского. Необходимо признать необходимость не только целенаправленного развития биосферы, подчиненного обеспечению дальнейшего развития цивилизации, но и такого изменения общества, его природы и организации, чтобы и биосфера, и общество были способны обеспечить нужную гармонию в своем развитии.

Следующий шаг в развитии учения о ноосфере должен состоять, вероятно, в том, чтобы понять, как этого добиться. Либо дальнейшее развитие нашей планеты сделается однажды направляемым человеческим интеллектом, либо цивилизация исчезнет с ее поверхности. Должно быть «направляемое» развитие, а не «управляемое» развитие [19].

Когда говорят об управлении, то четко указывают цель, которую необходимо достигнуть и реализовать в поставленные сроки.

2.2. Экологические факторы

Воздействие воспринимается организмами через посредство факторов среды, называемых экологическими. Экологические факторы подразделяются на абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотическими факторами называют всю совокупность факторов неорганической среды, влияющих на жизнь и распространение животных, растений и микроорганизмов. Среди них различают физические (температура, ветер, влажность, течение воды и т. п.), химические (соленость воды, величина рН, содержание в экосистеме токсичных примесей и т. п.) и эдафические (содержание в почве биогенных элементов, гумуса и т. п.).

Биотические факторы определяют совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а также на неживую среду обитания.

Антропогенные факторы порождены человеком и негативно влияют на окружающую среду: загрязнение, уничтожение лесов, сокращение видов живых организмов, эрозия почв и т. д.

Несмотря на большое разнообразие экосистем (от тропических лесов до пустынь), всем им свойственна примерно одинаковая биотическая структура. Все они включают одни и те же основные категории организмов, взаимодействующих друг с другом стереотипным образом: продуценты, консументы, детритофаги, редуценты [8].

Продуценты. В основном это зеленые растения, осуществляющие фотосинтез: процесс превращения воды и диоксида углерода в сахара с выделением в качестве побочного продукта кислорода. Для этого необходима световая энергия. Из сахаров и минеральных элементов растения синтезируют все сложные вещества, входящие в состав их организмов.

Молекулы, с помощью которых они улавливают световую энергию, необходимую для фотосинтеза, — зеленый пигмент *хлорофилл*. Итак, для каждой крупной экосистемы (как водной,

.....

так и наземной) характерны свои специфические зеленые растения.

Простые химические вещества, из которых состоят воздух, вода и минералы, называют *неорганическими*, а сложные соединения типа белков, жиров и углеводов, образующих ткани растений и животных, — *органическими*. Таким образом, фотосинтезирующие растения продуцируют, используя световую энергию, все сложные органические соединения своего тела из простых неорганических соединений, присутствующих в окружающей среде (диоксида углерода, воды, минеральных биогенов). Энергия света накапливается в органических соединениях.

Фотосинтезирующие растения продуцируют пищу для всех остальных организмов экосистемы (животные и другие организмы — непродуценты). Не все растения — продуценты. Некоторые цветковые виды (подъельник) не содержат хлорофилла и не способны к фотосинтезу — как и животные, они питаются органикой.

Консументы. Это самые разнообразные организмы: от микроскопических бактерий до громадных синих китов — простейшие черви, рыбы, моллюски, насекомые и прочие членистоногие, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие, включая человека.

Выделяют первичные и вторичные консументы, например кролик и лиса соответственно. Есть консументы третьего, четвертого и более высоких порядков. Если человек ест овощи, он первичный консумент, говядину — вторичный; рыбу, питающуюся другими животными, которые в свою очередь употребляют в пищу водоросли, то он является консументом третьего порядка. Консументы бывают растительноядными, плотоядными, всеядными, хищниками, жертвами, паразитами. Возникают взаимоотношения хищник—жертва, хозяин—паразит.

Детритофаги. Мертвые растительные и животные остатки, например опавшие листья, гибнущие побеги трав, фекалии,

называют *детритом*. Существует множество специализированных на питании им организмов. Например, грифы, земляные черви, многоножки, раки, термиты, муравьи, жуки-дровосеки и т. д. Среди них также есть первичные, вторичные и так далее детритофаги.

Редуценты. Значительная часть детрита в экосистеме не поедается животными, а гниет и разлагается в процессе питания грибов и бактерий. Большинство из них не относится к болезнетворным детритофагам и считается безвредным. Грибы и бактерии специфичны. Они образуют громадное количество спор (репродуктивных клеток), микроскопические размеры которых позволяют им легко разноситься воздушными потоками. Их можно найти в окружающей нас среде практически повсюду.

Рост грибов и бактерий (как следствие, гниение и разложение органики) наблюдается везде, поэтому грибы и бактерии выделяют в особую подгруппу детритофагов и называют редуцентами. Однако в любой экосистеме все детритофаги и редуцент играют одну и ту же роль. Они питаются мертвым органическим веществом и при этом разлагают его.

Итак, несмотря на многообразие экосистем, все они обладают структурным сходством. В каждой из них можно выделить продуценты, консументы, детритофаги и редуценты.

Очевидно, что к числу важнейших взаимоотношений между организмами относятся пищевые. Есть бесчисленные пути движения вещества в экосистеме, при которых один организм поедается другим, тот — третьим и т. д. Ряд таких звеньев называют *пищевой цепью*. Пищевые цепи не изолированы, а соединены между собой и образуют сложную сеть пищевых взаимоотношений. Для обозначения всей их совокупности используют термин *пищевая сеть*.

Все пищевые сети соответствуют простой общей схеме и ведут от продуцентов к первичным консументам (или первичным детритофагам), от них — к вторичным консументам (вторичным детритофагам) и т. д. Таким образом, продуценты консу-

менты и детритофаги — это разные уровни общей схемы. Их называют трофическими уровнями.

Все продуценты относят к первому трофическому уровню; все первичные консументы — ко второму; организмы, питающиеся первичными консументами, — к третьему. Идет поток питательных веществ и энергии от одного трофического уровня к другому. Обычно в экосистемах их насчитывают не более трех-четырёх.

Общую массу организмов (биомассу) на каждом уровне можно измерить путем сбора (отлова) и последующего взвешивания соответствующих выборок растений и животных. Показано [21], что на каждом последующем уровне биомасса на 90–99 % меньше, чем на предыдущем. Например, биомасса продуцентов на участке луга 0,4 га составляет 10 т. Биомасса фитофагов на той же площади будет не более 100 кг, а плотоядных видов — не более 10 кг.

Существование большего числа трофических уровней невозможно из-за быстрого приближения биомассы к нулю (пирамида биомассы). Причина резкого снижения биомассы при повышении трофического уровня заключается в том, что большая часть потребляемой пищи используется организмом для получения энергии, а на формирование тел консументов ее идет относительно мало.

В структуре экосистем преобладают пищевые отношения. Один из видов извлекает выгоду, а другому в той или иной степени наносится вред. Однако есть случаи, когда виды вступают во взаимовыгодные отношения. Этот феномен носит название *мутуализма* [8]:

1. Группа растений, известная как лишайники. Не надо путать со мхами: у мхов есть стебель с многочисленными мелкими зелеными листьями. Лишайники серо-зеленые по цвету, напоминают корки или чешуйки. Образованы двумя организмами — грибом и водорослью. Гриб обеспечивает водоросли защиту, поставляя воду. Водоросль как продуцент снабжает гриб питанием.

2. Цветки и насекомые. Насекомые собирают с цветков нектар, а те при этом опыляются.

3. Коралловые рифы. Рыба питается детритом, скапливающимся на рифах и вокруг них. Она получает выгоду от доступа к обильным запасам пищи. Кораллы при этом очищаются от ила. Коралл состоит из полипов, а рыбы не восприимчивы к нему. Подобные взаимоотношения называют *симбиотическими* (от греч. *syn* — вместе; *bio* — живущий).

Близко растущие растения конкурируют между собой за воду, биогены, свет и пространство, что отражается на характере экосистемы. Однако животные в природной экосистеме если и конкурируют друг с другом, то редко. Конкуренция сводится к минимуму за счет того, что разные виды животных адаптированы к питанию неодинаковой пищей, в разных местах и в разное время.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что ни один организм не существует вне связи с другими. Каждый может жить только во взаимодействии с окружающими организмами в рамках экосистемы. Устойчивые экосистемы — основное условие устойчивости жизни на Земле.

Существует фундаментальный принцип Либиха — Шелфорда, описывающий реакцию организмов на экологические факторы. Для каждого вида (растений и животных) существует оптимум, стрессовые зоны и пределы устойчивости в отношении каждого средового фактора (*принцип толерантности*). Рассмотрим результаты следующего опыта. Растения выращивают в нескольких камерах, в которых контролируются все абиотические факторы. Изменим только температуру, а все остальные факторы оставим без изменения. Получим кривую скорости роста растений от температуры с оптимумом. Зона, в которой наблюдается максимальный рост, называется зоной *оптимума*. Интервал температур, от минимума до максимума, при которых еще возможен рост, называют *диапазоном устойчивости*. Точки, ограничивающие диапазон устойчивости, определяют *пре-*

делы устойчивости. Стрессовые зоны — зоны, в которых растение испытывает всенарастающий стресс.

Либих Ю. обнаружил, что очень низкие дозы химических удобрений приводят к замедлению роста растений (правило минимума) [11]: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай, и определяется величина и устойчивость последнего во времени».

Шелфорд В. [35] показал, что лимитирующим может быть фактор, находящийся не только в минимуме, но и в максимуме. К стрессу и гибели живых организмов могут привести как избыток воды (наводнение), так и ее недостаток (засуха).

Приведем пример. Пусть в почве содержатся все элементы минерального питания, нужные для данного вида растений, кроме одного из них, например бора. Рост растений на такой почве будет сильно угнетен или вообще невозможен. Если добавить в почву нужное количество бора, то это приведет к увеличению урожая. Но если мы будем вносить любые другие вещества, и даже добьемся того, что все они будут содержаться в оптимальных количествах, а бор будет отсутствовать, то это не даст никакого эффекта. В данном примере содержание бора в почве является лимитирующим фактором.

Часто в роли лимитирующих выступают биотические факторы. Одни виды сообществ воздействуют на другие. Например, при годовой сумме осадков выше 750 мм условия развития для злаков вполне благоприятны. Такая же влажность способствует и росту деревьев, затеняющих злаки, что приводит к гибели последних. Происходит конкуренция за выживание с более высокими растениями.

Концепция лимитирующих факторов применима и к распространению животных. Ограничивать распространение животных могут опять же как биотические (недостаток пищи, хищники, паразиты), так и абиотические (отсутствие водоемов для питья, подходящих мест для гнездования, низкие температуры и т. д.) условия среды.

Однако, как и большинство экологических правил и законов, правило минимума применимо не во всех случаях. Например, если в почве не хватает нитратов, то нехватку азота можно компенсировать, добавляя в почву аммиак: растения способны усваивать обе эти формы азота. Иными словами, это правило можно применить для взаимозаменяемых ресурсов: избыток одного из них компенсирует отсутствие другого.

Основная причина разнообразия экосистем состоит в своеобразии абиотических условий каждого региона. Плотность популяции (число особей на единицу площади) любого вида будет выше там, где все параметры среды для него оптимальны. Она снизится, если значения одного или нескольких абиотических факторов среды окажутся для данного вида стрессовыми. Вид отсутствует там, где величина хотя бы одного из факторов выходит за его пределы устойчивости.

Среди важнейших параметров среды, определяющих плотность популяции, — влажность и температура. Режим температуры и осадков на некоторой территории в течение достаточно долгого периода времени называют климатом. Климат, таким образом, определяет размещение по земной поверхности основных наземных биомов. К примеру, влага — основной фактор, определяющий разделение экосистем на лесные, степные и пустынные. Годовая сумма осадков ниже 1000 мм соответствует стрессовой зоне для многих видов деревьев, а предел устойчивости большинства из них составляет 750 мм/год. У большинства злаков такой предел значительно ниже и составляет 250 мм/год, а кактусы и другие пустынные растения способны произрастать даже при 50–100 мм осадков в год.

Температура, как правило, играет вторичную роль по сравнению с осадками. Она обуславливает формирование определенного типа леса в регионе. Например, ельники и пихтарники характерны для холодных регионов с мощным снежным покровом зимой и коротким вегетационным периодом. Листо-

падные деревья также в состоянии переносить суровую морозную зиму, но требуют более долгого вегетационного периода, поэтому преобладают в умеренных широтах.

На небольшом участке земной поверхности климатические условия могут существенно отличаться от средних для данного региона в целом. Такие локальные условия называют микроклиматом, особенности которого служат причиной разнообразия экосистем в пределах биома. Например, на теплых и сухих, обращенных на юг склонах растут иные древесные породы, чем на холодных, более влажных и северных.

Фактор, препятствующий проникновению видов из одних экосистем в другие, называют физическим барьером — это моря, пустыни, горные хребты. В связи с этим экосистемы, развивающиеся на разных континентах в сходных абиотических условиях, сильно отличаются по видовому составу. Есть примеры «успешного» вторжения занесенных (интродуцированных) с помощью человека видов в новые для них сообщества.

2.3. Устойчивость экосистем

Основой устойчивости экосистем является круговорот веществ, перемещение атомов химических элементов в земной коре (геохимическая миграция). Геохимическая миграция ведет к рассеянию атомов химических элементов или к их концентрации. Закономерности геохимической миграции элементов играют ведущую роль в формировании состава природных образований всех геосфер земного шара.

Выделяют [25] четыре основных вида миграции химических элементов в соответствии с формами движения материи: 1) механическую; 2) физико-химическую; 3) биогенную (связанную с деятельностью живых организмов); 4) техногенную (связанную с социальными процессами).

Механическая миграция (механогенезис). К данному виду миграции относится эрозия, образование классических отложений и другие механические процессы в земной коре. Раздробление горных пород ведет к увеличению их дисперсности и развитию поверхностных явлений сорбции и др. Сопровождается диспергирование разложением многих минералов: при истирании карбонаты разлагаются с выделением кислорода, сульфиды частично разлагаются на металл и серу, гидратные минералы выделяют воду.

В истории отдельных элементов механическая миграция играет различную роль: она значительна для Si, Ti, Zr, Hf и мала для Co, Mg, Cl, Ni, Hg и т. д. Важным фактором для механической миграции является плотность минералов. Плотные минералы ведут себя как частицы более крупного размера. Удаление легких частиц водой, ветром и льдом сопровождается накоплением тяжелых минералов: золото, киноварь, колумбит, вольфрамит, шеллит, монацит, ильменит, циркон и т. д.

Физико-химическая миграция. В основе этого вида миграции лежит строение соединений земной коры. Вещества земной коры образованы за счет основных типов химических связей. Например, NaCl, самородные металлы, органические вещества образованы за счет ионной, металлической и молекулярной связей соответственно. Неионная форма связи преобладает в органических соединениях. Растворимость ионной и неионной форм связи различна. Отсюда различия и в степени миграции химических элементов. В комплексе с органическими веществами мигрируют и многие металлы, т. е. в каждой физико-химической системе земной коры элементы мигрируют и в ионной, и неионной форме. Весьма характерны ионы для магм и природных вод.

Биогенная миграция. В ее основе лежит геологическая работа живых организмов.

Совместная деятельность живых организмов определяет круговорот отдельных элементов и химических соединений. Круг-

говорит включает в себя введение их в состав живых клеток с последующим преобразованием в органические вещества, выведение в окружающую среду и деструкцию органических веществ, в результате которой высвобождаются минеральные соединения, вновь включающиеся в биологические циклы.

Техногенная миграция (техногенезис). Данный вид миграции обусловлен геохимической деятельностью человека. Существует принципиальное различие между геохимической деятельностью человека и других организмов. Последние влияют на окружающую среду через обмен веществ: фотосинтез, дыхание и т. д. Роль человека в этих процессах невелика. Масса человечества $\approx 10^8$ т, т. е. эквивалентна биомассе тайги на площади 6000 км^2 . Человек — все же мощная геохимическая сила, преобразующая природу. Эта роль связана с его общественной деятельностью. С продуктами сельского хозяйства и промышленности атомы мигрируют по областям и странам.

Одна из причин, позволяющих экосистемам длительное время сохранить постоянный видовой состав, заключается в том, что отношения между всеми их компонентами находятся в *динамическом равновесии*. Каждый вид (растений, животных или микроорганизмов) в составе экосистемы представлен популяцией. Стабильность экосистемы предполагает, что в течение длительного времени популяция входящего в нее вида остается более или менее неизменной. Рождаемость в ней уравновешена смертностью.

Таким образом, проблема сохранения экологического равновесия сводится к поддержанию равновесия между смертностью и рождаемостью каждого вида экосистемы.

Высокая скорость размножения при низких темпах пополнения состава популяции за счет постоянства не может существенно увеличить ее численности. Например, рыбы и моллюски выметывают сотни тысяч икринок. Но лишь ничтожный процент из них выживает и развивается во взрослое животное. То же относится и к растениям, рассеивающим огромное чис-

ло семян. У человека скорость размножения низка. Но по сравнению с ней уровень пополнения популяции благодаря заботе родителей о детях очень высок.

Другим важным фактором, ведущим к росту популяции, является способность животных мигрировать, а семян рассеиваться в подходящие места обитания на новых территориях, приспосабливаться к новым условиям обитания и заселять их.

Совокупность факторов, способствующих увеличению численности вида, называется его *биотическим потенциалом*. У разных видов составляющие биотического потенциала неодинаковы. Просматривается одно его общее свойство. У всех видов он достаточно высок для стремительного увеличения численности при благоприятных условиях среды. В этих случаях рост популяции может быть столь быстрым, что обычно говорят о *популяционном взрыве*.

В естественных условиях такое наблюдается крайне редко. Вероятность того, что все условия окажутся для вида благоприятными, очень низка. Обычно один или несколько абиотических (соленость, влажность) и биотических (присутствие хищников, паразитов) факторов становятся лимитирующими. Сочетание всех таких «ограничителей» называют *сопротивлением среды*.

Следовательно, рост, снижение или постоянство численности популяции зависит от соотношения между биотическим потенциалом (прибавлением особей) и сопротивлением среды (гибелью особей). Таким образом, размер популяций является результатом равновесия между биотическим потенциалом и сопротивлением среды. Изменение популяции какого-либо вида — это результат нарушения равновесия между ее биотическим потенциалом и сопротивлением окружающей ее среды. Равновесие является динамическим, непрерывно регулирующимся, поскольку факторы сопротивления среды редко длительное время остаются неизменными: засуха, увлажнение и т. д.

Факторы сопротивления среды зависят от плотности популяции, т. е. от числа особей. При увеличении плотности популяции сопротивление среды усиливается, увеличивается смертность и рост численности прекращается или даже сменяется ее спадом. Если плотность популяции уменьшается, то сопротивление среды ослабевает, позволяя особям восстанавливаться до прежней численности.

Биотический потенциал многих видов зависит от определенной минимальной, *критической, численности* популяции. Если она падает ниже этого уровня, гарантирующего воспроизведение группы, то биотический потенциал уменьшается и вымирание становится практически неизбежным.

Человеческая популяция подчиняется тем же законам, что и любая прочая. Когда сопротивление среды ослабевает, тогда ее численность взрывоопасно растет. Раньше популяция людей (охотников-собирателей) контролировалась факторами сопротивления среды. С началом земледелия ослабилось действие важнейшего из них — нехватка пищи. Население Земли продолжало расти очень медленно (эпидемии оспы, дифтерии). С середины XIX века инфекции стали сдерживать благодаря появлению прививок и улучшению санитарных условий. Население Земли вступило в стадию взрывоопасного роста.

В отличие от других живых существ мы сами снизили сопротивление среды (нарушили природный баланс). С помощью техники мы эксплуатируем природные ресурсы вплоть до их полного истощения, приводя к исчезновению видов и целых экосистем. В этом смысле мы подобны *интродуцированному виду*, не встречающему естественных врагов.

Важно осознать, что бесконтрольный рост народонаселения ведет к разрушению природной среды, истощению ресурсов и исчезновению отдельных видов и целых экосистем. Этот симптом указывает на неустойчивое развитие человечества, так как он делает биосферу все более нестабильной и уязвимой. Необходимо привести нашу собственную популяцию в состо-

яние равновесия, контролируя рождаемость, и бороться за сохранение биологического разнообразия природных экосистем.

Популяционное равновесие может достигаться, например, за счет взаимодействия хищника и его жертвы. Классический пример подобных взаимоотношений — охота рыси на зайцев (Б. Небел) [21]. Подобная модель объясняет наблюдаемые в природе периодические колебания численности популяции зайцев и рысей вокруг среднего уровня.

Хотя крупные хищники вроде рыси чаще привлекают внимание исследователей, они относительно редко бывают главным контролирующим фактором. Значительно многочисленнее и разнообразнее паразиты: вирусы, бактерии, грибы, микроскопические болезнетворные простейшие, глисты и т. д. Эти организмы поддерживают популяционное равновесие так же, как и крупные хищники.

В пищевой сети каждый организм обычно зависит от нескольких хищников и паразитов. Следовательно, речь идет о равновесии между ним и его естественными врагами. В сложной пищевой сети равновесие значительно устойчивее и менее подвержено резким колебаниям, так как разные враги начинают снижать численность вида при разной плотности его популяции. Когда она достаточно снижается, естественные враги могут переключиться на другие «источники» питания.

В результате соотношения численности жертвы и численности хищника или паразита сокращается, что значительно стабилизирует изменение популяции жертвы. Резкие же колебания, как в случае с рысью и зайцем, характерны для сравнительно простых экосистем с небольшим числом видов. Отсюда можно сформулировать принцип стабильности экосистем: видовое разнообразие обеспечивает стабильность экосистем. Для экосистемы с низким разнообразием характерны резкие колебания размеров популяции слагающих их организмов. Наиболее устойчивой будет экосистема со многими относительно малочисленными видами.

Организмы приспосабливаются ко всей совокупности действующих на них факторов, поэтому при определении *экологической ниши* следует учитывать весь комплекс факторов, которые требуются для существования вида, включая его связи с другими видами в сообществе [34]. Животные занимают разные ниши. Они редко конкурируют друг с другом, адаптированы к питанию разным кормом, в разное время и в разных местах. Интродуцированные виды могут вызывать вымирание местных в результате успешной конкуренции за их ниши.

Концепция ниши применима к растениям. Их конкурентоспособность высока лишь в определенных условиях, за пределами которых усиливается стресс. Абиотические условия в разных местах неодинаковы, и виды выработали соответствующие адаптации. Сбалансированное существование видов в этих условиях может продолжаться неопределенно долго.

Повышение сложности системы и количества пронизывающих ее связей типа хищник—жертва и паразит—хозяин обеспечивает ее стабильность. Например, некоторые компоненты растительного мира сами создают дополнительные места обитания. Деревья листопадных лесов обеспечивают прохладные затененные условия, в которых поселяются мхи, папоротники, травы. Многообразие растений ведет к дальнейшему увеличению числа ниш и видов консументов.

Различают фундаментальную и реализованную ниши. Фундаментальная ниша — те условия, в которых вид в принципе может существовать. Реализованная ниша — условия, где вид реально встречается в данном сообществе. Реализованная ниша всегда составляет некоторую часть фундаментальной.

Следует отметить, что практически невозможно дать полное описание экологической ниши. На практике, как правило, выделяют несколько характеристик, или «измерений», ниши и изучают требования вида к этим характеристикам. Например, экологическую нишу вида в отношении такой характеристики, как внешние условия существования вида (влажность и темпера-

тура), можно представить в форме графика. Итак, каждый вид имеет свою экологическую нишу. Она определяет его распространение и роль в сообществах.

2.4. Изменение экосистем

Изменение внешних условий воздействует на некоторые виды неблагоприятно: они снижают численность, а иногда и вообще исчезают из экосистемы. Другие виды могут от этого выигрывать, и их численность растет.

Есть случаи, когда изменившиеся условия позволяют включиться в экосистему новым видам. Процесс вытеснения одних видов другими называют *сукцессией*. Она наблюдается в природе, если в процессе своего развития сообщество изменяет среду так, что она становится благоприятнее для другого сообщества. Формирование последнего делает среду еще менее благоприятной для первого.

Итак, происходит постепенное превращение одних экосистем в другие. Часто подобный процесс включает несколько стадий [8].

Первичная сукцессия. Это процесс развития и смены экосистем на не заселенных ранее участках, начинающийся с их колонизации, например постепенное обрастание голой скалы с развитием в конечном итоге на ней леса. Скалы заселяют мхи. Их крошечные клетки-споры прорастают в мельчайших трещинах. На скале формируется ковер, который улавливает частицы почвы, приносимые ветром и водой. Постоянно накапливается почва. Обеспечивается место для поселения семенных растений. Затем скалу заселяют кустарники и деревья. Так постепенно на изначально голой скале идет процесс смены мхов травами и, наконец, лесом.

Вторичная сукцессия. Восстановление экосистемы, когда то уже существовавшей на данной территории, называют вто-

ричной сукцессией. Например, поле на месте вырубленного когда-то леса перестают обрабатывать. За несколько стадий здесь снова сформируется лесная экосистема. Заселение поля идет по следующей схеме: травы → злаки → сосны → широколиственные породы → листопадный лес (дуб, клен, бук).

Климаксовая экосистема. При ней все виды сохраняют относительно постоянную численность. Такое равновесное состояние называется климаксом, а экосистему климаксовой. Основные биомы Земли (пустыня, тропический лес) — климаксовые системы соответствующих географических областей. Даже такие экосистемы не абсолютно стабильны. Все виды в них достигли состояния равновесия друг с другом и со средой. С течением времени изменяются условия. Это вызывает изменение в количественном и качественном составе климаксовой экосистемы. Требуется установление нового равновесия. Например, около 10 000 лет назад в эпоху последнего оледенения на месте нынешних листопадных лесов востока Северной Америки находилась тундра.

Скорость изменения экосистемы зависит от степени сдвига их равновесия. При сукцессиях изменения происходят медленно и постоянно. Это более или менее упорядоченный процесс замещения одних видов другими. На всех стадиях процесса экосистема достаточно сбалансирована и разнообразна.

Важнейшей особенностью каждого вида является изменчивость составляющих его особей. Термином *признак* обозначают любую особенность организма как в его внешнем облике, так и во внутреннем состоянии. Люди, например, отличаются друг от друга по целому ряду признаков: росту, телосложению, проявлению разных способностей независимо от воспитания и образования, устойчивости к болезням, низким и высоким температурам, способности бегать, плавать и т. п.

Признаки включают в себя и особенности инстинктивного поведения: строительство ловчей сети пауком, перелет птиц на зиму в южные страны, пугливость или агрессивность животного.

Многие признаки можно изменить или развить путем обучения и тренировки. Однако главным их свойством является генетическая, или наследственная, основа. Признак всегда неодинаково проявляется у разных особей одного вида. Наследственная основа признаков любого вида закодирована в молекулах ДНК, присутствующих в каждой клетке организма. Остов молекул ДНК состоит из дезоксирибозы и остатков фосфорной кислоты. Внутри молекул ДНК находятся комплементарные пары азотистых оснований: аденина, тимина, изанина и цитозина. Эти молекулы образуют гены организма. Их совокупность называют генотипом [21].

Генотип практически всех организмов, включая человека, представлен не одним, а двумя наборами генов. Он напоминает обувь, хранящуюся у нас в шкафу: среди нее можно выделить наборы правых и левых туфель. Гены не бывают «правыми» или «левыми», но они в парах могут быть разными или одинаковыми. Например, один ген пары может соответствовать группе крови А, второй — группе 0. Иногда оба относятся к одной и той же группе. У другого человека будут гены групп крови А и В. Таким образом, у каждой особи может быть только два гена данного признака, но в крупной популяции обычно существует множество их «вариантов» или аллелей. То же можно сказать о многих тысячах генов, составляющих генотип каждого организма. Следовательно, признаки организма отражают сложные взаимодействия всех его генов.

Все потомки, а следовательно, и все члены популяции (за исключением идентичных близнецов) отличаются друг от друга своими генотипами. Эта генетическая изменчивость и лежит в основе наследственной изменчивости признаков. Будучи врожденной, она отличается от особенностей, возникающих в результате обучения, тренировки и т. д. Источником наследственной изменчивости признаков могут быть *мутации*. Они представляют собой случайные изменения гена или группы генов. Мутации возникают спонтанно, т. е. без видимой причи-

ны. Они сравнительно редки, но именно таким путем возникли и продолжают возникать различные генные аллели.

Аллель — «вариант» гена, определяющий состояние признака, например голубой или зеленый цвета глаз определяются разными аллелями одного гена. Частоту мутации можно значительно повысить, воздействуя на организм излучением высокой энергии (рентгеновским, радиоактивным) и различными химическими соединениями. *Индукцированные мутации* нередко приводят к неконтролируемому делению клеток и развитию раковых опухолей. Такие мутации считаются вредными.

Клонирование — это бесполое воспроизведение особей. Например, размножение растений черенками. Новый организм появляется в результате простого клеточного деления. При этом происходит точное копирование родительской ДНК. Все особи клона генетически идентичны.

Совокупность образцов генов каждой особи популяции называют популяционным генофондом. Все генные варианты всех популяций данного вида составляют его видовой генофонд. Генофонд вида непостоянен и может меняться от поколения к поколению. Если, например, новый аллель понижает выживаемость особи, произойдет его быстрое отсеивание из генофонда. Новый аллель способствует выживанию особи. Он будет распространяться в популяции.

Генофонд можно изменить целенаправленно с помощью искусственного отбора. Таким путем из диких предков выведены современные породы домашних животных и сорта культурных растений. Селекционеры сначала выбирают признаки, которые хотели бы развить у данного вида (например, длина ног у собак). Существует метод изменения генофонда путем скрещивания близкородственных видов. Этот метод называется гибридизацией. Получаемые потомки называются гибридами. Они обладают случайным сочетанием генов, половина из которых получена от отца, а другая половина — от матери.

Разработана технология, позволяющая получить специфические гены (отрезки ДНК) одного вида и вводить их другому виду. Такая технология называется *генной инженерией*.

В природе каждое поколение любого вида подвергается отбору на выживаемость и воспроизведение. Особи, которые выживают и размножаются, передают свои аллели следующему поколению. Аллели тех, что погибли, не оставив потомства, отсеиваются из генофонда. Генофонд каждого вида испытывает действие естественного отбора.

Почти все признаки организмов в той или иной степени служат выживанию и воспроизведению вида. Их можно сгруппировать (по Б. Небелу):

- адаптация к климатическим и другим абиотическим факторам;
- адаптация к добыванию пищи и воды (у растений);
- адаптация, направленная на защиту от хищников и паразитов, и устойчивость к заболеваниям;
- адаптация, обеспечивающая поиск и привлечение партнеров у животных или опыление и созревание семян у растений;
- адаптация к миграциям у животных и распространению семян у растений.

Признаки, способствующие выживанию организма, постепенно усиливаются под действием естественного отбора, пока не достигается максимальная приспособленность к существующим условиям. В ходе отбора виды изменяются и лучше адаптируются к своим местам обитания и экологическим нишам. Изменение признаков способно понизить выживаемость. Например, длинная шея жирафу нужна для поедания листьев с вершины деревьев. Однако у животного с длинной шеей возникают трудности при питье, которые можно преодолеть путем регулирования процесса кровообращения между головой и телом.

В ходе мутаций и распространения новых аллелей популяция может измениться настолько, что можно будет говорить о воз-

.....

никновении нового вида, отличного от исходного. Например, в Арктике особи лисицы имеют длинный, густой мех, короткие ноги, уши и хвосты. Эти особенности помогают сохранить тепло. В южных районах перечисленные признаки окажутся вредными, поскольку надо опасаться перегрева. Особи северных и южных районов не скрещиваются между собой. Возникают два разных вида. Например, песец и серая лисица.

В природе, как правило, существуют целые группы родственных друг другу видов. Этот факт объясняется процессом видообразования. Таким образом, благодаря избирательному размножению и неодинаковому выживанию потомства происходит постепенное изменение популяционного генофонда.

Видообразование в точности соответствует опубликованной в 1859 г. Ч. Дарвином теории эволюции путем «естественного отбора» и «выживания наиболее приспособленных» особей [24], т. е. обладающих таким вариантом признаков, которые обеспечивают максимальный успех размножения. Дарвин Ч. заслуживает уважения еще и потому, что создал свою концепцию на основе лишь эмпирических данных, ничего не зная о генах, которые были открыты гораздо позднее.

В ходе естественного отбора виды все более приспособляются к сосуществованию с хищниками и паразитами, к климатическим условиям и другим биотическим и абиотическим факторам. Ход развития любой экосистемы определяется видами, находящимися в ней с самого начала, поскольку отбор — это процесс изменения генофонда уже существующего вида. Ни человек, ни природа не могут создать новый генофонд или вид из ничего, на пустом месте.

Ни один вид, за исключением человека, не способен предвидеть будущие изменения среды, а тем более подготовиться к ним. Поэтому при изменении любого биотического или абиотического фактора (например, при интродукции нового вида или устойчивом похолодании) вид, плохо приспособленный к новым условиям, ожидает один из трех путей развития:

1) *миграция* (часть популяции может эмигрировать, найти местообитание с подходящими условиями и продолжать там свое существование);

2) *адаптация* (в генофонде могут присутствовать аллели, которые позволят некоторым особям выжить в новых условиях и оставить потомство, а через несколько поколений под действием естественного отбора возникнет популяция, хорошо приспособленная к изменившимся условиям);

3) *вымирание* (ни одна особь не может мигрировать и выжить в изменившихся условиях — популяция вымрет, ее генофонд исчезнет. Действительно, списки ископаемых видов постоянно пополняются животными и растениями).

Вымирание одних видов и адаптация других зависят от двух факторов:

1) генетического разнообразия генофонда (включает много аллелей — даже при сильном изменении среды некоторые особи сумеют выжить);

2) степени изменения среды (если изменения малозаметны и происходят постепенно, то большинство видов сумеет приспособиться и выжить; чем резче изменения, тем большее разнообразие генофонда требуется для выживания).

Отсюда следует важный принцип: выживание вида обеспечивается его генетическим разнообразием и слабыми колебаниями внешних условий.

Современный человек может оказаться не более чем проходным персонажем на эволюционной сцене. Мы создали систему, основанную не на равновесии, а на расширении эксплуатации воды, биогенов, энергии, почвы и других органических ресурсов.

Массовое уничтожение и нарушение природных экосистем подрывает видовое разнообразие (необходимое условие стабильности биосферы). Происходит обеднение генофондов видов из-за сокращения их численности, идет подрыв способности видов к адаптации. Природные условия изменяются сами по себе, но мы ускоряем эти изменения в глобальном масштабе.

Общество стоит на пороге очередного важного и эволюционного события, которое определит дальнейшее развитие жизни на Земле: либо произойдет разрушение биосферы, сопровождающееся вымиранием большинства видов, и наступит век насекомых и сорняков, либо мы научимся контролировать свою всеокрушающую мощь и создадим устойчивую человеческую экосистему, где будет соблюдаться равновесие между всеми обитающими на Земле видами.

Только такая система позволит сохранять и развивать науку, технику, культуру, всю цивилизацию — у нас нет альтернативы. Зная основные принципы устойчивости и равновесия природных экосистем, мы должны применить их в человеческом обществе. Необходимо построить здание на фундаменте, который уже заложен.

2.5. Экосистема человека

Первобытные люди жили мелкими племенами охотников-собирателей. При истощении пищевых ресурсов они передвигались на новое место. Люди напоминали во многом других всеядных консументов естественных экосистем.

Около 10 тысяч лет назад произошло очень существенное изменение: возникло сельское хозяйство. В этих условиях человек стал создавать свою собственную *экосистему человека*. Появилась возможность стабильно обеспечивать себя пищей. Произошло разделение труда. Появились крупные поселения, а позднее — и города.

С точки зрения способности к росту, размножению и распространению экосистема человека отличается от природных экосистем. Ее возникновение позволило человеку по меньшей мере в 10 000 раз увеличить свою численность (от нескольких сот тысяч человек до более 7,5 млрд) и расселиться по всей планете.

Однако это не означает, что принцип лимитирующих факторов, действующий в естественных системах, к нашей, человеческой, экосистеме неприменим. Просто способность человека мыслить и изготавливать орудия труда позволила ему временно преодолеть действие обычных лимитирующих факторов.

Экосистема человека благодаря этому выросла и распространилась по всему свету. Процесс этот идет и сейчас. Мы продолжаем вырубать, выжигать, распахивать и пускать под бульдозер естественные экосистемы. Серьезные удары по ним наносят загрязнение среды и эксплуатация ее для получения древесины и пушнины.

Ни одна экосистема на Земле не избежала определенного влияния человека, а многие из них, небольшие по размерам, уже полностью уничтожены. Даже целые биомы, например степи, почти исчезли с лица земли. Тропические леса быстро приближаются к этой роковой черте: каждый год они уничтожаются на площади около 100 тыс. км². Нельзя полностью отказаться от использования ресурсов дикой природы. В то же время надо тщательно контролировать свое воздействие на окружающую среду в целом.

Современные тенденции развития ведут к изменениям условий среды в глобальных масштабах: кислотные дожди, разрушение озонового экрана, потепление климата, загрязнение, большое водопотребление. Налицо полное разрушение многих экосистем, истребление различных видов животных и растений. Все эти процессы быстро ведут к серьезным нарушениям природных экосистем и вымиранию характерных для них организмов.

Ценность диких видов и естественных экосистем не только эстетическая. Мы в состоянии контролировать собственную среду обитания, обезопасить себя, например, от эффектов климатических изменений, но не в силах защитить от них сельскохозяйственные культуры. Это может подорвать основы стабильного продовольственного обеспечения.

Экосистема человека быстро растет, но мы не в состоянии ни изменить лимитирующих факторов, ни избежать их воздействия. Сейчас мы поддерживаем собственное существование за счет эксплуатации водных, почвенных и энергетических ресурсов. Когда их запасы истощатся, неизбежно возникнут социальные конфликты, войны и голод. Земля может снова стать необитаемой.

3. Сохранение и восстановление экосистем

3.1. Принципы и мотивы охраны природных ресурсов

Существующие в природе всеобщие взаимосвязи определяют общие принципы охраны природных ресурсов (в том числе водных ресурсов) [22]:

1. *Принцип системности.* Все природные явления имеют для человека множественное значение и должны оцениваться со всех точек зрения. К каждому явлению следует подходить с учетом интересов разных отраслей хозяйства и сохранения восстановительных сил самой природы.

С позиции системного подхода ни один природный ресурс не может использоваться или охраняться независимо от других. Так, река не может служить только транспортной магистралью, тем более местом, куда сбрасываются отработанные промышленные воды. Реки имеют важное планетарное значение: они доставляют биогенные вещества морям, тем самым обеспечивая богатство и разнообразие их органической жизни, в том числе и рыбных ресурсов. Использовать реку в интересах только одной отрасли хозяйства, как это часто бывает, нерационально. Особенно наглядно об этом свидетельствуют последствия строительства каскада гидроэлектростанций на равнинных реках Европейской России. Необходимо найти возможности для

использования рек в интересах разных отраслей экономики, здравоохранения и туризма.

2. *Принцип региональности.* При использовании природных ресурсов (полезные ископаемые, вода, лес и представители животного мира) необходимо учитывать их конкретные запасы в местах добычи. Например, добывать полезные ископаемые там, где запасы их малы, экономически не выгодно. Есть регионы, где ощущается дефицит пресной воды. Ее избыток в других регионах не меняет этого положения. При этом нет ничего более негативного, чем интенсивное использование ресурса там, где ощущается его дефицит, на том основании, что в других местах есть его избыток. Использование одного и того же природного ресурса должно быть различным в зависимости от конкретных условий района и от того, как этот ресурс в нем представлен.

В соответствии с принципом региональности целесообразно перемещение некоторых лесоперерабатывающих предприятий в восточные районы России, ближе к запасам сырья, что снижает нагрузку на истощенные ресурсы древесины в Европейской части страны.

3. *Принцип опережения.* Темпы выхода полезной продукции должны быть выше темпов добычи сырьевых ресурсов. Принцип основан на снижении количества образующихся отходов в процессе производства, т. е. на более полном использовании одного и того же количества исходного сырья. Он предполагает прирост продукции не за счет вовлечения в использование новых масс природных ресурсов, а за счет более полного их использования путем ресурсосбережения и совершенствования технологических процессов.

4. *Принцип гармонизации.* Гармонизация отношений природы и производства решается путем создания и эксплуатации природно-технических, геотехнических или эколого-экономических систем, представляющих собой совокупность какого-либо производства и взаимодействующих с ними элементов

природной среды. Принцип гармонизации обеспечивает, с одной стороны, высокие производственные показатели, а с другой — в зоне своего влияния благоприятную экологическую обстановку, максимально возможное сохранение и воспроизводство естественных ресурсов. В таких системах предусматривается прогнозирование нежелательных и опасных ситуаций, а также реализация мер по их предотвращению.

Система имеет службу управления, задача которой — своевременное выявление возможных вредных воздействий и внесение необходимых коррективов в тот или иной компонент системы (производство или окружающую среду). Если обнаружено ухудшение состояния окружающей среды, служба управления принимает решение о необходимости остановить производственный процесс, уменьшив при этом объемы выбросов и сбросов.

5. Принцип взаимозависимости. Охрана одного природного объекта может означать одновременно охрану и других объектов, тесно с ним связанных. Так, охрана воды от загрязнений — это одновременно и охрана обитателей этого водоема. Охрана при помощи леса нормального гидрологического режима — это и охрана почвы от водной эрозии, от вымывания из нее минеральных солей. Охрана насекомоядных птиц, рыжих лесных муравьев — это в какой-то степени и охрана леса от насекомых-вредителей. Знания трофических, топических связей, закономерности сопряженной динамики хищника и жертвы позволяют прогнозировать результаты природоохранных мер при косвенной охране или охране одного природного объекта через охрану другого.

Есть в природе отношения и противоположного характера, когда охрана одного объекта вредит другому. Например, охрана копытных, в частности лося, приводящая местами к перенаселению, приносит существенный вред лесу, так как повреждает подрост. Можно напомнить о значительном ущербе, который наносят растительности слоны, в избытке концентрирующиеся на особо охраняемых территориях Африки. Поэтому охрана

каждого природного объекта должна соотноситься с интересами охраны других природных компонентов.

Таким образом, охрана природы всегда должна рассматриваться как комплексная проблема, а не как сумма отдельных не зависящих друг от друга природных компонентов. Недопустим ведомственный подход к охране природы, игнорирующий ее комплексность, многогранные и многочисленные естественные связи между предметами и явлениями.

6. *Принцип прогнозирования.* Состояние окружающей среды характеризуется параметрами состояния атмосферы, воды, растительного и животного мира, запасами полезных ископаемых, поэтому при реализации своей деятельности человек постоянно должен оценивать масштабы изменения параметров окружающей среды.

Так, для атмосферы и воды необходимым условием является сохранение (улучшение) их состава. Для животного и растительного мира важно поддерживать условия самовоспроизводства. Запасы полезных ископаемых в недрах планеты не могут возобновляться при существующих темпах их добычи и использования. Нынешнее поколение потребляет ограниченные ресурсы и тем самым уменьшает возможность их потребления следующими поколениями.

Таким образом, воздействие на природные системы является следствием существования и деятельности человека. Проблема охраны окружающей среды состоит не в том, чтобы исключить это воздействие, а в том, чтобы при любой деятельности экологические последствия данного воздействия были заранее просчитаны и учтены.

В основе охраны природы лежат разные мотивы (аспекты): экономический, здравоохранительный, эстетический, научно-познавательный, воспитательный:

1. Экономический мотив состоит в том, что вся хозяйственная деятельность человека и само его существование основаны на использовании природных ресурсов.

2. Здравоохранительный мотив возник относительно недавно в связи с усиливающимся загрязнением окружающей среды, результатом которого являются многочисленные заболевания и снижение продолжительности жизни населения.

3. Эстетический мотив подразумевает поддержание хотя бы отдельных природных комплексов в состоянии, способном удовлетворять эстетические потребности человека, которые не менее важны, чем все остальное.

4. Научно-познавательный мотив — сохранение биологического разнообразия организмов, неизменных участков природы, ее отдельных объектов и т. д. в целях научного познания.

5. Воспитательный мотив подразумевает необходимость охраны природы для формирования духовных потребностей человека.

3.2. Обобщения Барри Коммонера и фундаментальные законы физики

Экология как базовая наука имеет четыре основополагающих обобщения, большая часть которых опирается на фундаментальные законы физики. Обобщения были сформулированы американским экологом Барри Коммонером [22]:

1. В биосфере все организмы связаны друг с другом и средой обитания и любое изменение параметров среды или взаимоотношений между организмами приведет к изменениям, которые в случае их глобальности могут стать необратимыми.

При проведении природоохранных мероприятий ничего не может заменить подробного анализа и понимания всех экологических закономерностей при условии, что имеется достаточно времени для того, чтобы выявить эти закономерности.

Пример. В 1979 г. в Англии сократилась численность большой голубой бабочки. Детальные исследования экологов выявили причину сокращения численности этого вида. Оказалось,

что ее гусеница зависит от рыжих муравьев, на которых она паразитирует. Изменение в структуре сельского хозяйства привело к уменьшению площади травяного покрова (местообитания популяции данного вида рыжих муравьев). Как следствие, уменьшилась численность бабочек. Установив эти закономерности, экологи довели численность особей большой голубой бабочки до прежних размеров.

Природоохранная деятельность должна быть основана на глубоком изучении всех составляющих конкретной природной системы, роли каждого компонента и учета этих взаимодействий в практической деятельности. Одна из главных целей природоохранных мероприятий, по мнению ряда экологов, состоит в обеспечении непрерывного существования видов, местообитания и биологических сообществ, а также во взаимодействии видов в экосистемах.

Связь между организмами на земле основана на потребности их в энергии, причем в разных ее формах: солнечная энергия, химическая энергия, тепловая энергия. Эта связь основывается на принципе детерминизма. Вред, наносимый одному компоненту экосистемы, может привести к неблагоприятным последствиям в масштабах всей экосистемы. Влияние на любую природную систему на земле вызывает целый ряд побочных эффектов.

2. В природе ничто не возникает из ничего и не исчезает бесследно. Поэтому, если в результате деятельности человека возникли какие-то вещества, необходимо найти способ их утилизации и способы возвращения химических элементов в естественный биохимический круговорот.

Наша планета в определенном смысле представляет собой замкнутое пространство. Все, что берется из природы, ей же определенным способом возвращается вновь. Данное утверждение полностью соответствует закону сохранения энергии.

Пример. Бытовые и производственные отходы, попадая в окружающую среду, не исчезают бесследно, а накапливают-

ся, образуя масштабные свалки. Для того чтобы такой проблемы не возникало, в настоящее время в экологии действует правило так называемого жизненного цикла предметов: давая согласие на выпуск какого-то продукта, общество должно ясно представлять, что будет с этим продуктом в дальнейшем, где заканчивается его существование и что придется делать с его «останками». Рецепт всегда один и тот же — организовать производство таким образом, чтобы отходы или «останки» одного промышленного цикла стали сырьем для другого (безотходное производство, более чистое производство, производство с нулевыми отходами), или организовать производство таким образом, чтобы после окончания жизненного цикла продукта была предусмотрена возможность его естественной деструкции.

Пример. Полиэтилен обладает ценными технологическими свойствами, но не способен усваиваться природной средой, поскольку нет организмов для превращения этого вещества в CO_2 и H_2O . Отсюда возникает проблема деструкции вещества с целью возвращения углерода и водорода в биогеохимический круговорот этих элементов. Проблему можно решить, если на стадии синтеза данного продукта в его состав ввести биохимически разлагаемые соединения.

3. Любая деятельность сопровождается затратами энергии, т. е. является с энергетической точки зрения затратной. Вопрос лишь в реализации деятельности.

Физический смысл данного утверждения может быть раскрыт в рамках термодинамики. Человечество всегда стремилось к использованию внутренней энергии, заключенной в веществе. Способы получения и использования внутренней энергии: химическая энергия пищи (превращается тягловыми животными в работу); энергия гравитационного поля (превращается в работу на водяных мельницах или на гидростанциях); химическая и ядерная энергия топлива (человек научился преобразовывать ее в работу).

Согласно первому закону термодинамики определенная часть внутренней энергии (описывается физической величи-

ной *количество теплоты*) обязательно превращается в тепловую форму энергии, т. е. выделяется в виде тепла. Второй закон термодинамики уточняет особенности преобразования дополнительной порции внутренней энергии, поступившей в систему. Он констатирует экспериментальный факт, что невозможно всю поступившую в систему порцию внутренней энергии перевести в работу, часть ее переходит в теплоту.

Масштабы внутренней энергии, добываемой человеком, привели и приводят к поступлению в окружающую среду чрезмерных количеств тепловой энергии. Всякая попытка интенсифицировать извлечение внутренней энергии для нужд человечества неизбежно приводит к возрастанию тепловой составляющей. С точки зрения экологии она выступает как загрязнение окружающей среды, увеличивая температуру окружающей среды и нарушая равновесие в биосфере, грозя экологической катастрофой.

Пример. Установлено, что современное энергопотребление одним человеком массой 67 кг составляет 134 Вт, или 2800 ккал/сут. Суммарная же доля энергопотребления одним человеком (на хозяйственные нужды, перемещение на транспорте и т. п.) в среднем составляет $2,5 \cdot 10^3$ Вт. Чтобы антропогенные возмущения не привели к катастрофическим для людей последствиям, потребление энергии человечеством в сумме не должно превышать 10^{12} Вт. Сейчас население Земли насчитывает около 7,5 млрд чел. Потребление энергии составляет $1,9 \cdot 10^{13}$ Вт ($2,5 \cdot 10^3 \cdot 7,5 \cdot 10^9$). Отсюда следует вывод о необходимости уменьшения нормы энергопотребления на одного человека.

Учитывая процессы диссипации энергии, все виды взаимодействия живой материи с окружающей средой должны оцениваться энергетически. Эта оценка может осуществляться, например, в понятиях экономики. Поскольку поток энергии является основным индикатором состояния биосферы, то в экономико-экологические показатели следует ввести энергетиче-

ческий компонент, например затраты энергии при получении продукта. Более того, необходимо установить предельные затраты энергии при производстве каждого вида продукции.

Пример. В трудах К. Маркса [22] нашла обоснование взаимосвязь социальных и экономических аспектов общественного развития. В изложенной им экономической теории было уделено внимание естественным предпосылкам развития общества. Однако К. Маркс не оценил ограниченные адаптационные возможности природы. Оптимизм экономического учения во многом обусловлен представлением о том, что природные ресурсы Земли относительно неисчерпаемы.

Русский ученый С. А. Подолинский в личной переписке с К. Марксом обратил его внимание на возможность и целесообразность анализа экономических процессов и трудовой деятельности с позиций физики. Он показал, что труд есть деятельность, которая связана с регулированием потоков энергии, поэтому трудовая теория стоимости должна быть дополнена энергетическим балансом. К сожалению, идеология неограниченного прогресса не позволила К. Марксу проанализировать с естественно-научных позиций экономическую деятельность человека. Таки образом, был обойден важный аспект во взаимодействии физики и экономики.

4. В природе в процессе длительного и постепенного развития (эволюции) возникли наиболее рациональные механизмы приспособления организмов друг к другу, а также особенности протекания экологических, биологических и биогеохимических процессов.

Природные системы «сконструированы» по правилам, «цели» и «законы» которых часто не совпадают с нашими потребностями. Любое явление природы является неслучайным набором «полезных» и «вредных» для людей видов живых организмов.

Природные системы можно сравнить с сетью. Если в сети разорвать одну нить, то связи не нарушаются. Поэтому «здоро-

вые» экосистемы устойчивы к воздействию, например, морозов, засух, вредителей и болезней. Человеку следует вписываться в жизнь экосистем, т. е. находить такие способы хозяйствования и производства энергии, которые бы не нарушали природные связи. Все, что извлекается из экосистем, должно быть обязательно включено в круговорот вещества в биосфере. Категорически нельзя изменять потоки энергии, круговорот веществ и химический состав биосферы. В противном случае нас ждет неминуемая катастрофа. Условием жизни человека на планете является обязательное поддержание равновесия между его потребностями и возможностями природы.

Пример. Для сохранения равновесия в биосфере потребление первичной продукции не должно превышать 1 %. Эта доля соответствует доле потребления первичной продукции крупными животными. Превышение потребления первичной продукции приведет к нарушению биогеохимического круговорота в биосфере. Современное воздействие человеческой популяции привело к тому, что потребление продукции биосферы превысило 7 %, что уже стало причиной нарушения биогеохимического круговорота в биосфере. Отсюда вытекает следующее положение: для преодоления этих катастрофических для существования биосферы явлений человечество должно совершенствовать методы контроля окружающей среды, совершенствовать инженерные методы ее защиты и разрабатывать технологии, формируемые в рамках направлений по защите окружающей среды и рационального природопользования.

Пример. Город с населением миллион жителей ежедневно потребляет 500 тыс. м³ воды. Каждый из этих кубометров нужно взять из источника и доставить к водоразборному крану. Предположим, что воду приходится поднимать на высоту 100 м. Для этого надо произвести работу, эквивалентную 750 тыс. кВт·ч энергии топлива. Те же 500 тыс. м³ воды ежедневно превращаются в сточные воды, которые нужно обязательно очищать перед выпуском в водоем. Для упрощения примем, что на это ухо-

дит столько же энергии. Тогда общий расход энергии топлива на подачу воды и очистку стоков составит около 1500 тыс. кВт·ч. Необходимое количество энергии получают, например, при сгорании 172 т каменного угля — ежедневно в атмосферу выбрасывается 7000 кг диоксида серы. Диоксид серы, растворяясь в атмосферной влаге, выпадает на землю в виде «кислых» дождей, поэтому ежедневные 7000 кг диоксида серы превращаются в 10000 кг серной кислоты. Таким образом, на каждый кубометр воды, подаваемой в городской водопровод, приходится 20 г серной кислоты, падающей с неба на землю. Столь «щедрое» нормы расхода воды разорительны не только для экономики, но и для природы, поэтому экология, в отличие от других наук, ставит задачу не расширять, а сокращать потребности человечества во всех материальных сферах.

3.3. Противоречия между принципами функционирования экосистем и хозяйственной деятельностью человека

Экологические проблемы возникли в результате недоучета условий и причин долговременной устойчивости экосистем. Мы противоречим каждому основному принципу функционирования экосистем:

1. В естественных экосистемах использование ресурсов и избавление от отходов осуществляются в рамках круговорота всех элементов.

Закон сохранения массы сформулирован более 200 лет назад. Мы по-прежнему управляем нашей экосистемой так, будто элементы возникают в одном месте, а исчезают в другом. Например, разработка месторождений фосфоритов. Извлеченным из них фосфатом удобряют культурные растения, которые употребляет в пищу человек. Избыток сельскохозяйственных удобрений и отходы человеческой жизнедеятельности попадают в естественные

водоемы и уже не возвращаются на сушу. Рассматриваемая система является неустойчивой. Рано или поздно месторождения фосфоритов истощатся. Но еще опаснее то, что по всей планете нарушаются водные экосистемы (даже разрушаются) из-за избыточного присутствия в них фосфатов и нитратов.

К таким же неутешительным выводам можно прийти, оценивая миграцию других химических элементов, «питающих» промышленность. В отсутствие их круговорота происходит истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Не надо забывать и о том, что многие металлы крайне токсичны.

2. Экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно.

До «промышленной революции» люди облегчили свой труд, используя энергию домашних животных, ветра и воды. Это не прямые источники солнечной энергии. Последние 250 лет мы стали широко использовать ископаемое топливо и оказались на пороге истощения его ресурсов. Сжигание топлива породило многочисленные проблемы загрязнения окружающей человека среды. Ядерная энергетика, развивающаяся в последние 40 лет, не приводит к особым улучшениям природных экосистем.

3. На конце длинных пищевых цепей не может быть большой биомассы.

За последние 100 лет численность человечества возростала с феноменальной скоростью и продолжает увеличиваться примерно на 90 млн человек в год. Люди, особенно в развитых странах, по своему рациону относятся в основном к третьему трофическому уровню, т. е. едят мясо. Для производства одного его килограмма требуется от 10 до 20 кг зерна. Для того чтобы все люди могли позволить себе мясной рацион, надо примерно в 10 раз расширить посевные площади. А это оборачивается разрушением почв в результате эрозии и перевыпаса. Рост численности населения при снижении плодородия земель чреват продовольственным кризисом.

3.4. Экологическая политика и природоохранная деятельность

Основные позиции экополитики состоят в следующем [27]:

1. Необходима тщательная инвентаризация природных ресурсов, включая естественные условия жизни на Земле во всех ее экосистемах и по всей их иерархии, т. е. нужен глобальный банк натуральных данных. Он должен включать как данные о количестве и качестве ресурсов, так и о динамике их изменения, реакции экосистем на антропогенное давление. Инвентаризация должна обеспечить обратную связь, поскольку знать источник угрозы — значит быть готовым к ее отражению.

2. Следует создать механизм превентивного сохранения природных ресурсов на рыночной основе. Пока цена природных ресурсов и оценка ущерба от изменения среды жизни определяются на базе различных подходов, нет и согласованных нормативов. И они едва ли возможны в условиях, когда научное и техническое развитие стран различно. Высокоразвитые страны не хотят делать вложения в общее дело, например в улучшение экологического положения мирового океана, не получая от этого реального выигрыша. Сиюминутные интересы оказываются выше долговременных целей.

3. Целесообразно привести темпы эксплуатации природных систем в равенство с интенсивностью самовосстановления этих систем. Природно-ресурсный потенциал должен быть равен уровню изъятия ресурсов и темпов изменения среды жизни или больше него. Однако сейчас антропогенное возмущение в биосфере выше ее способности к саморегуляции. Следовательно, должны возникнуть глобальные нормативы и сложиться мировые цены на все природные ресурсы. Однако квоты изъятия ресурсов и изменений среды жизни, как правило, еще не установлены ни для стран, ни для их регионов. Сложность решения данной проблемы состоит в том, что, с одной стороны, трудно

договориться о квотах для государств, а с другой, использование ресурсов на своих территориях является их внутренним делом.

4. Необходимо применить механизм поощрения решения экологических проблем. Первый путь связан с обновлением технологий отсталых стран за счет развитых с постепенной расплатой, т. е. техническое кредитование под экономические и экологические условия. Это стимулирует стремление к улучшению среды жизни. Второй путь основан на выкупе долгов развивающихся стран за счет организаций развитых стран с условием консервации природных ресурсов стран-должников. Первые шаги в этих направлениях уже сделаны. Например, в Боливии был выкуплен ее долг в размере 650 тыс. долларов по цене 15 центов за доллар организацией «Международная охрана» под обязательство правительства Боливии выделить 1,5 млн га тропического леса в качестве особо охраняемой территории.

5. Требуется скорейшая разработка конкретного механизма социально-экономической регуляции системы природа—человек. Он должен быть построен на взаимовыгодных для всех стран основаниях с учетом интересов будущих поколений. Это задача ближайшего будущего, фундамент гармонического развития человеческого общества и его природной среды. О ее важности говорит тот факт, что в бюджетах целого ряда ведущих стран на финансирование фундаментальных исследований экологического направления заложены большие суммы. Так, в бюджете США на 1990 год сумма таких расходов оценивалась в 190,5 млн долларов, в том числе 39,5 млн долларов затрачено на исследование проблемы «Экологические системы и их динамика».

3.5. Технологические подходы к решению экологических проблем

Технологические подходы к решению экологических проблем заключаются в следующем [27]:

1. Интенсификация использования природных ресурсов при условии сохранения среды жизни и увеличения темпов экономического роста. Она предусматривает более полное извлечение минеральных ресурсов, например нефти, иногда теряемой в размере до 70 %. Экологическое планирование сельского хозяйства позволит избежать урона при повышении экономической отдачи. Выборочное изъятие леса с помощью специальной техники, как показывает опыт Финляндии, может увеличить прирост древесины в полтора раза и сохранить лесную экосистему. В странах, особенно в недостаточно развитых, с пользой утилизируется не более одной десятой части объема вырубаемой древесины.

2. Широкое применение массива вторичных ресурсов. В Чехии и Словакии, например, лом черных металлов используют на 90 %. У нас этот показатель в три раза ниже. А ведь расходы энергии на переработку лома черных металлов намного меньше, чем при получении продукта из руды. Внутренний ресурсный круг, не вовлекающий природные запасы извне, из природы, не всегда возможен, но в ряде случаев он может занять ведущее место. Дело лишь за удешевлением использования вторичных ресурсов.

3. Оптимизация числа и размеров хозяйственных единиц и их продукции. Следует сказать, что гигантизм является началом конца. Это общесистемный закон. Разумная достаточность в числе и размере предприятий совершенно необходима. Одновременно следует стремиться, чтобы изделия были, по возможности, небольшими, чтобы расходовать минимум ресурсов.

4. Экономия энергии и смена ее источников на водород и солнечные батареи. Как известно, поколение энергоисточников заменяется не чаще, чем через 30–40 лет. Этот процесс неизбежен. Важно, что смена энергоисточников должна идти по линии использования того тепла и света, которое поступает к Земле и рассеивается, а не того, что концентрируется и изыма-

ется из недр, т. е. по пути уменьшения, а не увеличения на биосферу тепловой нагрузки.

5. Экологическая стандартизация и сертификация технологий, техники и продукции всего хозяйственного комплекса. Введение стандартов и сертификация являются важнейшим управленческим моментом, который направляет всю экономическую жизнь в сторону экологизации. В ходе сертификации и стандартизации технологий по экологическому принципу, такой же оценки всего экономического развития будут выбраны наиболее общественно выгодные пути прогресса, при которых доминанта социальной ценности жизни над ее экономической оценкой будет возрастать.

В заключение следует отметить, что единого рецепта решения всех экологических проблем не существует.

На каждый конкретный вопрос в конечном итоге можно найти ответ, но лишь путем детального анализа конкретных фактов и действий на основе глубокого знания законов экологии.

4. Доступность и качество природной воды как основа стабильности социальных систем

4.1. Вода в природных экосистемах

Гидросфера Земли на 97,5 % представлена солеными водами Мирового океана, минерализованными подземными водами и водами соленых озер. На долю пресных вод приходится всего лишь 2,5 %, что составляет 35 млн км³. На каждого жителя планеты приходится около 6 млн км³ пресной воды, но подавляющая часть этого объема недоступна для человека. В ледниках, подземных льдах, постоянном снежном покрове содержится около 24,4 млн км³ воды. Еще приблизительно 10,5 млн км³ сосредоточено в водоносных слоях под землей, но лишь 4 млн км³ из них относят к зоне активного водообмена. Пресные воды залегают, как правило, на глубине 150–200 м. В этом слое как раз и сосредоточены указанные выше 10,5 млн км³ воды, что примерно в 100 раз больше, чем объем поверхностных пресных вод (озера, болота, русла рек).

Относительно велики запасы почвенной влаги — 6,5 тыс. км³. Почти вся почвенная влага находится в верхнем слое почвы и подпочвы толщиной 2 м. Влажность этого слоя (по весу) составляет 10 %, так что почвенная влага соответствует слою воды 0,2 м.

В атмосфере содержится 12,9 тыс. км³ воды в виде водяного пара и его конденсата (капельки воды и ледяные кристал-

лы). Чем теплее воздух, тем больше в нем может содержаться водяного пара. Самый влажный воздух — в зоне тропиков и субтропиков. Однако здесь имеется в виду прежде всего абсолютная влажность. Относительная же влажность, измеряемая в процентах по отношению к состоянию полного насыщения, в жарком климате обычно уменьшается по сравнению с умеренными широтами. Вся атмосферная влага соответствует слою воды 2,5 см (при равномерном распределении по поверхности земного шара).

Заметим, наконец, что животные и растения тоже «содержат» воду, причем в довольно большом количестве. В среднем на 80 % они состоят из воды. Это так называемая биологическая вода. Общее количество ее — 1,1 тыс. км³ (свыше половины того количества, что содержится в русле рек).

Уникальным хранилищем пресной воды является озеро Байкал. В нем содержится воды в 11 раз больше, чем во всех реках мира, а именно 23 тыс. км³. Наибольшая глубина Байкала составляет 1,741 км. Это самое глубокое озеро на планете, содержащее пресную воду самого высокого качества. Озеро образовалось в глубокой тектонической впадине — расщелине в земной коре, и эта расщелина, возможно, продолжает расти.

Для целей гидроэнергетики и орошения, а также для водоснабжения городов и иных нужд, например рекреационных, на реках сооружаются искусственные водохранилища, которые могут достигать довольно больших размеров. Например, в Африке одно из крупнейших в мире по объему воды водохранилище на реке Замбези вмещает более 160 км³ воды, что составляет более 80 % объема воды всех африканских рек вместе взятых. Братское водохранилище на Ангаре вмещает 169 км³. Это более чем вдвое превышает объем всех рек Европы. Однако более точной характеристикой запасов водных ресурсов в реках является не их единовременный объем, а величина стока, измеряемая объемом протекающей через русло воды в течение единицы времени, обычно года.

Величина стока (расход воды в реке) напрямую зависит от площади речного бассейна (площади водосбора). Чем больше площадь водосбора, тем больше сток (при прочих равных условиях, главным образом климатических). Иногда это правило нарушается. Например, расход воды в Енисее — самый большой в России, хотя по площади бассейна он уступает Обскому — самому крупному в стране. В целом величина речного стока определяется разностью между количеством осадков, выпадающих на территории речного бассейна, и испарением влаги с этой территории. Отношение величины стока к осадкам называют коэффициентом стока для бассейна. Для всей населенной суши коэффициент стока равен 0,38. Это означает, что в Мировой океан стекает 38 % выпавших над сушей осадков, 62 % испаряется.

4.2. Состав природных вод

Природная вода — это многокомпонентная система, состоящая из минеральных солей, органических веществ и газов. В большинстве случаев природная вода имеет атмосферное происхождение (дождевая вода), реже — глубинное (конденсация паров, поднимающихся из недр Земли). Состав грунтовых, озерных, речных, морских и океанских вод изменяется в широких пределах в зависимости от вида почв, пород, растительного мира, с которыми контактирует вода.

Существует несколько классификаций состава природных вод. Так, в гидрохимии компоненты химического состава природных вод делят на шесть групп [22]:

1. Главные ионы (макрокомпоненты), к которым относят K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Интересно отметить, что в открытом океане независимо от абсолютной концентрации соотношение между главными компонентами основного солевого состава остается примерно постоянным.

2. Растворенные газы: O_2 , CO_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 и др. Растворимость газов в воде в первую очередь зависит от их парциальных давлений и температуры. С увеличением температуры растворимость газов уменьшается.

3. Биогенные вещества (продукты жизнедеятельности организмов), главным образом неорганические соединения азота и фосфора. Их концентрация в поверхностных водах изменяется в очень широких пределах: от следов до 10 мг/л. К биогенным элементам относят также соединения кремния, находящегося в воде в виде коллоидных или истинно растворенных форм мета- и ортокремниевой кислот (H_2SiO_4 и H_4SiO_4), соединения железа в основном в форме микроколлоидных гидроксидов железа или органических комплексов.

4. Растворенные органические вещества, т. е. органические формы биогенных элементов. Эта группа включает практически все классы органических соединений. Средний элементный состав таких веществ в природных водах соответствует химической формуле $C_{13}H_{17}O_{12}$.

5. Микроэлементы. В эту группу входят все металлы, кроме главных ионов, а также анионы. Например, Cu^{2+} , Mn^{2+} , анионы F^- , Br^- , I^- встречаются в природных водоемах в очень малых концентрациях.

6. Бактерии и микроорганизмы.

Классификация состава природных вод, предложенная Л. А. Кульским, основана на фазовом состоянии и дисперсности примесей, содержащихся в воде. По этой классификации выделяют четыре группы примесей:

1. Примеси первой группы состоят из образований, попадающих в воду вследствие слагающих ложе водоема пород и смыва с поверхности почв. Они представляют собой нерастворимые в воде суспензии, планктон и бактерии, кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока.

2. Примеси второй группы представляют собой гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, вымываемые водой из грунтов, а также нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых веществ, детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным частицам.

3. Примеси третьей группы включают молекулярно-растворимые вещества (органические соединения, растворимые газы и т. п.). Между ними под действием сил Ван-дер-Ваальса может происходить образование ассоциатов.

4. Примеси четвертой группы состоят из веществ, диссоциирующих на ионы. Устойчивость образующихся при этом гидроксидов металлов прямо пропорциональна заряду ионов и обратно пропорциональна их радиусу.

Из природных вод человек чаще всего сталкивается с поверхностными водами. Они характеризуются большим содержанием нерастворимых веществ и, в частности, органических соединений. Помимо частиц песка и глины, воды содержат лёсс, илистые вещества, различные карбонаты, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, гидроксиды алюминия, марганца, железа, высокомолекулярные примеси гумусового происхождения (иногда в виде органоминеральных комплексов), планктон и др. Содержание взвешенных частиц в поверхностных водоисточниках изменяется от нескольких единиц до десятков тысяч миллиграммов на литр. Размеры частиц веществ, находящихся во взвешенном состоянии, варьируют от грубодисперсных до коллоидных (табл. 4.1).

В поверхностной воде следует различать мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии (ил, песок, глины, остатки растений и живых организмов); объемные частицы, часто плавающие на поверхности и не способные к осаждению (травы, листва). Среди органических веществ, растворенных в воде, необходимо отметить гуминовые и карбоновые кислоты, а также различные углеводороды. Хорошая растворимость кислорода в воде приводит к тому, что относительное его содержание

в ней выше, чем в воздухе (35 и 21 об. % соответственно). Это обеспечивает существование жизни в реках, озерах и океанах.

Таблица 4.1

Характеристика веществ, находящихся в водах поверхностных источников во взвешенном состоянии

Взвешенное вещество	Характеристика	
	Размер частиц, мм	Время осаждения частиц на глубину 1 м
Коллоидные частицы	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6}$	4 года
Тонкая глина	$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$	0,5–2 мес.
Глина	$27 \cdot 10^{-4}$	2 сут
Мелкий ил	$1 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3}$	4–18 ч
Ил	$5 \cdot 10^{-2} - 27 \cdot 10^{-3}$	10–30 мин
Песок: мелкий	0,1	2,5 мин
средний	0,5	20 с
крупный	1,0	10 с

В воде морей и океанов содержатся преимущественно катионы Na^+ , K^+ , Mg^{2+} и анионы Cl^- , SO_4^{2-} . Вода же рек и озер обогащена катионами Ca^{2+} и анионами HCO_3^- . Для сильноминерализованных вод доминирующим является катион Na^+ , а для слабоминерализованных — катион Ca^{2+} .

Общее количество растворенных в воде веществ (солесодержание) характеризуют количеством сухого остатка, который получается после упаривания досуха и высушивания при $105-120^\circ\text{C}$ определенного количества профильтрованной воды. По величине сухого остатка воды подразделяют: на пресные — менее 1 г/л; минеральные — 1...25 г/л; морской солености — 25...50 г/л; соленые — более 50 г/л. Все растворенные в воде соли полностью диссоциированы, частично гидролизваны и поэтому находятся в ней в виде гидратированных ионов: катионов и анионов. Количественный анализ природных вод (табл. 4.2) показал, что между частотой присутствия ионов и их концентрацией не наблюдается четкой корреляции.

Таблица 4.2

Количественный состав некоторых природных вод

Водоисточник	Содержание, мг/л					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Океан	418,0	1329,0	11428,0	146,0	2768,0	19833,0
Черное (море)	250,0	650,0	5510,0	80,0	1310,0	9630,0
Волга (река)	48,9	10,1	11,9	63,7	61,9	14,4
Москва (река)	41,3	8,4	2,3	79,4	7,7	4,4
Рейн (река)	50,3	11,7	5,2	181,4	24,6	8,0
Байкал (озеро)	15,2	4,2	6,1	59,2	4,9	1,8*
Мичиган (озеро)	26,2	8,3	4,7	58,3	7,1	2,7*

* Cl⁻ + Br⁻.

4.3. Радиоактивность природных вод

Особое место среди химических поллютантов, присутствующих в природных водах, занимают радионуклиды. Как правило, в случае радиоактивных загрязнителей оперируют понятием не массы, а активности радионуклидов; за единицу активности принят 1 беккерель (1 Бк), соответствующий одному распаду в секунду. Радионуклиды по своему происхождению делятся на природные и техногенные. В свою очередь природные радионуклиды представлены тремя основными группами [1, 38–42]:

1. Первичные долгоживущие. Сюда относятся радионуклиды с периодом полураспада более 10⁷ лет, сохранившиеся до наших дней с момента образования Земли: ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th, ⁴⁰K, ⁸⁷Rb.

2. Дочерние радионуклиды рядов ²³⁸U, ²³⁵U и ²³²Th.

3. Космогенные радионуклиды, постоянно образующиеся в атмосфере под действием космических лучей. Основными радионуклидами из этой группы являются долгоживущий изотоп углерода ¹⁴C (период полураспада 5730 лет), тритий ³H (12,3 года), а также короткоживущий ⁷Be (53 сут).

Основными источниками поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду являются наземные, подводные и воздушные испытания ядерного оружия (суммарно — порядка 90 % от всех выбросов в биосферу), а также штатная работа и радиационные инциденты на атомных электростанциях и предприятиях ядерного топливного цикла.

С точки зрения радиационной безопасности населения среди наиболее значимых природных радионуклидов, содержащихся в природных водах, следует отметить радионуклиды рядов ^{238}U (^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po) и ^{232}Th (^{228}Ra , ^{224}Ra), а также ^{40}K ; среди техногенных наиболее значимы такие долгоживущие радионуклиды, как ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{239}Pu [21]. В подавляющем большинстве случаев радиоактивное загрязнение природных вод природными радионуклидами существенно преобладает над загрязнением техногенными. Исследования показали, что в водопроводной воде в некоторых районах Японии содержится до 4,3 Бк/л ^{137}Cs и 3,7 Бк/л ^{134}Cs [28]. Активности природных радионуклидов в подземных (и особенно минеральных) водах могут достигать существенных значений. Так, например, в минеральных водах Турции удельные активности ^{226}Ra , ^{238}U и ^{234}U составляют 0,56–165, 0,42–439 и 0,42–464 мБк/л соответственно [6].

Наиболее высокие удельные активности в подземных водах характерны для изотопа ^{222}Rn , при этом типичные активности радона в грунтовых водах находятся в пределах 3,7–370 Бк/л и сильно зависят от геологических условий в конкретной местности. В некоторых областях активность радона может превышать 1000 Бк/л. Так, в некоторых скважинах Сысертского района Свердловской области активность радона достигает 1500 Бк/л. По результатам обследования 2379 водозаборов в Чешской Республике было выявлено превышение нормы содержания радона в 31 % случаев.

Анализ работы водоочистных сооружений централизованных систем водоснабжения показал низкий эффект очистки

воды от радионуклидов. В этой связи на основании рекомендаций ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) разработан документ по контролю качества питьевой воды СанПиН 2.1.4.1074–01. В соответствии с этим документом введен дополнительный критерий качества питьевой воды — радиационная безопасность, которая определяется соответствием воды нормативам по показателям общей α - и β -активности. При превышении нормативов суммарной α - и β -активности должна проводиться идентификация присутствующих в воде радионуклидов и измерение их индивидуальных концентраций. При этом нормативы на содержание индивидуальных радионуклидов различны и зависят от их вида и энергии распада, периода полураспада и особенностей метаболизма в организме человека.

Суммируя наиболее вероятные значения общей α - и β -активности излучающих радионуклидов, установлено, что для поверхностных вод (реки, озера) средней полосы европейской части России значение объемной суммарной α -активности находится в пределах 0,04–0,25 Бк/л (норматив 0,2 Бк/л), и суммарной β -активности 0,35–0,85 Бк/л (норматив 1 Бк/л). Для подземных вод соответственно 0,04–0,36 Бк/л и 1–4 Бк/л. Если рассматривать активности отдельных радионуклидов, то, например, объемная активность ^{226}Ra в среднем варьируется от $4 \cdot 10^{-3}$ до 0,185 Бк/л, достигая значений 0,32–2,70 Бк/л (подземные воды) и даже до нескольких тысяч беккерелей на литр (минеральные источники).

Следует отметить, что принятый норматив качества по суммарной α -активности, равный 0,2 Бк/л, является очень жестким, так как при соблюдении этого норматива более половины существующих и эксплуатируемых водопунктов должны быть признаны непригодными для использования. Более реальны уровни суммарной α - и β -активности 0,35–0,40 Бк/л и 1,5–2,0 Бк/л соответственно.

Используемые для анализа природных вод методики и аппаратура должны обеспечивать нижний порог количествен-

ного измерения α -активности на уровне 0,05–0,10 Бк/л, а β -активности — 0,3...0,4 Бк/л. При этом средняя расчетная энергия суммы β -излучателей в типичной фоновой пробе воды составит 420–440 кэВ.

Приведенные выше данные показывают актуальность и практическую значимость проблемы, связанной с возрастанием радиационного фона природной воды, используемой в качестве источников водоснабжения. Возможным путем решения проблемы является разработка и внедрение соответствующего аппаратурно-методического обеспечения для экспрессной оценки уровня объемной суммарной активности воды и дальнейшее развитие нормативно-правовой базы радиационной безопасности питьевой воды.

4.4. Водные ресурсы

Водные ресурсы планеты. Водные ресурсы состоят из статических (вековых) и возобновляемых запасов. Как было отмечено ранее, различают воду атмосферную, поверхностную и подземную. В атмосфере, окружающей Землю, вода встречается в парообразном, капельно-жидком (в облаках, туманах и в виде дождя) и в твердом (в виде снега, града и кристаллов льда высоких облаков) состояниях. Основная часть воды находится на поверхности в жидком состоянии: вода океанов, морей, озер, рек, болот. В твердом состоянии поверхностная вода в виде льда и снега сосредоточена у полюсов планеты, на горных вершинах. Под землей в породах литосферы вода встречается в жидком и парообразном состояниях.

Общая площадь океанов и морей в 2,5 раза больше площади суши. Суммарный объем воды на Земле составляет $\sim 1,4 \cdot 10^9$ км³. Обычно в воде находятся примеси органического и неорганического происхождения. Различают воду соленую и пресную. Основную массу воды на нашей планете ($\sim 97,5\%$) со-

ставляет соленая вода, образующая Мировой океан и большую часть минерализованных подземных вод глубинного залегания (1,5–2 км). Средняя соленость океанической воды составляет 34,7 г/л. Содержание солей в пресной воде не более 1 г/л. Мировой океан неоднороден как по солености, так и по температуре. Самая высокая температура воды в океане (404 °С) зарегистрирована у горячего источника в 480 км от западного побережья Америки, самая чистая вода в мире находится в море Уэдделла (Антарктида). Ее прозрачность соответствует прозрачности дистиллированной воды.

Большие запасы воды сосредоточены в реках, среди которых самыми протяженными являются Нил и Амазонка, а также в ледниках и океанических льдах. Самый толстый слой льда (4,78 км) зарегистрирован в Антарктиде. Запасы воды на планете и их соотношение приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Суммарные мировые запасы воды [30]

Часть гидросферы	По М. И. Львовичу (1969, 1974)		По Р. К. Клиге (1998)	
	Объем, тыс. км ³	% к объему	Объем, тыс. км ³	% к объему
Мировой океан	1 370 323	93,9300	1 476 000	94,32
Подземные воды	60 000	4,1200	60 000	3,83
Ледники	24 000	1,6500	30 000	1,92
Озера, болота	230	0,0160	290	0,02
Почвенная влага	75	0,0052	16	0,001
Влага атмосферы	14	0,00096	14	0,0008
Речные воды	1,2	0,0001	2	0,0001
Вся гидросфера	1 454 643,2	100	1 566 322	100

Атмосферные воды формируются за счет ежегодного испарения с поверхности Мирового океана около $505 \cdot 10^3$ км³ воды. Из них $458 \cdot 10^3$ км³ воды возвращаются обратно в океан в виде осадков, а $47 \cdot 10^3$ км³ воды перемешаются в результате атмо-

сферной циркуляции и выпадают в виде осадков над сушей. С поверхности суши, а также с поверхности озер и рек испаряется $72 \cdot 10^3$ км³ воды, которая затем возвращается на сушу в виде осадков. В целом над сушей выпадает $119 \cdot 10^3$ км³ осадков. Осадки (дождевые воды) являются пресными. Они содержат мало минеральных примесей, поэтому малопригодны для питьевых целей.

Таким образом, в природе происходит постоянный кругооборот воды, который обеспечивается за счет испарения, транспирации воды растениями и выпадения осадков. Скорость водообмена характеризуется следующими данными: Мировой океан — 2500; подземные воды — 400; воды озер — 17; воды болот — 5 лет. В реках водообмен происходит за несколько дней, в организме человека — за несколько часов. В процессе кругооборота количество и качество воды восстанавливаются. Однако развитие промышленности, транспорта, сельского хозяйства, урбанизации привели к тому, что естественные водоемы уже не могут самоочищаться, поэтому для очистки воды требуются искусственные инженерные сооружения. Потребность человека в пресной воде на 80 % удовлетворяется за счет речного стока. Единовременный ее объем в руслах рек оценивается $2 \cdot 10^3$ км³. Прогнозы показывают, что в XXI веке ресурсы рек не смогут покрыть спрос на воду и потребность в ней необходимо будет удовлетворять за счет опреснения вод Мирового океана, а также за счет использования подземных вод и вод ледников.

Так, по расчетам специалистов, потребление воды в XXI веке ежегодно будет возрастать на 3 %. Уже сейчас многие страны ощущают водное голодание, несмотря на то, что всего 1 % водопотребления расходуется на бытовые нужды. Трудности с обеспечением водой испытывают около 2 млрд человек.

Водные ресурсы России. Россия окружена водами 12 морей, принадлежащих трем океанам [32]. На территории страны находится свыше 2,5 млн больших и малых рек, более 2 млн озер. По общим запасам пресной воды она занимает 2-е место в мире (после Бразилии). В России на одного человека приходится

в год около 6,6 тыс. м³ речных вод и 3,6 тыс. м³ подземных вод. Водные запасы на территории страны распределены неравномерно. Центральные районы, где население составляет более 75 %, обеспечены 15 % водных ресурсов. Из 25 тыс. км³ пресных вод России 23 тыс. км³ приходится на озеро Байкал.

Систематические сведения о водных ресурсах страны приводятся в «Водном кадастре». Данный документ составляют и ведут органы Росгидромета. Водохозяйственный кадастр включает отраслевые кадастры, сведения о фактическом использовании водных ресурсов, водохозяйственные балансы с оценкой водообеспеченности потребителей. Суммарные водные ресурсы России приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Суммарные водные ресурсы России

Вид ресурсов	Возобновляемые		Статические	
	км ³	% от общих ресурсов	км ³	% от общих ресурсов
Речной сток	4270	42	—	—
Озера	532	5	26600	27
Болота	1000	10	3000	3
Ледники	110	1	39890	41
Подземные воды	787	8	28000	29
Почвенная влага	3500	34	—	—
Всего	10 199	100	97 490	100

В социально-экономическом развитии страны из поверхностных пресных вод речной сток имеет приоритетное значение. Почти 65 % крупных городов России (Москва, С.-Петербург, Нижний Новгород, Екатеринбург, Пермь и др.) используют для питьевых и технических нужд поверхностные, в основном речные воды. Ледники являются существенным аккумулятором воды, они сосредоточены, как правило, в приполюсных и горных районах. Естественные ресурсы пресных подземных вод составляют 787 км³ в год.

Наиболее чувствительны к антропогенному воздействию малые реки (длиной до 100 км). Их расстояние является, пожалуй, самым наглядным показателем нарастающей тенденции истощения водных ресурсов. Во многих регионах нашей страны сеть малых рек становится все более редкой. Часть малых рек вообще исчезает с географической карты. За последние 20–30 лет во многих областях России количество малых рек и водотоков уменьшилось на 10–30 %.

Высохшие русла малых рек становятся неотъемлемым элементом многих ландшафтов, особенно промышленно освоенных районов. Наиболее существенное воздействие на снижение стока малых рек оказывает сельскохозяйственная деятельность и вырубка лесов. К обезвоживанию рек приводит также чрезмерный водозабор на промышленно-хозяйственные нужды, создание глухих плотин.

Больше всего страдают от заиления малые реки. Оно происходит прежде всего на равнинных реках при одновременном усилении эрозии почв на водосборах — из-за их распашки. Перегораживание водотоков глухими земляными плотинами (число таких плотин на малых реках иногда исчисляется десятками) еще более усиливает этот эффект. В межень (когда уровень воды минимален) большинство малых заиленных рек фактически перестает существовать.

Качественное истощение малых рек (т. е. уменьшение объемов чистой воды) приобрело массовый характер. Можно привести множество примеров, когда объем сбрасываемых в малые реки сточных вод сопоставим с величиной речного стока. В таком положении находятся некоторые реки индустриального Урала, Сибири и Дальнего Востока, а также реки, протекающие в черте средних и крупных городов.

Еще одно тревожащее обстоятельство — нарастающая тенденция безвозвратного водопотребления из малых рек. В европейской части России безвозвратное водопотребление составляет более 12 %. В Центральном, Центральном-Черноземном,

Приволжском и Северо-Кавказском районах безвозвратное водопотребление колеблется от 20 до 60 %. Причем в Северо-Кавказском и Поволжском районах существует дефицит водных ресурсов малых рек.

Уменьшение водности малых рек изменяет гидрологические характеристики водосборного бассейна в целом. Например, исследования состояния бассейна Дона выявили четкую тенденцию сокращения речного поверхностного стока в масштабах бассейна на 15 % в лесостепной зоне и до 35 % в степной зоне. В отдаленной перспективе это сокращение может возрасти до 25 и 50 % соответственно.

Самой водоемкой отраслью является сельское хозяйство, на нужды которого забирается 60 % и более от общего водозабора. Испарение, фильтрация через земляные стенки каналов, практика сброса «лишних» вод привели к тому, что КПД оросительных систем составляет лишь около 60 %. В большинстве случаев нормы полива явно завышены, но даже они перекрываются на 30–40 %. Все это негативно сказывается даже на судьбе крупных рек. Наиболее ярким примером является современное состояние рек Сырдарьи и Амударьи, воды которых практически не доходят до Аральского моря, а почти целиком расходуются на орошение. Приблизительно до начала 1960-х годов эти реки еще были полноводны, поставляя в Арал около 56 км³ воды в год. Но уже к 1987 г. уровень Арала упал на 14 м, а поверхность моря сократилась вдвое. В 1983 г. в нем последний раз проводился промышленный лов рыбы. В 1989 г. (за первые 9 месяцев) Аральское море не получило ни одного кубического километра воды, и его уровень снизился еще на 70 см. Начиная с 1991 г. в Средней Азии приостановлено строительство крупных оросительных систем и расширение массивов орошаемых земель в районе Аральского моря.

Во второй половине XX столетия отмечалось снижение стока всех больших рек на территории России и стран СНГ (Днепра, Дона, Кубани, Днестра, Урала, Терека и ряда дру-

.....

гих) на 17–30 % в сравнении с предшествующей среднемноголетней нормой. Не миновала этой печальной участи и Волга. Уменьшение стока Волги имеет тенденцию к снижению с 1974 г. При этом надо иметь в виду, что работа оросительно-обводнительных систем является распространенной причиной постоянного подъема уровня грунтовых вод. Так, в Саратовской области в течение последних 20 лет отмечался непрерывный подъем уровня грунтовых вод, обусловленный орошением земель. Повышение уровня вод составило от 3 до 12 м. Последние 5–10 лет рост уровня происходит со скоростью до 5 м в год. Это угрожает заболачиванием и засолением земель, подтоплением населенных пунктов.

Темпы уменьшения стока составляют величину более 2 км³/год. И если эта тенденция сохранится, то каждые 10 лет мы будем терять, по крайней мере, 20 км³ речного стока. Большая часть этих потерь (около 85 %) приходится на южную часть материкового склона. Для рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, эффект составляет не более 15 % общих потерь стока. Однако для этих рек, протекающих в условиях более сурового климата, гораздо существеннее становится качественное истощение вод, обусловленное их устойчивым загрязнением. В условиях Севера расход воды на разбавление сточных вод возрастает в несколько раз из-за низкой скорости процесса самоочищения.

Истощению подземных вод способствует прежде всего малая скорость водообмена. Как известно, полное возобновление (смена) массы подземных вод происходит в течение 1400 лет. Для сравнения напомним, что полный водообмен в руслах рек происходит всего за 16 дней.

Таким образом, подземные воды представляют собой практически невозобновимый ресурс. Их изъятие из недр, если не проводить меры по искусственной компенсации, сопровождается неуклонным снижением уровня и постепенным осушением водоносного горизонта.

Уменьшение подземных вод в больших объемах неизбежно при добыче полезных ископаемых. Так, например, из 77 шахт Кузбасса ежесуточно откачивается 737 тыс. м³ воды. Потери подземных вод имеют место также при карьерных разработках и на рудниках. В том же Кузбассе объем водоотлива из 24 карьеров и 9 рудников составляет 260 тыс. м³/сут и около 36 тыс. м³/сут соответственно. При этом развиваются обширные воронки депрессии, снижающие производительность водозаборов в местах, соседствующих с районами добычи полезных ископаемых.

Полностью осушаются водоносные горизонты на железорудных месторождениях Курской магнитной аномалии. В Северо-Уральском бокситоносном районе снижение уровня подземных вод перешло за 300 м.

Обширные воронки осушения образуются также под крупными городами и в прилегающих к ним районах при интенсивной эксплуатации подземных вод. Радиус таких воронок может достигать 100 км. Естественным следствием этого является просадка и уплотнение пород, общее опускание территории. Так, например, осушение подземных горизонтов под Мехико вызвало оседание поверхности на 6–7 м, и многие городские сооружения были повреждены деформацией. Подобные явления наблюдаются также в японских городах Токио и Осаке. Скорость просадки поверхности в Токио порой достигла 25 см/год, что привело к смещению фундаментов зданий и повреждению системы креплений (тубинга) тоннелей метрополитена.

Откачка подземных вод в промышленных и урбанизированных районах, прилегающих к морским побережьям (таких районов на Земном шаре очень много), приводит к явлениям интрузии (внедрения) морских вод в высвобождающиеся подземные горизонты. При этом происходит осолонение подземных вод. Явления интрузии морских вод наблюдались в США, Японии, Канаде, Италии, Нидерландах и т. д. Скорость продвижения фронта интрузии по пласту колеблется от нескольких десятков до сотен метров в год.

В глубине континентов явления интрузии становятся обычными в зонах, где резервуары чистой подземной воды соседствуют с загрязненными или солоноватыми водами. Интрузия последних в эксплуатируемый горизонт вынуждает бросать скважины задолго до истощения водоносного слоя. Нередко они остаются в плохом техническом состоянии, длительное время самоизливаются и становятся дополнительным источником загрязнения подземных вод.

Подтягивание к водозаборам солоноватых и загрязненных подземных вод часто наблюдается в районах распространения вечной мерзлоты, где для водоснабжения широко используются так называемые талики — участки талого грунта в области многолетнемерзлых пород. Типичным примером может служить водозабор на одном из аласов Центральной Якутии, где горизонты пресных и солоноватых вод оказались соседствующими. Аласом называют плоскодонную котловину, образующуюся при вытаивании подземных льдов в областях развития многолетней мерзлоты. Диаметр аласов колеблется в весьма широких пределах — от нескольких десятков метров до десятков километров. За 15 лет эксплуатации скважин минерализация подземных вод, обусловленная подтягиванием к водозабору солоноватых вод, возросла с 465 до 1100 мг/л.

Велика опасность истощения подземных вод при использовании их на цели орошения. В этом случае расход воды особенно значителен, а в засушливые годы вообще выходит за сколько-нибудь разумные пределы. Эксплуатация подземных водоисточников приобретает хищнические формы. Так, в центральной части США стал истощаться крупнейший резервуар подземных вод, протянувшийся от штата Небраска до штата Техас. За 30 лет эксплуатации уровень в нем понизился более чем на 200 м. В этом нет ничего удивительного, если учесть, что только в районе г. Лаббок (штат Техас), где расположен основной массив хлопчатника, было устроено 79 тыс. водозаборных скважин.

Важно заметить также, что подземные водоисточники, будучи отрезанными от атмосферного кислорода, обладают крайне низкой способностью к самоочищению. Поэтому инфильтрация в подземные горизонты промышленных сточных вод, нефти и нефтепродуктов, минеральных удобрений, пестицидов и прочих загрязнителей резко увеличивает вероятность качественного истощения подземных вод. Наиболее опасным и длительным является радиоактивное загрязнение водоносных горизонтов, особенно если радионуклиды плохо сорбируются горными породами.

Водные ресурсы Свердловской области и их особенности. Территория Свердловской области составляет 194,5 тыс. км² и включает центральную и северную часть Уральской горной страны, а также восточную часть Восточно-Европейской и западную Западно-Сибирской равнин. Уральские горы, протянувшиеся с Севера на Юг на 2 тыс. км, служат водоразделом, где берет свое начало основная масса рек. Всего по территории области протекает 18 414 рек общей протяженностью свыше 68 тыс. км, из них 17 370 рек длиной до 10 км общей протяженностью 34 тыс. км; 1027 рек длиной от 10 до 200 км общей протяженностью 8,15 тыс. км [5].

Реки, берущие свое начало на восточном склоне гор, — Тавда, Тура, Пышма и Исеть — и их притоки относятся к бассейну Оби. Западный склон Урала дает начало Чусовой, Сылве и Уфе с притоками, и относятся они к Волжскому бассейну. Течение рек, берущих начало на восточном склоне Уральских гор, носит спокойный характер. В меньшей степени это относится к рекам западного склона. Снеговые запасы служат основным источником питания рек, тогда как грунтовые и дождевые воды определяют его в меньшей степени. Таким образом, гидрометеорологические условия определяют водность рек области, а следовательно, и запасы пресной воды в поверхностных источниках. В связи с этим поверхностный сток рек области может колебаться от 15 до 30 км³/год.

Сток значительного количества рек зарегулирован. В области, особенно в горной ее части (т. е. в верховьях рек), имеется свыше 400 прудов. Наличие в регионе богатых месторождений полезных ископаемых, и в первую очередь, черных и цветных металлов, угля, нефти и т. д. заложило более 300 лет назад основу его промышленного развития, что и обусловило зарегулирование стока созданием прудов для обеспечения водой промышленных предприятий и населения прилегающих городов и поселков. Озера (а их несколько тысяч) имеют меньший удельный вес в балансе поверхностных пресных вод области.

Важной особенностью региона является то, что его водные ресурсы неравномерно распределены по территории, а именно: на бассейны рек Исеть и Пышма приходится 5 % речного стока области, тогда как здесь сосредоточено 33 % населения и значительная доля промышленного потенциала. В то же время в бассейне р. Тавды (53 % речного стока) проживает 3 % населения. Естественно, что максимальная антропогенная нагрузка приходится на водоемы, где сосредоточена основная масса населения и промышленности.

Несмотря на положительный в целом водохозяйственный баланс по области, при низких значениях минимального стока существует дефицит водных ресурсов в районах расположения крупных промышленных центров, таких как Екатеринбург, Нижний Тагил, Первоуральск и т. п. Для его покрытия в последние годы созданы крупные водохранилища, такие как Волчихинское, Верхнемакаровское, Нязепетровское, а также Белоярское и Рефтинское, вода которых используется в качестве охладителя на крупных энергетических предприятиях (Белоярская АЭС и Рефтинская ГРЭС).

Всего в Свердловской области находится в эксплуатации 129 водохранилищ, запасы воды в которых оцениваются в 2,26 км³. Для нужд населения, промышленности и сельского хозяйства забор воды производится преимущественно из поверхностных источников с зарегулированным стоком (око-

ло 70 %) и составляет порядка 1 000 млн м³ в год. Используются также подземные воды, объем которых около 460 млн м³ в год. Таким образом, в области общий забор воды из природных источников приближается к 1 500 млн м³ в год. Цифры эти колеблются в зависимости от того, как работают предприятия, какова водохозяйственная обстановка в области и насколько экономно расходуется вода во всех сферах пользования. Вполне понятно, что все эти объемы воды (за исключением потерь, которые только при транспортировке составляют порядка 110 млн м³/год, т. е. более 7 % от объема водозабора) после использования сбрасываются в водные объекты и служат источником загрязнения рек Чусовой, Уфы, Исети, Пышмы, Туры и Тавды.

4.5. Состояние водных объектов как индикатор общего загрязнения окружающей среды

Загрязнение вод стало широко распространенным явлением. В водные объекты в конечном счете попадают практически все токсичные соединения, выбрасываемые в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека. В этой связи принято считать, что состояние водных объектов может служить индикатором общего загрязнения окружающей среды.

Помимо промышленных и коммунально-бытовых загрязнителей в водные объекты вместе с продуктами эрозии почв попадают используемые в сельском хозяйстве минеральные удобрения, пестициды и отходы животноводческих ферм. Многие загрязнители, выбрасываемые в атмосферу, выпадают на поверхность земли и выносятся в реки и озера с дождевыми и талыми водами.

Установлено, что во многих случаях поверхностный сток с площади водосбора рек превышает сброс сосредоточенных выпусков сточных вод городов и промышленных предприя-

тий и вносит наибольший вклад в ухудшение состояния водных объектов. Так, ежегодно в реку Обь попадает 19,8 тыс. т нитратов, 1,0 тыс. т железа, 16,3 т фенолов и 121,9 т цинка. Нитраты, поступающие в водоем за счет выноса с сельскохозяйственных полей удобрений, составляют наибольшую часть загрязнителей Обского бассейна.

Во многих регионах мира состояние рек вызывает большую тревогу. Речная сеть фактически функционирует как естественная канализационная система современной цивилизации. Так, в реке Эльба из обитавших в ней когда-то 20 видов рыб на сегодняшний день остались лишь угорь, речная камбала и корюшка. Причем 28 % молодых угрей оказываются пораженными опухолью кожи. В странах Восточной Европы в 30 % рек рыбы практически нет, а там, где она есть, регистрируются ее массовые заболевания. Явление массового заболевания рыбных популяций имеет место в Сибири. Практически весь бассейн Оби поражен описторхозом.

В конце XX века в целом по России ситуация выглядела следующим образом. На 369 водных объектах страны зарегистрировано 2446 случаев высоких уровней загрязнения по 23 ингредиентам. Превышение ПДК в 100 раз и более наблюдалось на 34 водных объектах в 171 случае (в бассейнах рек Чусовая, Миасс, Тагил, Иртыш и др.). В это же время было обследовано более 8 тыс. км морских побережий. Работа проводилась в 33 странах мира. В ней участвовали около 160 тыс. добровольцев. Они собрали почти 5,5 млн различных предметов, выброшенных морем на берег. Рыболовное снаряжение и его остатки (леска, блесны, поплавки, обрывки сетей) составили всего 1 % выброшенного на берег мусора. Остальная часть мусора представлена предметами из пластмасс, бутылками из-под воды и напитков и т. д.

Наиболее загрязненными оказываются внутренние моря, такие как Балтийское и Средиземное. Они имеют более длинную береговую линию на 1 км² акватории и потому больше

подвержены загрязнению. Накопленный опыт в решении проблемы уменьшения степени загрязнения морей свидетельствует о том, что это несравнимо более трудная задача, чем охрана озер и рек.

Загрязнению невозможно дать простое определение, так как оно может включать в себя сотни факторов, связанных с самыми разными источниками. Отдел загрязнений окружающей среды при президентском научном консультативном комитете США определяет его как неблагоприятное изменение нашего окружения, являющееся полностью или в основном побочным результатом деятельности человека. Некоторые изменения, такие, например, как загрязнение воздуха или питьевой воды токсикантами, непосредственно влияют на здоровье человека. Другие чреватые косвенными последствиями. Например, сдвиги в концентрациях биогенов приводят к гибели одних популяций и бурному развитию других.

Эколог Эдуард Корменди подчеркивает: «Загрязнители — нормальные побочные продукты жизнедеятельности человека как чисто биологического вида и как социального, творческого существа. Они представляют собой органические и неорганические отходы метаболизма и пищеварения, а также деятельности по выращиванию и защите урожая, обогреву домов, производству одежды, овладению атомной энергией ... Решить эту проблему невозможно простым устранением ее причин, так как пока существует человек, будут и побочные продукты его жизнедеятельности. Ответ, скорее, кроется в разумном управлении производством и в контроле за неблагоприятными изменениями нашего окружения» [36].

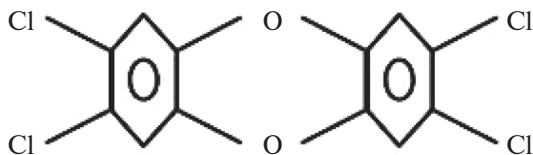
Каждый организм в естественной экосистеме производит потенциально загрязняющие среду отходы. Устойчивость экосистем обусловлена тем, что отходы одних организмов становятся пищей или «сырьем» для других. В сбалансированных экосистемах отходы не накапливаются до уровня, вызывающего «неблагоприятные» изменения, а разлагаются и рециркулируются.

На протяжении большей части своей истории люди избавлялись от отходов за счет таких же природных процессов. Демографический взрыв в сочетании с возрастающим расходом сырья и энергии привел к поступлению в окружающую среду огромных количеств отходов и других ненужных человеку материалов. Даже в том случае, если они биodeградируют, т. е. способны ассимилироваться и рециркулироваться организмами, их объемы превосходят возможности естественных экосистем [13].

Супертоксиканты. Проблему усугубляет производство все больших количеств и типов небiodeградирующих веществ и материалов, которые лишь с трудом разлагаются в результате естественных процессов. Среди таких веществ наибольшую опасность представляют хлорированные углеводороды. Их часто применяют при изготовлении пластмасс (поливинилхлорид), пестицидов (ДДТ), растворителей (тетрахлорфенол), электроизоляции (полихлорвиниловые бифенилы), пламягасящих веществ и других изделий. Хлорированные углеводороды вредны для здоровья человека. Наибольшую опасность представляют диоксины. Под диоксинами следует понимать не какое-то конкретное вещество, а несколько десятков семейств, включающих трициклические кислородсодержащие ксенобиотики (вещества, неприемлемые для живых организмов), а также семейство бифенолов, не содержащих атомы кислорода. Назвать какого-то одного открывателя диоксинов трудно. К их открытию привел многолетний опыт человеческих трагедий. Диоксины являются самыми токсичными из всех рукотворных веществ. Их действие на живые организмы сильнее цианидов, стрихнина, кураре, зорина, зомана, табуна и VX-газа. Классический диоксин признан абсолютным ядом.

Тетрахлордифенилдиоксин обладает совершенной формой молекулы.

Простая молекула диоксина имеет форму прямоугольника размерами $0,3 \times 1,0$ нм:



что позволяет ей точно вписываться в рецепторы живых организмов. Физиологическая активность молекул подавляет жизненные функции организмов, заставляет их работать иначе. Блокируя рецепторы, молекула диоксина, как и вирус СПИДа, уменьшает иммунные возможности организма. По сравнению с радиоактивными веществами диоксины не так просто обнаружить. Стоимость одного анализа на диоксины равна 600–3000 долларов.

Период их полураспада в почве составляет 10–12 лет, в организме человека — 6...7 лет. Минимальная доза диоксина, вызывающая раздражение кожи у человека, равна 0,0003 мг на грамм живого веса.

Источниками поступления диоксинов в окружающую человека среду являются отходы химических производств, металлургии, деревообрабатывающей промышленности, целлюлозно-бумажной промышленности, уничтожение мусора, выхлопные газы автомобилей и пожары.

Минеральные удобрения. Минеральные удобрения попадают в водные объекты в результате поверхностного смыва с сельскохозяйственных угодий. Азотные удобрения (селитры и соли аммония) приводят к появлению в воде NO_3^- - и NH_4^+ -ионов. Последние хорошо усваиваются растениями. Питательным элементом для водной растительности является фосфор. Он попадает в воду при использовании в качестве удобрений суперфосфата и преципитата. Фосфор поглощается растениями в виде HPO_4^{2-} - и H_2PO_4^- -ионов. Загрязнение воды азотными и фосфорными удобрениями представляет опасность для здоровья человека и стимулирует бурный рост водорослей.

Явление повышенной биологической продуктивности водоемов, именуемое эвтрофированием, приводит к резкому ухудшению физико-химических свойств воды. При массовом отмирании водорослей на дне водоемов скапливаются сотни тонн разлагающихся веществ. На их разложение расходуется весь или почти весь растворенный в воде кислород. В результате наблюдается массовая гибель рыб и других гидробионтов. Использование населением воды эвтрофированных водоемов для хозяйственно-питьевых нужд нередко приводит к вспышке желудочно-кишечных заболеваний, поскольку в таких водоемах создаются благоприятные условия для размножения болезнетворных микроорганизмов.

В отличие от азота особенность миграции фосфора заключается в ее одностороннем характере. Фосфор переходит с суши в воду, а из воды в осадок. В результате осадки на дне водоемов становятся местами огромных запасов фосфора. До 80 % попадающего в воду фосфора обычно уходит в осадок. Однако замечено, что осадки способны отдавать фосфор обратно в воду, если его концентрация в них достигает некоторого максимума.

Переход фосфора из осадка в воду затрудняется в условиях соленой воды (данный факт был получен при исследовании эстуариев) и облегчается в условиях известковых донных осадков, а также при нарастании содержания фосфатов в воде. Чем больше вводится фосфора в водоем, тем меньше его переходит в осадок и тем более он становится доступен растениям.

Характерные для эвтрофированных водоемов сине-зеленые водоросли способны потреблять атмосферный азот, притом в таком количестве, которое позволяет поддерживать эвтрофный режим в водоеме даже в отсутствие антропогенных источников биогенов. Биогены (особенно нитраты) опасны также для подземных водных источников. Проверка состояния грунтовых вод в Европе и США показала, что от 5 до 10 % источников имеют уровень содержания нитратов выше, чем допустимая величина (45 мг/л) для указанных регионов. На территории

Индии обнаружены громадные ареалы (северо-западная часть Индии и ее центральная часть к востоку от Бомбея) с содержанием в подземных водах более 250 мг/л нитратов.

Таким образом, с увеличением производства и применения фосфорных удобрений многие водоемы в недалеком будущем рискуют оказаться долговременно загрязненными избыточным количеством азота и фосфора.

Нефтепродукты. Источниками нефтяного загрязнения вод служат нефтепромыслы на суше и континентальном шельфе морей, морской и речной флот, а также нефтехранилища и нефте-распределительные пункты.

Добыча сырой нефти в промышленных масштабах практически началась в 1880 г. Сейчас загрязнение вод нефтепродуктами приняло глобальный характер. В 80 % всех проб воды, взятых для химического анализа, присутствуют нефтепродукты в большей или меньшей концентрации. При разработке нефтяных месторождений на поверхность земли вместе с добытой нефтью откачивается огромное количество так называемой пластовой воды, которая отличается высокой минерализацией и средним содержанием нефти около 3 г/л. В сточных водах нефтеперерабатывающих предприятий содержание нефти достигает 10 г/л.

Нефть поступает непосредственно в водоемы при сбросе с танкеров балластных вод, при очистке от нефти судовых емкостей и при погрузо-разгрузочных работах. Особенно катастрофичными для окружающей среды являются аварии на нефтепроводах и на крупнотоннажных танкерах. Ежегодно в окружающую среду поступает более 45 млн т нефти.

При попадании в воду нефтепродукты, растекаясь по поверхности, образуют молекулярный слой, покрывающий значительные площади. Например, 15 т мазута в течение 6–7 сут, растекаясь, покрывают площадь около 20 км²; 1 т более легких фракций нефти способна образовать пятно площадью до 12 км² и диаметром около 4 км (т. е. до самого горизонта).

Нефтяная пленка на водной поверхности стимулирует протекание разнообразных химических реакций с участием веществ, растворимых в нефти. Известно, что в нефтяных пленках происходит концентрирование тяжелых металлов и пестицидов. Например, пестицид дильдрин способен наращивать свою концентрацию в пленке в 10 000 раз.

Многие содержащиеся в нефти вещества токсичны. К токсичным веществам, содержащимся в низкокипящих фракциях, относятся, например, такие ароматические соединения, как бензол и ксилол. В состав высококипящих фракций нефти входят вещества с канцерогенными свойствами. К таким веществам обычно относят полициклические соединения. Сама нефть, являющаяся смесью нескольких сотен химических веществ, тоже токсична. Рыба погибает уже при концентрации нефти в воде 0,5 мг/л, а при концентрации 1,2 мг/л гибнет даже бентос и планктон. Нефтяная пленка на поверхности воды является непреодолимым препятствием для выживания мальков и обогащения воды атмосферным кислородом.

Процессы разложения нефти в воде протекают медленно. В конечном счете образуются гудрон и эмульсии. Для разложения нефти требуется кислород и различные микроорганизмы, эффективность работы которых существенно зависит от температуры воды. Для полного окисления нефти в аэробных условиях нужно 100–150 дней, а в анаэробных условиях деструкция нефти происходит за более длительный промежуток времени. Низкая температура воды, характерная для северных территорий (например, на севере Тюменской области, где добываются сотни миллионов тонн нефти в год), снижает активность микроорганизмов, и разложение нефти растягивается на многие месяцы. При этом нужно иметь в виду, что промежуточные продукты распада часто обладают более высокой токсичностью, чем сама нефть.

Летом, когда в 1 л речной воды содержится около 7–8 мг кислорода, нефть при разложении «отнимает» у воды огромное ко-

личество кислорода. При повышенных температурах для полного окисления 1 л нефти необходим кислород, содержащийся в 400 тыс. л воды.

В условиях зимы, когда водоемы покрыты льдом, содержание кислорода в воде понижается до 4 мг/л. При низких температурах на окисление 1 л нефти требуется кислород, содержащийся примерно в 1 млн л воды. Хотя в водоемы попадает огромное количество нефтепродуктов, еще больше их выбрасывается в атмосферу при испарении и неполном сгорании топлива. Попавшие в атмосферу углеводороды трансформируются, вступая в различные фотохимические реакции. Конечные продукты этих реакций в виде токсичных примесей с осадками вновь поступают в подземные и поверхностные воды.

Металлы. Металлы, попадая в водную среду, концентрируются на поверхности раздела фаз. Например, свинец, кобальт и медь распределяются между планктоном и водной фазой в следующих количественных соотношениях: 12 000:1; 16 000:1 и 90 000:1 соответственно. Местом концентрации металлов нередко становятся моллюски. Исследования новозеландских моллюсков, в частности, показали, что содержание меди в морских гребешках и устрицах соответственно в 3000 и в 14 000 раз выше, чем в окружающей их морской воде [23].

Концентрация металлов в донном осадке также на несколько порядков выше, чем в воде. Установлено, что при концентрации ртути в воде 0,1–3,6 мкг/л содержание ее в донном осадке составляет 80–800 мкг/л. Таким образом, коэффициент обогащения в этом случае может колебаться от нескольких десятков до нескольких сотен или даже тысяч.

Большинство металлов в водной среде обладает достаточно высокой реакционной способностью, принимая участие в образовании химических комплексов. Кадмий и цинк образуют ассоциаты преимущественно с Cl^- -ионами, а свинец и медь вступают во взаимодействие с OH^- -ионами. Токсикологические характеристики металлов во многом зависят от типа химическо-

го комплекса, в который они входят. Например, токсичность меди зависит от таких образований, как CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{2-}$, CuOH^+ и $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$.

Если в воде присутствуют одновременно несколько металлов, то совместная их токсичность либо суммируется (аддитивность), либо усиливается (синергетизм), либо ослабляется (антагонизм). Известно, что смесь меди и цинка обладает синергетическими характеристиками: ее токсичность возрастает в 5 раз по сравнению с аддитивным действием этих компонентов. Синергетически действует цинк также в присутствии никеля. Смесь же цинка с кадмием действует аддитивно.

Наиболее изучена токсичность свинца. Известно, что этот металл нарушает процессы кроветворения, повреждает печень и почки, угнетает активность стероидных гормонов, ухудшает сперматогенез. Неорганические соединения свинца, попавшие с водой в организм человека, вызывают хроническое заболевание мозга и умственную отсталость (особенно у детей в период формирования их интеллектуального потенциала).

Не менее опасна способность неорганических соединений свинца к замещению кальция в костных тканях организма, что приводит к длительной (на протяжении всей жизни) интоксикации организма. При хронической свинцовой интоксикации наступает вялость, апатия, снижение работоспособности и творческой активности. Органические соединения свинца обладают большей токсичностью, чем неорганические. Однако механизм их переноса, скорости образования и диссоциации изучены еще недостаточно.

Ртуть обладает общетоксическим, аллергическим действием, влияет на функцию половых желез и развитие эмбриона. Проникая во внутриклеточное пространство, ртуть вступает во взаимодействие с молекулами клеточных органелл и мембран. Она негативно влияет на нервную систему, включая краткосрочную память; способна вызывать почечную недостаточность, нарушать сенсорные функции и мышечную координацию.

В водной среде ртуть быстро взаимодействует с органическими веществами, переходя в высокотоксичные формы (метилртуть и диметилртуть). Метилртуть достаточно хорошо растворима и быстро внедряется в живые организмы, мигрируя по пищевым цепям. Из морских рыб самое высокое содержание ртути было обнаружено у популяции тунца и акулы, принадлежащих к верхним звеньям пищевой цепочки. По этой причине в Северной Америке и Австралии был даже сокращен промысел этих рыб. Считается, что предельный уровень безопасности по ртути в рыбе составляет величину $0,5 \cdot 10^{-4} \%$.

Придонные виды рыб обычно содержат ртути больше, чем свободно мигрирующие. Исследование, проведенное в устье Темзы, показало, что это различие может быть в 2 раза. Например, содержание ртути в свободно мигрирующей треске было $0,36 \cdot 10^{-4} \%$, а в придонной камбале — $0,74 \cdot 10^{-4} \%$.

Поглощенная животными и человеком метилртуть переходит из крови в мозговую ткань, разрушая мозжечок и кору головного мозга. Клинические симптомы ртутного отравления (они проявляются далеко не сразу) таковы: состояние оцепенения, потеря ориентировки в пространстве, частичная потеря зрения. Метилртуть способна проникать в плаценту и накапливаться в тканях плода, не вызывая каких-либо болезненных ощущений у матери.

Еще одним металлом, представляющим опасность для окружающей среды и людей, является кадмий. Кадмий обычно накапливается в печени рыб, а попадая в организм человека, локализуется преимущественно в почках. Здесь «застревает» более 30 % кадмия, еще 14 % концентрируется в печени и 2 % попадает в легкие.

Кадмий способен повышать кровяное давление и обладает канцерогенными свойствами. Причем в отличие от других тяжелых металлов, приводящих к тем или иным видам рака, кадмий стимулирует все его формы. Подобно свинцу, ртути и мышьяку, кадмий нарушает обмен веществ. Кроме того, он может

вызывать острые и хронические респираторные заболевания. Кадмий поступает в водоемы со стоками гальванических цехов, с удобрениями (в которых его содержание превышает обычно $8 \cdot 10^{-4} \%$), с осадками из атмосферы, куда он попадает при сжигании пластмассового мусора, и т. д.

Пестициды. Интенсификация сельского хозяйства в целях повышения урожайности выращиваемых растений основана на использовании химических препаратов, в том числе пестицидов. В качестве пестицидов используют химические вещества, применяемые для уничтожения тех или иных видов вредных организмов (от лат. *pestis* — зараза, *saedo* — убиваю).

Пестициды предназначены для борьбы с вредными флорой и фауной, за счет которых в мире теряется до 30 % урожая, в том числе за счет вредных животных и насекомых — 14 %, болезней — 2 %, сорной растительности — 9 %. Этим объясняется высокая эффективность их применения: так, 1 руб. затрат на пестициды приносит в среднем 5–10 руб. дохода. Однако необходимо помнить, что в природных условиях пестициды не встречаются, уже поэтому они ядовиты и чужды природе. В соответствии с законом физико-химического единства живого вещества все физико-химические агенты, являясь вредными для одних организмов, не могут быть безвредными для других, и разница заключается только в устойчивости организмов к агенту.

По химическому составу пестициды разделяются на три группы:

- хлорорганические, в состав молекулы которых входит хлор;
- фосфорорганические, одним из основных элементов которых являются атомы фосфора;
- прочие, занимающие промежуточное положение между хлор- и фосфорорганическими.

Важными характеристиками пестицидов в области охраны природы являются растворимость в воде и способность их к раз-

рушению в природной среде, т. е. деструкции. Для ее характеристики используются коэффициент деструкции и время деструкции. Причем под временем деструкции $t_{\text{дес}}$ понимается время, за которое произойдет разложение внесенного в среду пестицида на 99 %. Данные характеристики пестицидов зависят от климатических и погодных условий, почвенных характеристик и особенностей самих пестицидов. Так, хлорорганические пестициды нерастворимы или трудно растворимы в воде с временем деструкции 600–2500 сут. Фосфорорганические соединения растворимы в воде и время деструкции в среднем составляет 2–30 суток. Прочие пестициды в основном растворимы в воде. Время их деструкции изменяется в пределах 4–500 сут. Деструкция протекает во всей толще слоя зоны аэрации, а также в подземных и поверхностных водах.

После поступления в водоемы пестициды ухудшают качество воды, например появляется привкус и запах, изменяется цветность и окраска. Снижается самоочищающая способность воды из-за снижения потенциала размножения водных организмов и гибели многих из них в результате отравления ядохимикатами. В водоемах происходит накопление продуктов распада погибших организмов и падение содержания кислорода вследствие угнетения процесса фотосинтеза. Разложение мертвой органики, содержащей токсиканты, приводит к вторичному загрязнению водоемов пестицидами, сопровождающемуся потреблением большого количества кислорода, что приводит к его дефициту, и для очистки вод требуется дополнительная аэрация.

Подземные воды в отличие от поверхностных слабо очищаются под влиянием биологических процессов, что приводит к замедлению деструкции пестицидов и накоплению их в водоносных горизонтах. Вредное действие пестицидов сводится к уничтожению многих полезных и хозяйственно-нейтральных видов живых организмов и тем самым обеднению видового состава экосистем. Кроме того, пестициды:

- служат причиной появления устойчивых к пестицидам популяций вредителей, от которых все труднее избавиться;
- аккумулируются (накапливаются) в трофических цепях;
- сохраняются в экосистемах в течение нескольких десятков лет;
- вызывают патологические и генетические последствия;
- образуют метаболиты (новые соединения, часто более токсичные), значение и влияние которых на окружающую среду мало изучено;
- распространяются за пределы обрабатываемой территории (миграция).

Все сказанное приводит к необходимости разработки водоохраных мероприятий, основанных на прогнозе вымывания пестицидов с сельскохозяйственных угодий.

Поверхностно-активные вещества. Основная причина, по которой поверхностно-активные вещества (ПАВ) получили широкое распространение в производственно-хозяйственной деятельности, состоит в том, что они обладают моющим эффектом. При взаимодействии ПАВ с водой образуются щелочные растворы (при этом снижается жесткость воды), в которых моющее действие ПАВ проявляется особенно эффективно. Поверхностно-активные вещества включают в состав синтетических моющих средств, широко применяемых в легкой промышленности (текстильной, меховой, кожевенной и др.). Кроме того, ПАВ используют для получения полимеров, в качестве добавок к буровым растворам, для заводнения нефтяных пластов, борьбы с отложениями парафина, при флотационном обогащении руд и во многих других технологических процессах. В состав ПАВ могут быть включены разнообразные композитивы, ферменты, ингибиторы коррозии, душистые вещества и т. д. Наиболее известны следующие классы ПАВ: анионные, катионные и неионогенные.

Анионные ПАВ входят в состав большинства моющих средств, в частности на их основе готовят порошки. Именно

этот класс ПАВ стал использоваться раньше других и до сих пор удерживает лидерство по широте применения. Наиболее известным веществом из анионных ПАВ является линейный алкилсульфонат.

Катионные ПАВ распространены меньше. Они дороже анионоактивных и обладают антибактериальными свойствами. Некоторые из веществ этого класса используют в текстильной промышленности для придания мягкости тканям.

Объем производства неионогенных веществ составляет около 10 % от объема всех остальных ПАВ (производство катионных ПАВ составляет лишь доли процента). Если первые две группы ПАВ (анионные и катионные) включают в свой состав натрий, серу, фосфор, иногда азот, галогены или кислотную группу, то неионогенные вещества содержат только углерод, водород и кислород. Это практически чистые углеводороды, которые используют главным образом для промышленных целей и реже в моющих средствах. Наблюдаемый рост применения неионогенных ПАВ в составе моющих средств объясняется тем, что они (в отличие от традиционных катионных ПАВ) хорошо очищают гидрофобные волокна, которые все чаще начинают использоваться в новых тканях. Таковыми, в частности, являются активно отталкивающие воду полиамидные и полиэфирные волокна.

Проблема загрязнения вод, связанная с применением ПАВ, решается путем изменения химической структуры молекул при их синтезе. Например, применяемый ранее алкилбензосульфонат, отличающийся низкой скоростью разложения в водоемах, был заменен легко поддающимся разложению уже упоминаемым выше линейным алкилсульфонатом, химическая структура которого отличается от алкилбензосульфоната только отсутствием бензольного кольца между атомами серы и предельным углеводородным радикалом.

Присутствие в воде ПАВ ухудшает ее органолептические характеристики: появляются различные привкусы и запахи. Нали-

чие ПАВ в водоемах приводит к появлению стойких скоплений пены и ухудшению работы биохимических механизмов самоочищения водной среды. В результате происходит нарастание общего загрязнения водоемов и ухудшается качество воды. Поверхностно-активные вещества, содержащиеся в природной или сточных водах, затрудняют процесс их очистки. В присутствии ПАВ уменьшается эффективность отстаивания и фильтрация.

Микробиологическое загрязнение вод. Болезнетворные микробы и вирусы попадают в водоемы в больших количествах со сточными водами предприятий, с коммунально-бытовыми стоками, со стоками животноводческих комплексов и т. д. К наиболее распространенным водным инфекциям относятся: холера, бациллярная дизентерия, брюшной тиф, паратиф, гастроэнтерит, детская диарея, лептоспироз. Установлено также, что с загрязнением воды могут быть связаны вспышки инфекционного гепатита, некоторые гельминтозы (аскаридоз, описторхоз, эхинококкоз и др.). В южных странах с загрязненной водой связано такое широко распространенное паразитарное заболевание, как шистосоматоз (иногда употребляется термин «шистосомоз»). По примерным оценкам, шистосоматозом в мире страдает свыше 200 млн человек.

Нарастающее загрязнение поверхностных вод делает все более вероятными вспышки инфекционных заболеваний. В ряде стран снова появились холера и брюшной тиф. Неудержимо распространяется инфекционный гепатит. В значительной мере это связано, скорее всего, с тем, что возможности иммунизации против вирусов инфекционного гепатита пока ограничены. К тому же активность возбудителей заболевания настолько высока, что даже единичные копии вируса могут вызвать инфекционный процесс.

Заболевания, связанные с употреблением загрязненной питьевой воды, широко распространены в развивающихся и слаборазвитых странах. Например, в Африке, Азии и Латинской

Америке амебиазом (амебная дизентерия) ежегодно поражаются сотни миллионов человек, различными формами тифа и полиомиелитом болеют не менее 1 и 100 млн человек соответственно. Но особенно частыми являются случаи диареи (3–5 млрд в год). Причем в 5–10 млн случаев наступает смертельный исход.

Одна из наиболее крупных эпидемий инфекционного гепатита произошла в Дели (Индия), когда было зарегистрировано 97 тыс. случаев заболевания. Инфекционные заболевания вызваны плохим качеством питьевой воды. Общие потери рабочего времени в связи с этими заболеваниями в Индии составляют около 75 млн человеко-дней в год. Во второй половине прошлого века более чем в 40 странах мира, в том числе европейских, наблюдалась эпидемия холеры. Возникнув в одном из районов Юго-Восточной Азии (острова Сулавеси, Калимантан, Филиппины), холерный вибрион типа «Эль-Тор» в течение пяти лет поразил Индию и страны Среднего Востока. Случаи заболевания холерой были зарегистрированы также в Закавказье, на юге Украины, на Кубани и в низовьях Волги.

Многие возбудители заболеваний, в том числе холерный вибрион, используют воду как непосредственную среду обитания. Однако в ряде случаев в водоемах обитают носители патогенных микроорганизмов, выступающие в роли их промежуточного хозяина. Хорошо известным примером такого рода заболеваний является малярия. Переносчиками в этом случае выступают малярийные комары. В случае шистосоматоза роль промежуточного хозяина выполняют моллюски (водные улитки). Эти животные обитают обычно в ирригационных системах и водохранилищах. Внутри моллюсков происходит развитие личинок шистосом. Достигнув определенной стадии развития, личинки шистосом (церкарии) покидают тело моллюска и переходят в воду. Церкарии способны проникнуть сквозь кожу человека при работе на рисовых полях, во время рыбной ловли, при купании, стирке или мытье посуды и т. д. Пройдя ряд ста-

дий в организме человека, церкарии превращаются в гельминтов, которые поселяются в венозной системе тазовых органов и в органах выделения. Яйца гельминтов, обладающие жесткой оболочкой, способны повреждать стенки кишечника, мочевых путей и мочевого пузыря. Болезнь может поразить также селезенку и печень.

Для средних широт более типичными являются инфекционные заболевания. Опасность инфекционных заболеваний водного происхождения измеряют обычно количеством бактерий (точнее, их колоний) в 1 л воды. Объектом наблюдения являются, как правило, бактерии группы кишечной палочки, отличающиеся устойчивостью против обеззараживающих агентов (например, хлора). Количество кишечных палочек в 1 л воды именуется колииндексом. Иногда используют показатель, обратный колииндексу, так называемый колититр: наименьший объем воды в миллилитрах, в котором обнаруживается одна кишечная палочка. В чистых водоемах колититр обычно не падает ниже единицы.

4.6. Качество питьевой воды и здоровье населения

Состояние поверхностных и подземных источников централизованного питьевого водоснабжения и качество воды в местах водозабора существенно не улучшается и по-прежнему продолжает оставаться неудовлетворительным.

Известно [2], что подземные источники лучше защищены и качество воды в них по микробиологическим показателям в сравнении с поверхностными водоисточниками лучше. В связи с этим подземные воды считаются более надежным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения, однако они, как правило, имеют более высокий уровень минерализации и жесткости воды, повышенные концентрации железа, кремния и мар-

ганца. Это не только ухудшает органолептические свойства воды, но и может представлять риск для здоровья населения.

По данным ВОЗ, питьевая вода является вторым после бедности фактором риска нарушений состояния здоровья человека. С химическим загрязнением питьевой воды (например, свинцом, тригалометанами) и ее микробным заражением (криптоспоридиями) связаны угрозы здоровью сотен тысяч человек. К проблемам управления риском, связанным с водным фактором, относится значительное увеличение расходов на качественное водоснабжение. Так, только переход с хлорирования на озонирование воды потребуют расходов в 6 млрд долларов в год.

На Среднем Урале 50 % населения снабжается водой из поверхностных водоисточников. Особенностью Уральского региона является высокая цветность воды поверхностных источников при незначительной мутности за счет гуминовых и фульвокислот природного происхождения, а также за счет присутствия железа, марганца, фенолов, нефти и продуктов ее переработки.

Высокий уровень химического и микробиологического загрязнения поверхностных водоисточников вызывает необходимость применения максимальных доз используемых реагентов в процессе водоподготовки для систем централизованного водоснабжения: сульфата алюминия — от 8 до 15 мг/л, жидкого хлора — до 15 мг/л на начальном этапе обработки и до 3,0–4,0 мг/л на конечной стадии. В результате в питьевых водах остаточные концентрации алюминия нередко превышают предельно допустимые концентрации в 2 раза, а по остаточному свободному хлору — в 5 раз.

При обеззараживании питьевой воды жидким хлором образуются побочные хлорорганические соединения, количество и качество которых зависят от состава органических соединений в исходной воде, водородного показателя воды, температуры и времени обработки хлором, количества рабочей дозы хлора. Содержание хлорорганических соединений в питьевой воде

тем выше, чем больше содержится загрязняющих веществ в исходной воде водоисточника. Косвенными показателями опасности воды служат показатели ее цветности.

В целом по России вне зависимости от ведомственной принадлежности водопроводов около 50 % населения употребляет недоброкачественную питьевую воду. Гигиеническим требованиям по химическим показателям не соответствует 19 % проб воды, отобранных на контрольные анализы, по органолептическим свойствам — 15 %, по микробиологическим показателям безопасности — 7 %.

Многочисленные научные исследования, выполненные Екатеринбургским медицинским научным центром совместно с санитарно-эпидемиологической службой, свидетельствуют о негативном влиянии неудовлетворительного качества питьевой воды на состояние здоровья населения в регионе. В частности, доказана достоверная связь между содержанием хлорорганических соединений в питьевой воде 12 городов Свердловской области и смертностью населения от онкологических заболеваний, уровнем спонтанных аборт у женщин, а также частотой мутации в соматических клетках у детей.

Установлена также достоверная зависимость между содержанием в питьевой воде ряда химических веществ и уровнем заболеваемости населения по ряду других нозологических форм (органы пищеварения, мочеполовая и центральная нервная системы и др.).

Необходимо отметить, что, по данным государственной санитарно-эпидемиологической службы, в Свердловской области по степени влияния на уровень популяционного здоровья населения, подверженного неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды, химическая нагрузка, связанная с недостаточным качеством питьевой воды, занимает последние два года первое ранговое место.

Несмотря на некоторое улучшение в последние годы качества питьевой воды централизованного водоснабжения по микро-

биологическим показателям, остается реальной эпидемиологической опасностью воды и связанная с ней угроза для здоровья населения. Так, в России почти ежегодно регистрируется около ста вспышек острых кишечных инфекций водной этиологии с числом пострадавших от 4000 до 6000 чел.

В последние годы существенно возрастает эпидемиологическая значимость санитарно-технологического состояния водопроводных сетей как вторичных источников загрязнения питьевой воды. Например, в результате эпидемиологических исследований на примере Кировского района г. Екатеринбурга установлен риск возникновения кишечных инфекций у людей, которые проживают в домах, где не проводилась плановая замена водопроводных труб. В этих домах риск заболеваний в 3,6 раза выше, чем в тех, где трубы были своевременно заменены с последующей промывкой и дезинфекцией трубопроводной системы.

Важнейшим показателем физиологической полноценности питьевой воды является жесткость. Правда, понятие полноценности в отношении жесткости воды и соответствующие санитарные нормы введены только в 2002 г. в отношении высококачественной бутилированной воды. Для нее установлены допустимые пределы жесткости: как верхний, так и нижний. Это означает, что качественная питьевая вода должна иметь жесткость в пределах от 1,5 до 7 мг-экв/л. Это и есть норматив физиологической полноценности воды.

При жесткости воды сверх установленного норматива (более 7 мг-экв/л) появляется опасность отложения солей в мочевыводящих путях, изменения водно-солевого и белково-липидного обмена. При пониженной жесткости (менее 1,5 мг-экв/л) появляется опасность изменения реактивности сосудистой стенки, нейромышечных нарушений в сердечной мышце. Статистика показывает, кроме того, что при употреблении сверхмягких вод (при жесткости, близкой к нулю) наблюдается увеличение числа смертельных исходов при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Именно этим объясняется вред употребления дистиллированной или дождевой воды, в которой отсутствуют биологически необходимые организму элементы (кальций, магний и др.).

С водопроводной водой ситуация по показателю жесткости несколько иная. Для нее санитарными нормами устанавливается верхний предел жесткости не более 7 мг-экв/л (нижний предел отсутствует). Иногда санитарные службы на отдельных территориях в качестве вынужденной меры повышают этот предел до 10 мг-экв/л, что связано с особенностями водоснабжения на данной территории и применяемыми технологиями водоподготовки. Это означает, что физиологическая полноценность водопроводной воды по такому параметру, как жесткость, не гарантируется.

Несмотря на все усилия, в том числе действия органов исполнительной власти всех уровней, качество питьевой воды, особенно по органолептическим показателям, остается неудовлетворительным. Это вынуждает общество и население предпринимать дополнительные усилия по улучшению качества питьевой воды и использовать альтернативные источники водоснабжения.

Одним из важнейших элементов характеристики качества питьевой воды является оценка риска. Суммарный риск, связанный с воздействием водного фактора на здоровье, возможно оценить путем анализа только всех его компонентов: прямого влияния на здоровье; субъективных и эмоциональных реакций; нарушения условий жизни; влияния на материалы, сельскохозяйственную продукцию, экосистемы; рисков, возникающих в результате межсредовых переходов. Важная роль принадлежит оценке риска в совершенствовании принципов и методов гигиенического нормирования, гармонизации отечественных нормативов с рекомендациями международных организаций и ведущих зарубежных стран.

Большое значение приобретает проблема оценки микробиологического риска. Риск смерти от известных патогенных

микроорганизмов, содержащихся в неочищенной воде, в 100–1000 раз выше риска развития рака от воздействия химических веществ, образующихся при хлорировании воды. В США, например, риск от заражения микроорганизмами, вызывающими вспышки инфекционных заболеваний, равен 1:1000, риск смерти 1:1000000. Вероятность развития инфекции от попадания 1 микроорганизма составляет от $3,8 \cdot 10^{-5}$ (*Salmonella typhi*) до $2,8 \cdot 10^{-1}$ (*Entamoeba histolytica*).

Примером выявления риска водного фактора для здоровья населения является крупномасштабное исследование в Самарской области по оценке кумулятивного риска 96 веществ в питьевой воде, 96 веществ в поверхностных водах, 9 веществ в пищевых продуктах и 79 веществ в атмосферном воздухе. Малышевой А. Г. установлено [12], что максимальный суммарный канцерогенный риск от веществ, измеряемых в водопроводной воде Москвы, составляет около 7 случаев рака на 100 000 жителей. Данный уровень суммарного риска не превышает приемлемого уровня. Основной вклад в суммарный канцерогенный риск вносят такие галоформные соединения, как хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан.

В интегрированной компьютерной системе TERA [22] содержатся исчерпывающие сведения о параметрах риска здоровью для более чем 11 000 химических веществ. В руководстве по оценке риска (Р2.1.10.1920–04) представлены унифицированные терминология, методы и принципы оценки риска здоровью населения, позволяющие проводить исследования для различных сред, в том числе и для питьевой воды.

Сброс загрязненных сточных вод Свердловской области (порядка 800 млн м³/год) в общем объеме сбросов составляет порядка 70 %. Объем стоков, очищенных до нормативов и нормативно-чистых (т. е. не требующих очистки) находится на уровне 300–350 млн м³/год. В последние годы в силу разных причин в области наблюдается сокращение объемов водоотведения в поверхностные водные объекты.

При оценке качества воды, как отмечалось выше, используют органолептические показатели, предельно допустимые концентрации вредных веществ и основанные на них критерии (индекс загрязнения воды, процент проб воды, дающих превышение ПДК, кратность превышения ПДК и др.). «Центр экологического мониторинга и контроля» при Правительстве Свердловской области ведет систематический контроль над качеством поверхностных вод основных источников. Контроль осуществляется в 82 створах государственной сети наблюдения на территории Свердловской области по приоритетным показателям, обязательным для всех рек. К таким показателям относятся: растворенный кислород, медь, марганец, железо, цинк, органические вещества (по БПК₅ и ХПК), нефтепродукты, нитриты, нитраты, ионы аммония, никель, хлориды, сульфаты, фенолы. Помимо этого, в ряде случаев определяют дополнительно фосфаты, шестивалентный хром, фториды и в отдельных случаях — сероводород.

При оценке качества вод следует учитывать то обстоятельство, что химический состав последних формируется, в первую очередь, под влиянием таких естественных факторов, как подстилающие горные породы, почвы, формирующие поверхностный сток, живые организмы, климат, водный режим, рельеф, растительность и т. д. Этим объясняется повышенное фоновое содержание меди, цинка, марганца (как наиболее подвижных микроэлементов), железа, органических и взвешенных веществ в верховьях некоторых рек Свердловской области, причем концентрации железа, меди, цинка и марганца, как правило, превышают ПДК. В дальнейшем качество вод в значительной мере определяется сбросом промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Вносят сюда свой вклад и дождевые стоки с отвалов, свалок и шламохранилищ, расположенных в непосредственной близости от водных объектов и неорганизованный сток с городских и других селитебных территорий, промплощадок и сельскохозяйственных объектов. Отрегулированность

стока также оказывает влияние на состав воды, поскольку в прудах и водохранилищах из-за малой скорости водотока создаются условия для осаждения взвешенных веществ, которые, накапливаясь в донных отложениях, могут служить источником вторичного загрязнения.

Таким образом, суммарное воздействие перечисленных выше факторов и определяет качество поверхностных пресных вод региона. Ежегодно публикуемые результаты осуществляемого государственного контроля (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области») показывают, что в большинстве поверхностных водных источников Свердловской области качество воды не отвечает нормативам. Так наиболее распространенными загрязняющими веществами в водных объектах Свердловской области являются соединения меди, марганца, цинка, железа, легко окисляемые и трудно окисляемые органические вещества (по показателям БПК₅ и ХПК), азот нитритов, нефтепродукты. В ряде случаев наблюдается дефицит растворенного в воде кислорода, повышенное содержание сульфатов, азота аммония, фосфатов (по фосфору) и фенолов, в единичных случаях наблюдалось повышенное содержание никеля и фторидов.

В Свердловской области протекает большое количество малых рек, имеющих низкое качество воды, что не является исключением, так как обусловлено нахождением значительного их количества в районах расположения крупных промышленных предприятий, сбрасывающих загрязняющие вещества в водоемы как со сточными водами, так и с поверхностным стоком. Ситуация усугубляется и тем, что малые реки имеют низкую разбавляющую способность, а в некоторых случаях объемы сбрасываемых сточных вод превышают расход воды в реке. Это влияет на самоочищающую способность водоема со всеми вытекающими отсюда последствиями.

По результатам контроля за последние 3–4 года воду в общем случае можно отнести к категориям «грязная» и «очень

загрязненная». В единичных створах (от 2 до 4) качество воды соответствовало категориям «высокое загрязнение» и «экстремально высокое загрязнение». Как правило, высокие и экстремально высокие уровни загрязнения воды отмечаются в створах, расположенных ниже крупных промышленных городов по течению рек, таких как Екатеринбург (р. Исеть), Верхняя Пышма и Березовский (р. Пышма), Нижний Тагил (р. Тагил), Новая Ляля (р. Ляля) и др. Кратность превышения ПДК в этих случаях может достигать десятков и сотен раз. Так, в 2011 году в пробах воды из р. Исеть, отобранных в створе 7 км ниже г. Екатеринбурга, отмечено содержание взвешенных веществ на уровне 300 мг/л, фосфатов на уровне 13 ПДК, азота нитритов — 58 ПДК, нефтепродуктов — 34 ПДК, органических веществ (по ХПК) — 20 ПДК, а интенсивность запаха проб воды оценивается очень сильной (5 баллов). Вода не пригодна для питьевых целей.

Такие показатели обуславливались преимущественно взвешенными веществами, марганцем, азотом нитритов, фенолом, медью, цинком, никелем, фосфатами, азотом аммония, органическими веществами (по ХПК), нефтепродуктами и дефицитом растворенного в воде кислорода.

Хотя за последние пять лет отмечено улучшение качества воды водных объектов в основных реках и озерах, используемых населением и промышленностью Свердловской области, оно не соответствует нормативам практически во всех створах контроля [16].

Пример. Река Исеть берет начало из Исетского озера, находящегося вблизи г. Среднеуральска. При общей длине реки 606 км и площади водосбора 58 900 км² протяженность ее русла по Свердловской области составляет 191 км, где, начиная с истока, расположены девять створов контроля качества воды. Зарегулированность стока реки в верхнем течении, сбросы промышленных и хозяйственных сточных вод и поверхностный сток с загрязненной площади водосбора обусловили низкое качество воды.

Существенных изменений качества воды в р. Исеть в последнее время не происходит, и преимущественно она относится к «грязной», но особенно неблагоприятная ситуация фиксируется ниже Екатеринбурга — на участке реки, являющемся в течение многих лет наиболее загрязненным на территории области, где вода характеризуется как «экстремально грязная» и «очень грязная».

Необходимо отметить то, что р. Исеть переносит загрязняющие вещества, источником которых служит промышленность, население и сельское хозяйство Свердловской области, на территорию другого субъекта РФ (Курганской области), что необходимо учитывать при эксплуатации водных ресурсов, оценке экологической ситуации и планировании мероприятий.

Пример. Озеро Шарташ расположено на восточной окраине Екатеринбурга. Длина озера 4 км при ширине 2,5 км. Площадь зеркала составляет 7 км² при длине береговой линии 12,1 км. Средняя глубина водоема 3 м, а максимальная — 4,7 м. Мощный слой донных отложений (сапропель) загрязнен тяжелыми металлами в результате сброса вод Шарташского гранитного карьера. Водоем бессточный, его возраст составляет порядка 1 млн лет. Озерная котловина плоская, с пологими берегами и откосами и ровным дном. Питание осуществляется за счет донных ключей и поверхностного стока с площади водосбора, оцениваемой в 41 км². Последний в значительной мере участвует в формировании химического состава воды в чаше водоема. Организованный сброс сточных вод в озеро отсутствует. Поскольку частично покрытые лесом берега озера горожане используют в качестве зоны отдыха, а на другой их части расположена жилая зона (преимущественно частный сектор), эти обстоятельства способствуют ухудшению качества поверхностного стока, а следовательно, и озерной воды.

Таким образом, несмотря на неплохую водообеспеченность Свердловской области, качество вод основных поверхностных источников водоснабжения в силу антропогенного и техноген-

ного воздействий крайне низкое. Следует отметить также, что на территории области находятся верховья и средние течения рек, подверженных интенсивному загрязнению (реки Исеть, Пышма, Тура), что исходно определяет неблагоприятную ситуацию в таких соседних регионах, как Курганская и Тюменская области.

4.7. Дефицит питьевой воды

Как известно, распределение пресных вод на Земле неравномерно. Большая часть суши (около 60 %) находится в зоне недостаточного увлажнения. Это так называемые аридные (пустынные) и полуаридные, или семиаридные (полупустынные), земли. Поэтому примерно половина человечества испытывает хронический «водный голод». Ощущение «водного голода» появляется также в отдельных гумидных (увлажненных) областях, где рост народонаселения и развитие водоемких отраслей хозяйства резко повысили потребность в водных ресурсах. Например, на островах Кюрасао и Аруба в Карибском море развитие нефтяной промышленности и увеличение населения привели к значительному дефициту питьевой воды. Именно здесь появились первые опреснительные установки. Недостаток воды испытывает каждый седьмой житель США. Даже в Европе уже в обозримой перспективе просматривается угроза «водного голода», в первую очередь в таких странах, как Германия, Франция, Англия. Крайний недостаток в питьевой воде сегодня испытывают Мексика, Пакистан, Иран, Алжир и другие страны. Кстати, Алжир уже давно живет на привозной воде. Импортируют воду Саудовская Аравия и Кувейт [9].

Гонконг, с его почти пятиллионным населением, получает воду по трубопроводу из Китая. В Сингапур питьевая вода экспортируется из Малайзии. Германия планирует сооружение гигантских водоводов из Скандинавии и с Альп.

Многие крупные города мира, испытывающие дефицит воды, вынуждены переходить на нормированное водоснабжение. В США ощущают недостаток в воде более 1000 городов и крупных населенных пунктов. Многие из них периодически, особенно в засушливые годы, садятся на «голодные водные» пайки. Лишь в штате Аляска и на Гавайских островах пока не возникает проблем с водоснабжением.

В развивающихся странах положение осложняется недостаточно развитой системой водоподготовки. В сельской местности оно вообще отсутствует. Поэтому население вынуждено пользоваться для питьевых целей недоброкачественной, загрязненной водой. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в развивающихся странах лишь 20 % сельского населения можно считать полностью обеспеченными доброкачественной питьевой водой.

В Африке, в зоне Сахеля, на фоне демографического взрыва происходит катастрофическое истощение источников пресной воды. В 1968–1973 гг. здесь разразилась небывалая засуха, во время которой произошло резкое нарушение режима поверхностного стока. Мелкие и средние реки и озера пересыхали уже в самом начале сухих сезонов, а в северной части Сахеля поверхностный сток исчез совсем. Уровень грунтовых вод повсеместно снизился, что привело к пересыханию многих колодцев. В литературе высказывались мнения, что сахельская засуха, после которой годовые суммы осадков уже ни разу не достигали ранее наблюдавшихся величин в пределах многолетнего цикла, может быть свидетельством устойчивого смещения осадков к югу и начала неуклонной аридизации сахельской зоны.

Проблема чистой питьевой воды вообще характерна для африканского континента. Считается, что более 80 % заболеваний африканского населения связаны именно с загрязнением источников питьевой воды и отсутствием канализации. Доля населения (городского и сельского), обеспеченного чистой питьевой водой, составляет (по состоянию на конец XX века):

.....

в Анголе и Кении — по 30 %, в Бурунди — 26 %, в Конго и Судане — по 21 %, в Уганде — 20 %, в Гвинее — 19 %, в Мали — 17 %, в Эфиопии и Мозамбике — по 16 %.

Проблема качественного истощения питьевой воды существует и в России, несмотря на высокую степень водообеспеченности населения (30 тыс. м³/год на каждого жителя). Как показали исследования, в целом по стране около 50 % населения потребляют недоброкачественную воду. Вода, даже подаваемая через сеть коммунальных водопроводов, более чем в 20 % случаев не отвечает гигиеническим требованиям по химическим показателям и почти в 9 % случаев — по микробиологическим показателям. Это в среднем по России. Однако есть примеры, когда отклонение от стандарта по химическим показателям регистрируется в 56 % проб (Архангельская область) и даже в 80 % проб (Ульяновская область). В связи с прогрессирующим износом оборудования проблема обеспечения населения чистой питьевой водой, очевидно, будет обостряться.

В международном бизнесе питьевая вода становится важнейшим товаром. Котировка акций мировых компаний, производящих бутилированную воду, выше, чем у нефтяных компаний. Средний итальянец или француз потребляет 100 л такой воды в год. Общий рынок продаж питьевой воды оценивается в 50 млрд л в год на сумму 30 млрд долларов. Следовательно, бутилированная вода реализуется в среднем по 0,6 доллара за 1 л. Доля Российской Федерации в этом бизнесе невелика. В ближайшем будущем следует ожидать роста продаж питьевой воды. Страны Европы уже переживают следствия «тропикализации осадков», когда проявляются более частые периоды засухи и нерегулярные дожди. Трудности с водой типичны для Греции и для центральных и южных районов Испании. Испанцы активно строят плотины на реках и используют 40 % дождевой воды. Ливия уже переживает водный бум. Исчерпан запас пресных вод под Сахарой. По классификации ООН страна попадает в группу риска, если индекс эксплуатации водных ре-

сурсов, в котором учтены возобновляемые источники (дожди и реки), превышает 50 %.

Индекс эксплуатации водных ресурсов в Израиле и Ливии составляет свыше 100 %, т. е. они эксплуатируют невозобновляемые источники воды. Для Италии индекс вполне благополучен и составляет 25 %. Вероятно, что и для регионов России настало время подобного анализа. При 6 млн рек и озер на территории России 33 % ее жителей пьют неочищенную воду. Таким образом, пресная вода становится выгодным товаром. Приведем ряд проектов, связанных с продажей больших объемов пресной воды.

Известен российский проект транспортировки айсбергов гренландского и антарктического происхождения. Проект хорошо просчитан, вопрос — в инвестициях. Технические трудности, связанные с выбором айсберга, его транспортировкой и реализацией твердых и жидких продуктов, преодолимы. Для буксировки айсберга предполагается использовать российские атомные ледоколы большой мощности.

Норвежская фирма «Нордик уотер саплай» заключила контракт с Турцией на поставку в течение 10 лет на Северный Кипр питьевой воды. Стоимость контракта 30 млн норвежских крон. Вода будет набираться в Турции и транспортироваться на Северный Кипр в пластиковых мешках емкостью в 10 000 т. Мешки обладают положительной плавучестью (содержат воздух) и буксируются. Мешок очень прочен и рассчитан на 15 лет работы. «Мешочный» вариант дешевле танкерного вдвое. Авторы проекта намерены создать емкости на 30 000 и 80 000 т.

С 1996 г. ОАО «Байкальские воды» фасует и поставляет на рынок воду Байкала. Водозабор осуществляется с глубины 420 м. Чистота и прозрачность байкальской воды вне конкуренции. От фасовки в бутылки емкостью 1,5 л производители планируют перейти на фасовку в канистры. Прибыль от продажи байкальской воды гарантирована: рынок чистой воды в странах Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока оцени-

.....

вается в 1,5 трлн л в год. Но это и триллион пластиковых упаковок из-под воды. Встает проблема ликвидации тары. Более рационально транспортировать байкальскую воду трубопроводами по России, а также в Европу и некоторые страны Азии.

Проект «Байкал» решит проблему защиты озера от загрязнения, поскольку размещение промышленных производств в санитарной и водозаборной зоне противозаконно. Вокруг Байкала должны быть только заповедники. Чистая высококачественная вода необходима также лекарственной, пищевой и парфюмерной промышленности. Это новые потребители воды и новые прибыли от реализации воды. Прокладка мощного водопровода на запад и на восток от озера Байкал кардинально решит проблему чистой питьевой воды для большинства населения России. Питьевая вода значительно дороже нефти и бензина.

Хотя воды суши относятся в целом к возобновимым ресурсам, обнаруживается общая тенденция подъема уровня Мирового океана за счет пресных вод суши. Сам факт повышения уровня воды в океане наблюдается уже 80–100 лет. Так, например, за период 1900–1964 гг. в Индийском океане был зарегистрирован подъем уровня на 4 см, а в Северном Ледовитом океане — на 17 см. В остальных океанах подъем составил от 6 до 12 см. Исходя из этих данных была вычислена средняя скорость повышения уровня Мирового океана. Она оказалась равной 1,5 мм/год, что соответствует приросту объема на 650 км³/год. Величина эта немалая, если учесть, что объем воды в руслах всех рек Европы и Азии составляет 645 км³.

Одна из гипотез объяснения данного факта, которая всерьез обсуждалась специалистами, — пополнение вод океана за счет таяния полярных льдов. Оценка уменьшения объема льда на Земном шаре в результате общего повышения температуры не превосходит величину 250 км³/год. Данная оценка, впрочем, не кажется достоверной, поскольку существует противоположный процесс — аккумуляция льда в полярных областях Земли в результате осадков. Не исключено, что этот процесс преобла-

дает, даже если принять во внимание наблюдаемое уменьшение массы подземных льдов в районах вечной мерзлоты.

Вторая правдоподобная гипотеза, которая может в принципе выдвигаться, — деформация ложа Мирового океана в результате тектонических процессов. Однако регулярный характер тектонических процессов морского дна, как, впрочем, и других явлений, связанных с подъемом или опусканием земной коры на обширных территориях, проявляется обычно в течение целых геологических эпох, несоизмеримых со временем существования земной цивилизации. Фиксируемые же так называемые эвстатические движения земной коры происходят с противоположными знаками и потому не могут свидетельствовать в пользу выдвигаемой гипотезы.

Еще одним возможным объяснением наблюдаемого повышения уровня Мирового океана может служить процесс поступления воды из мантии и земной коры (ювенильные воды). Однако такой вариант объяснения сразу же отпадает, если вспомнить, что скорость поступления ювенильных вод в гидросферу составляет всего $1 \text{ км}^3/\text{год}$, а по самым оптимистическим оценкам — около $4 \text{ км}^3/\text{год}$.

Известный ученый-географ А. М. Алпатов [22] предлагает регулярное повышение уровня океана объяснять постепенным иссушением континентов, обусловленным антропогенными факторами. Среди этих факторов главным является откачка подземных вод. Вода в конечном счете переходит с суши в океан. К этому количеству необходимо добавить объем $80\text{--}100 \text{ км}^3/\text{год}$, который (по наблюдениям) соответствует падению уровня бессточных водоемов. Это второй фактор, который характеризует общую картину иссушения континентов. Остающиеся $30\text{--}50 \text{ км}^3/\text{год}$ (до величины $650 \text{ км}^3/\text{год}$) можно было бы объяснить процессом уменьшения запасов воды в подземных льдах в районах вечной мерзлоты.

Таким образом, из-за нарушения водообмена между сушей и океаном по причинам антропогенного характера мы еже-

годно теряем около 650 км^3 пресной воды. В настоящее время поступление пресной воды в океан оценивается величиной $1630 \text{ км}^3/\text{год}$. Но при этом не учитываются безвозвратные потери воды вследствие дополнительного испарения на суше. Между тем эти потери за последние 30–35 лет возросли как минимум в два раза.

Для того чтобы с уверенностью судить о том, насколько в будущем может быть нарушен равновесный водообмен между сушей и океаном и как далеко пойдет процесс иссушения континентов, нужно учесть целый ряд фактов. Прежде всего нужно знать последствия безвозвратных потерь воды на дополнительное испарение для различных звеньев влагооборота. Одним из таких последствий будет уменьшение стока в океан, что приведет к торможению подъема его уровня. С другой стороны, дополнительное испарение (особенно в связи с ожидаемым потеплением климата) вызовет дополнительные осадки, которые, напротив, будут способствовать увеличению стока. Рассчитать общий итог не так-то просто, в т. ч. из-за трудностей климатических прогнозов.

Существует и еще один важный момент, который усложняет прогноз, — изменение водообмена между океаном и атмосферой, обусловленное загрязнением поверхности океана (прежде всего нефтяной пленкой) и соответствующим уменьшением испарения. Уменьшение это может достигать величины $5000 \text{ км}^3/\text{год}$. Данный фактор будет способствовать нарастанию тенденций иссушения континентов, снижая поверхностный сток. Но тогда резко возрастет потребность в эксплуатации подземных вод, которые, как известно, возобновляются очень медленно. В целом ситуация с пресной водой на нашей планете складывается не лучшим образом, что не может не вызывать тревогу. К 2100 г. запасы пресной воды на Земле могут быть исчерпаны.

Практически единственным источником всей пресной воды на Земле является влага, испаряющаяся с поверхности Мирово-

го океана. Объем ежегодного испарения — 505 тыс. км³, что составляет 1/2500 долю общего объема воды в океане. Вся эта испарившаяся влага, в конце концов, снова возвращается в океан в виде осадков и речного стока. Таким образом, океанические воды возобновляются приблизительно каждые 2500 лет. Возобновление воды, хотя и гораздо медленнее, происходит в полярных и подземных льдах — за 10 тыс. лет. Горные ледники, сползающие по склонам со скоростью около 1 м в сутки, обновляются значительно быстрее — 1600 лет. Водообмен глубоких подземных вод происходит еще быстрее — 1400 лет.

Водообмен поверхностных вод гораздо более активен. Так, например, в озерах полная смена водной массы происходит за 17 лет, а в болотах и почве — за 5 лет и 1 год соответственно. Наиболее подвижной среди прочих поверхностных вод является вода в руслах рек. Здесь скорость водообмена составляет всего лишь 16 дней. Вдвое быстрее происходит влагооборот в атмосфере. Атмосферная влага обновляется в среднем каждые 8 дней. Однако безусловный рекордсмен по активности водообмена — биологическая вода. Полная ее замена в живых организмах происходит всего за несколько часов.

Для растений важную роль в процессе водного обмена играет так называемая транспирация влаги — испарение воды через листовую поверхность. Например, взрослые деревья лиственных пород (клен, ива, ольха) испаряют за вегетационный период 12–15 тыс. м³ влаги с 1 га площади. Даже пшеничное поле за период вегетации испаряет примерно 2 тыс. м³/га. В целом на транспирацию воды растениями расходуется до 30 тыс. км³ воды в год, что составляет 40 % испарения со всей суши.

Ежегодно возобновляемые запасы пресной воды формируются почти исключительно речным стоком. Ежегодно возобновляемые запасы подземных вод в связи с их низкой активностью водообмена более чем на порядок меньше. Поэтому на порядок меньше должно быть и их потребление. Иначе объем подземных вод начнет истощаться подобно иным минеральным ресурсам.

России истощение водных ресурсов в целом пока не грозит. Помимо речного стока более 4 тыс. км³ в год она располагает возобновляемыми запасами подземных вод в объеме 114,8 км³ в год. Между тем прогноз водопотребления на начало XXI века для всей территории бывшего СССР определяется цифрой 620 км³ в год и для России вряд ли будет больше 400 км³ в год. Главная наша беда — не количественное, а качественное истощение водных источников. Поэтому забота о чистоте озер и рек, а также подземных вод остается важнейшей. К тому же следует иметь в виду крайнюю неравномерность в распределении водных ресурсов и их потребителей на территории страны.

4.8. Основные направления водопользования

Различают два вида использования водных ресурсов: водопользование с изъятием воды из источников (водопотребление) и водопользование без изъятия воды из источников, каким является, например, гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство и т. д. [22]. В промышленности вода служит необходимым технологическим фактором при разбавлении, растворении, выщелачивании, кристаллизации, омылении, охлаждении, промывке и других процессах. Производство любой продукции можно характеризовать показателем водоемкости. Например, водоемкость производства стали оценивается величиной 250 м³/т, пластмассы — 500–1000 м³/т, целлюлозы — 1500 м³/т. Одной из наиболее водоемких отраслей является производство синтетического волокна. Водоемкость этого производства может достигать до 5000 м³/т. Крупнейший потребитель воды — теплоэнергетика. Тепловая электростанция (ТЭС) мощностью 1 млн кВт потребляет около 1,4 км³ воды в год (на выработку пара и для охлаждения агрегатов), что равняется примерно 10 % стока такой реки, как Кубань. Поэтому ТЭС большой мощности сооружают обычно вблизи крупных рек и водоемов.

И все же основным потребителем воды в структуре современного производства является сельское хозяйство. К тому же сельскохозяйственное водопотребление на 75 % является безвозвратным, т. е. три четверти всего объема используемой воды безвозвратно теряется за счет испарения. Для сравнения: в промышленности безвозвратное водопотребление составляет около 12 %. Почти 90 % воды в сельском хозяйстве идет на орошение земель. Для орошения 1 га сельскохозяйственных угодий на весь период вегетации требуется 8–12 тыс. м³ воды. По данным на 2010 г., общая площадь орошаемых земель мира оценивается в 450 млн га. Отсюда нетрудно подсчитать, что общий расход воды на орошение в мировом сельскохозяйственном производстве составляет около 2400 км³ в год. Это почти 80 % стока всех рек Европы. В обозримой перспективе площадь орошаемых земель увеличится, по-видимому, до 500 млн га и, следовательно, расход воды на орошение достигнет величины порядка 5000 км³ в год, т. е. около 12 % мирового речного стока.

В России из-за повышенного расхода воды на орошение в пределах водосбросного бассейна Азовского моря последнее стало более соленым, что привело к существенному снижению его рыбопродуктивности. Как показали расчеты, более трети объема речного стока в бассейне Дона забирается на орошение. Такая же картина наблюдается и в бассейне Кубани.

Любой крупный город, оборудованный водопроводом и канализацией, расходует 300–600 л воды в сутки на каждого жителя. Примерно одна треть этого количества идет на удовлетворение личных потребностей человека, одна шестая часть — на работу общественных коммунальных предприятий, еще одна шестая — для поддержания чистоты в городе. Оставшаяся треть суточного расхода воды потребляется предприятиями города.

Важно подчеркнуть, что сфера коммунально-бытового водопотребления предъявляет чрезвычайно высокие требования к качеству воды и к стабильности ее подачи.

Водный кодекс РФ предоставляет каждому право пользоваться водными объектами общего пользования и иными водными объектами на праве установленного Кодексом публичного водного сервитута для забора воды без применения сооружений, технических средств и устройств, для водопоя и прогона скота и ряда иных целей. Такое водопользование, не требующее принятия уполномоченными на то органами специальных решений и получения разрешения (лицензий), можно назвать общим водопользованием. Водопользование, которое осуществляется на основании специально выданных разрешений (лицензий), называют специальным водопользованием [22].

Пример. Вода является важнейшим компонентом окружающей природной среды, возобновляемым, ограниченным и уязвимым природным ресурсом, используется и охраняется в Российской Федерации как основа жизни и деятельности народов, проживающих на ее территории, обеспечивает экономическое, социальное, экологическое благополучие населения, существование животного и растительного мира.

Под водным фондом понимается вся совокупность водных объектов в пределах территории Российской Федерации, включенных или подлежащих включению в Государственный водный кадастр. В зависимости от физико-географических, гидрорежимных и других признаков водные объекты подразделяются:

- на поверхностные водные объекты, в том числе поверхностные водотоки и водохранилища на них, поверхностные водоемы, ледники и снежники;
- внутренние морские воды, расположенные в сторону берега от исходных линий для отсчета ширины территориального моря Российской Федерации;
- территориальное море Российской Федерации, т. е. прибрежные морские воды шириной 12 морских миль, отмеряемых в соответствии с нормами международного права и законодательством Российской Федерации;

- подземные водные объекты, к которым отнесены водоносные горизонты, бассейны подземных вод, месторождения подземных вод и естественные выходы подземных вод.

Водные объекты классифицируются на водные объекты:

- общего пользования, находящиеся в общедоступном, открытом пользовании;
- специального пользования, которыми пользуется ограниченный круг лиц.

Водным кодексом Российской Федерации установлено понятие «специальное водопользование». К специальному водопользованию относится пользование водными объектами или их частью в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, здравоохранения, промышленности и энергетики, сельского хозяйства, гидроэнергетики, рекреации, транспорта, строительства, рыбного хозяйства, охотничьего хозяйства, лесосплава, добычи подземных вод, полезных ископаемых, торфа и сапропеля, а также для иных целей, если указанные цели водопользования осуществляются с применением следующих сооружений, технических средств и устройств:

- стационарных передвижных и плавучих сооружений по механическому и самотечному забору воды из водных объектов;
- водоотводящих сооружений, предназначенных для сброса (закачки) в водные объекты, в том числе подземные, промышленных, коммунально-бытовых, коллекторно-дренажных, ливневых и других сточных вод, а также вод, откачиваемых из шахт, карьеров, разрезов;
- комплекса сооружений порта, в том числе для подхода, стоянки, загрузки, разгрузки и обслуживания судов, посадки и высадки пассажиров, ремонта, отстоя, технического осмотра судов и иных плавучих объектов;
- плотин, шлюзов-регуляторов и других водорегулирующих сооружений (в том числе временных перегораживающих сооружений);

- гидравлических электростанций (приплотинных, деривационных, приливных, гидроаккумулирующих);
- организованных пляжей, причалов для яхт, маломерных судов, водных мотоциклов и других технических средств отдыха на воде, а также других сооружений и устройств, предназначенных для рекреационных и оздоровительных целей;
- платформ и искусственных островов;
- оросительных, обводнительных и оросительно-обводнительных мелиоративных систем;
- водохозяйственных сооружений тепловых станций и атомных электростанций, предприятий ядерного топливного цикла, предназначенных для водоснабжения, сброса отработанных вод, а также для охлаждения;
- землеройной, буровой, грузоподъемной, другой спецплавтехники при выполнении строительно-монтажных, изыскательских, дноуглубительных, разгрузочно-погрузочных работ (кроме транспортных и по предотвращению вредного воздействия вод), строительства и эксплуатации сооружений, подводных коммуникаций, прокладки кабелей, строительства мостов, подводных переходов газопроводов, продуктопроводов и других работ, при добыче полезных ископаемых из недр, торфа и сапропеля со дна водного объекта;
- судов и других плавательных средств (кроме маломерных), используемых в транспортных целях.

Необходимость регулирования водных ресурсов возникает в связи с задачей надежного водоснабжения хозяйственных систем в условиях сезонной или многолетней неравномерности стока. Из-за сведения лесов, выполняющих, как известно, водорегулирующую функцию, фактор неравномерности стал еще более существен. Регулирование водных ресурсов достигается с помощью специальных гидротехнических сооружений (плотин, дамб, каналов и т. д.) и разнообразных мероприятий (ис-

кусственного лесоразведения, изменения формометрических элементов рек и т. д.).

В мире существует огромное количество искусственно созданных водохранилищ и водоемов с искусственно поднятым в них уровнем воды. В России находится несколько десятков зарегулированных озер, в том числе средних и крупных, таких как Ильмень, Выгозеро, Белое, Онежское и т. д. Зарегулирован даже — Байкал, содержащий более 98 % всех пресных поверхностных вод страны. С постройкой ГЭС на Ангаре (Иркутская ГЭС) уровень Байкала, из которого вытекает Ангара, повысился на 1,1 м.

Крупные водохранилища созданы на Волге, Каме, Днепре, Дону, Иртыше, Енисее и других реках. Из водохранилищ объемом более 100 млн м³ (статистика водохранилищ меньшего объема отсутствует) 91 водохранилище приходится на европейскую часть России (включая Уральский экономический район) и лишь 11 водохранилищ — на Сибирский и Дальневосточный регионы. Тем не менее по общему объему водохранилищ азиатская часть России оказывается на первом месте (387,1 км³), европейская часть — на втором (305,1 км³). В шести водохранилищах одного только Восточно-Сибирского региона содержится 273,4 км³ воды с полезным бъемом 144,8 км³.

Экологическая ценность водохранилищ состоит прежде всего в том, что они увеличивают устойчивый речной сток на 20—30 %. Это дает возможность без существенных издержек для гидроэнергетики решать вопросы водоснабжения, орошаемого земледелия, рыбного хозяйства, борьбы с наводнениями, а также вопросы туризма и спорта.

Характерная для водных ресурсов неравномерность территориального распределения наводит гидрологов на мысль о целесообразности перераспределения речного стока. Данный вид регулирования водных ресурсов требует обычно строительства каналов. Несмотря на огромную трудоемкость такого строительства, опыт переброски речных стоков накоплен в целом ряде

стран и имеет давнюю историю. Известно, например, что в Индии более чем 500 лет назад были построены каналы для переброски стекающих с Гималаев вод в штаты Пенджаб, Уттар-Прадеш и Раджастхан. США: в 1842–1904 гг. была построена система переброски стока для Нью-Йорка из реки Кротон. Протяженность канала составила 250 км. На сегодняшний день самым впечатляющим примером межбассейновой переброски стока является Каракумский канал. Одним из примеров межбассейнового перераспределения водных ресурсов может служить переброска стока из реки Мста в бассейн реки Тверца, осуществленная в XVIII веке в России. Его протяженность — 760 км, годовое количество перебрасываемой воды — 7,8 км³. Рекой-донором является Амударья, основным потребителем воды — сельское хозяйство.

Следует отметить, что с увеличением масштабов проектов территориального перераспределения водных ресурсов повсюду нарастает сопротивление общественности реализации таких проектов. Известный американский специалист по проблемам регулирования водных ресурсов А. К. Бисвас вынужден был признать, что с конца 1960-х годов противодействие крупным проектам переброски стоков в США нарастает в связи с широкой озабоченностью общественности проблемами охраны окружающей среды. Он считает сомнительным, что такие проекты будут реализованы в ближайшем будущем.

Задачи регулирования водных ресурсов должны решаться с максимальной осторожностью (это особенно касается крупных проектов) и по возможности опираться на естественные силы и особенности самих природных систем. Например, в Каракумах туркменами издавна практиковался способ удержания поверхностного стока методом его магазинирования. Способ этот состоял в следующем: формируемый на глинистых участках пустыни (так называемых такырах) поверхностный сток направляется в вырытые колодцы, через которые вода поступает под землю, образуя там линзы пресной воды. Этой воде уже не угрожает испарение.

В будущем регулирование водных ресурсов путем создания подземных водохранилищ станет, видимо, довольно распространенным. Подземные воды менее подвержены загрязнению. К тому же отпадает необходимость в затоплении территорий. В целом преимущество подземных водохранилищ по сравнению с поверхностными не вызывает сомнений.

4.9. Стратегическое значение водных ресурсов

Анализ тенденций роста водопотребления в мире, доступных ресурсов пресной воды и динамики потерь таких ресурсов вследствие антропогенных причин приводит к весьма тревожным выводам [22].

Если экстраполировать существующие тенденции, то поднимающиеся кривые глобального потребления пресной воды (при различных, но качественно сходных сценариях) пересекаются с кривой ее доступных ресурсов (падающей вследствие значительности потерь) в интервале 2030—2040 гг. Реально равенства глобального водопотребления глобальным ресурсам быть не может. Поэтому в третьем десятилетии XXI века цивилизация подойдет к беспрецедентному водному кризису, если не будут предприняты экстренные радикальные меры по его предотвращению, отказ от развития «как обычно» (as usual). Уже сейчас острейший водный дефицит испытывают страны с населением не менее 3 млрд человек, для цивилизации это станет дестабилизирующим фактором, по силе сопоставимым с мировой войной.

Необходимо переломить как первую из негативных тенденций — увеличение потерь доступных водных ресурсов, так и вторую — рост их потребления. Для преодоления первой тенденции требуются меры по охране вод — эта тема достаточно активно обсуждается в последние годы. Проблема изменения второй тенденции обычно трактуется упрощенно — ее сводят лишь

к широкому распространению водосберегающих технологий и всевозможным иным мерам по экономии воды. При всей исключительной важности этого аспекта существует и другой, который должен особенно интересовать страны, богатые водными ресурсами, в том числе Россию.

Во многих странах дефицит пресной воды обусловлен высокой водоемкостью многих массовых продуктов, производимых в современном хозяйстве. Так, теплоэлектростанция мощностью 1 млн кВт потребляет более 1 км³ воды. Средний расход воды на производство 1 т стали — около 20 м³, 1 т бумаги — 200 м³, 1 т химического волокна — более 4000 м³. Импорт 1 т зерна эквивалентен импорту 1000 м³ воды. Для стран, испытывающих водный голод, наиболее эффективным способом импорта воды становится импорт зерна при его нынешних ценах. Северная Африка, где дефицит воды быстро усиливается в связи с ее ограниченными ресурсами и ростом населения, стала регионом с наиболее быстро растущим импортом зерна. По затратам воды на его производство импорт зерна в страны Северной Африки и Ближнего Востока эквивалентен среднегодовому стоку реки Нил. Возникает естественный вопрос: не следует ли в водоемких странах целенаправленно перестраивать структуру реального сектора экономики таким образом, чтобы по возможности снижать долю производств, характеризующихся высокой водоемкостью, в пользу маловодоемких? Конечно, если бы цена воды была адекватной ее подлинной стоимости с учетом относительно далекой перспективы (20–25 лет), об этом позаботился бы рынок. Однако рыночная цена практически никогда не учитывает долгосрочных аспектов, рынок близорук, и, ориентируя хозяйствующих субъектов на краткосрочные цели и экстенсивные способы удовлетворения потребностей в ресурсах, в том числе в воде, он способствует не предотвращению будущего кризиса, а его приближению.

Такая ситуация дает привлекательный шанс России. Перестройка структуры мировой экономики под давлением угрозы

глобального водного кризиса формирует исключительно благоприятные условия для водообеспеченных стран, поскольку неизбежен рост спроса и цен на водоемкую продукцию. Рынки воды всегда будут не более чем региональными, поскольку показатель транспортности воды претерпевает резкий скачок при пересечении границы бассейна, так что смягчение дефицита воды в странах, где он уже имеет место и будет все больше усиливаться, возможно либо за счет водосберегающих технологий, либо благодаря отказу от производства водоемкой продукции и замещению ее импортом. Соответственно экспортеры такой продукции оказываются в положении, аналогичном тому, которое обеспечивает благоденствие нынешних экспортеров нефти. Однако воспользоваться этим шансом можно будет только при условии серьезной подготовки к развитию экспортных водоемких производств. Одна из важнейших стратегических задач управления развитием российской экономики состоит в том, чтобы определить, какие отрасли наиболее перспективны в этом аспекте, создать благоприятные условия для их развития, синхронизированного с ожидаемыми неизбежными сдвигами на мировом рынке. Нам очень трудно преодолеть растущее отставание от постиндустриальных стран в высокотехнологичных производствах, так что, вполне вероятно, именно производство водоемкой продукции станет доминирующим направлением для российской экономики в «постнефтяной» период.

Американский геохимик Хорн пишет: «В не очень отдаленном будущем наиболее важным химическим веществом, добываемым из океана, может стать пресная вода... В одной кубической миле морской воды содержится пресной воды на сумму 10^{10} долларов, а золота всего на сумму 10^5 долларов. Золото — роскошь, а без воды мы погибнем» [31]. С ростом численности населения и продолжением промышленного развития конкуренция за воду будет усиливаться. Ожидается, что к 2025 г. в большей части Африки, Европы и Южной Азии население бу-

дет испытывать дефицит воды. Китай и юг Северной Америки будут находиться в состоянии стресса. Прогнозы показывают, что промышленные мощности необходимо размещать только в тех регионах, где есть достаточное количество воды.

Маловероятно, что какие-либо ресурсы исчезнут совсем. Поскольку они станут дефицитными, цена на них станет высокой и их использование будет падать. Действительно, существует реальная возможность, что ограниченно распространенные ресурсы в течение нескольких последних десятилетий станут достаточно дефицитными, а их возросшая цена вызовет новый всплеск природоохранных мер и более разумного использования. Чаще всего нерационально используют энергоносители и пресную воду.

Большинство промышленных технологий используют пресную воду. Особенно интенсивно потребляют воду технологии синтеза химических веществ, добычи и переработки металла. Однако если оценивать удельное водопотребление (количество воды на единицу произведенной продукции), то на одно из первых мест выходит такой сектор промышленности, как электроника. Так, добыча руды для производства металла требует около 5 г воды на 1 г перерабатываемой руды, а производство компьютерного чипа требует около 1000 г воды на 1 г конечного произведенного продукта.

Воде принадлежит важнейшая роль в формировании всего живого вещества планеты. Являясь универсальным естественным растворителем, она «гомогенизирует» в своем составе все необходимые питательные вещества и обеспечивает ими клетки живых организмов. От того, какой состав имеет вода, такое питание будет принесено живым системам. То ли это вода, лишенная загрязняющих веществ, то ли это опасный химический раствор для живого вещества.

В целом ряде развитых стран использование воды для промышленных целей падает. Например, в США за 10 последних лет промышленное водопотребление сократилось более чем

на 30 %, в то же время в Китае использование воды увеличилось приблизительно на 12 %. Развивающиеся страны сталкиваются с проблемой нехватки воды для промышленных целей, поскольку в первую очередь вода необходима для поддержания жизни растущей численности населения. Поэтому разработка и внедрение промышленных технологий с небольшим водопотреблением является для таких стран важнейшим приоритетом.

Особые требования предъявляются к водохозяйственным системам, функционирующим в сфере коммунального хозяйства. В этой сфере важно добиться высокого качества воды и стабильности ее подачи. В сельских районах высокое качество хозяйственно-питьевой воды, если загрязнены поверхностные источники, может быть обеспечено только одним способом: вода извлекается из подземных горизонтов. Около 85 % всего забора воды на хозяйственно-бытовые нужды сельских поселений приходится на подземные воды. В настоящее время эксплуатируется около 1 млн шахтных колодцев и порядка 300 тыс. буровых скважин.

В городах, особенно крупных, действуют достаточно сложные технологические схемы водоподготовки. В ее процессе из воды удаляются взвешенные частицы методом осаждения, затем применяется фильтрование. Обе процедуры могут осуществляться либо с использованием реагентов, либо без таковых. Схема включает в себя также установки для обеззараживания воды. Осаждение и фильтрование могут осуществляться (при необходимости) в несколько ступеней.

4.10. Современные решения по очистке природных вод

Современные тенденции в области очистки природных вод сводятся к следующим моментам [14].

1. Все более широко на водопроводных станциях применяется оксихлорид алюминия (ОХА) различных марок. Пре-

имущества оксихлорида известны, однако в ряде случаев в зависимости от качества природной воды выбирается наиболее оптимальный для конкретных условий коагулянт. На ряде водоочистных станций в настоящее время для обработки воды используют два коагулянта (сульфат алюминия и оксихлорид алюминия).

Как установлено исследованиями и опытом эксплуатации очистных сооружений, при сравнительно низких значениях перманганатной окисляемости (до 12 мг O_2 /л) целесообразно применять ОХА, при этом доза его может быть уменьшена по сравнению с дозой сульфата алюминия максимум на 25–30 % (в среднем на 15–20 %) при одинаковом качестве очищенной воды. При повышенных значениях перманганатной окисляемости исходной воды увеличивается необходимая доза реагентов, и в этом случае более эффективным при очистке воды является сульфат алюминия.

ОХА позволяет получать питьевую воду, более качественную по остаточному алюминию и в отдельные периоды года по показателю перманганатной окисляемости. Поэтому можно было бы перейти на использование для очистки воды одного ОХА, но экономически это будет нецелесообразно. В то же время применение на станции двух коагулянтов позволяет не только осуществлять более гибко технологический процесс очистки воды, но также существенно повышает надежность работы станции, так как имеется резерв для обеспечения необходимого качества воды во все периоды года.

Ассортимент имеющихся флокулянтов (катионного и анионного типа, органических коагулянтов) огромен. Поэтому одной из задач повышения надежности реагентной обработки является выбор наиболее эффективного флокулянта.

2. Существенное влияние на процесс очистки воды оказывают условия смешения реагентов с водой. Для интенсификации процессов смешения целесообразно применение механических устройств для обеспечения быстрого смешения в смесителях

и медленного в камерах хлопьеобразования. Такие решения реализованы для водопроводов Ярославля и Калининграда, что позволило существенно повысить эффективность отстаивания воды, сократить дозы коагулянта и повысить качество питьевой воды.

3. В отечественной практике необоснованно забыт метод очистки воды напорной флотацией, широко используемый в скандинавских странах и в странах Западной Европы. Флотация только начинает находить применение в Калининграде, Сыктывкаре.

4. Для очистки воды от антропогенных загрязнений в мировой практике применяется озонирование (на сотнях водопроводных станций). Перспективны технологии совместного применения озона, УФ-облучения, пероксида водорода. При этом наиболее эффективным является применение озона в сочетании с заключительной сорбционной очисткой на активных углях. Озонсорбционная технология обеспечивает практически полное изъятие из воды органических загрязнений.

В России применение озонирования воды неизменно расширяется, а применение сорбционной ступени очистки используется в единичных случаях, в частности на Рублевской водопроводной станции, на водопроводе Нефтеюганска при обработке подземных вод. Такие решения заложены в проектах Окского водозабора Калуги, московских водопроводных станциях и др.

5. Начинают применяться в отечественных технологиях на крупных водопроводных станциях мембранные методы очистки воды, которые ранее использовались для опреснения и удаления избыточных концентраций металлов, солей жесткости и органических загрязнений для станций небольшой производительности и малых водоочистных установок. Ведется подготовка к использованию ультрафильтрации на Юго-Западной станции Москвы.

6. Большие трудности существуют при очистке подземных вод, содержащих высокие концентрации железа, органические

загрязнения природного и антропогенного происхождения. Очистка таких вод также должна осуществляться с использованием реагентов, а в некоторых случаях с применением озона и активного угля.

7. На многих водопроводных станциях ставятся и решаются вопросы очистки промывных вод и образующихся в процессе подготовки питьевой воды осадков. Полностью эти вопросы решены на некоторых водопроводных станциях г. Москвы, Вологды, Екатеринбурга и других городов.

8. Проблема обеззараживания воды решается в различных направлениях с использованием методов УФ-облучения, озонирования; применением хлорсодержащих реагентов: хлора, диоксида хлора и гипохлорита натрия.

В последние годы находит распространение на крупных водоочистных станциях гипохлорит натрия, обладающий очевидными преимуществами по сравнению с другими методами обеззараживания:

- технический (или химический) гипохлорит натрия применен на водопроводной станции Кемерово и в 10 городах и поселках Кемеровской области;
- электролитический гипохлорит натрия, получаемый путем электролиза из растворов поваренной соли, используют на многих водопроводных станциях, в том числе для станций производительностью до 100 тыс. м³/сут;
- электролитический гипохлорит натрия, получаемый путем электролиза подземных минерализованных вод, применен в проекте Окского водозабора Калуги.

5. Охрана водных ресурсов от загрязнения и истощения

5.1. Промышленные сточные воды

Многообразие гидрометаллургических производств, отраслей промышленности, огромное число продуктов (исходных, промежуточных и конечных), применяемых и получаемых в технологических процессах, обуславливает образование сточных вод самого различного состава и с различными физико-химическими свойствами.

Поскольку основным средством, которое позволяет сократить сброс сточных вод в водоемы, является повторное использование их в системе оборотного водоснабжения, на первом этапе изучения жидких отходов должна применяться классификация сточных вод того или иного предприятия по принципу допустимости их использования в оборотном водоснабжении. С этой точки зрения сточные воды могут быть разделены на две группы.

Группа А — это сточные воды, приемлемые для общей системы оборотного водоснабжения, т. е. сточные воды, не содержащие растворенные нелетучие соли, кислоты и щелочи и загрязненные только такими органическими веществами, которые легко окисляются непосредственно кислородом воздуха или с помощью микроорганизмов.

К этой группе относятся сточные воды от охлаждения поверхностных холодильников и конденсаторов, сальников насо-

сов и других узлов различных машин, конденсаты от паровых инжекторов, конденсаты от перегонки водяным паром, отстойные воды дистиллятных продуктов и др. Воды этого типа могут сбрасываться в коллектор оборотных вод непосредственно на технологических установках через местные отстойники. К этой же группе могут быть отнесены также сточные воды, образующиеся периодически с переменной концентрацией загрязнений, с возможным содержанием твердых взвесей, например дождевые стоки, воды от смыва полов помещений и технологических площадок, некоторые воды от промывки аппаратуры. Воды этого типа должны направляться в систему оборотного водоснабжения через отстойники — усреднители с большим временем отстоя.

Группа Б — это сточные воды, которые не могут быть направлены в общую систему оборотного водоснабжения. Эти воды обычно загрязнены нелетучими солями, кислотами и щелочами, а также органическими веществами, обладающими повышенной растворимостью в воде или устойчивостью к окислению непосредственно кислородом воздуха или микроорганизмами. Сточные воды этой группы по составу загрязнителей и характеру действия их на водоемы и водные организмы разделяются на четыре типа [3]:

- 1) содержащие неорганические примеси со специфическими токсическими свойствами;
- 2) содержащие неорганические примеси без специфических токсических свойств;
- 3) содержащие органические примеси со специфическими токсическими свойствами;
- 4) содержащие органические примеси без специфических токсических свойств.

К первому типу относятся сточные воды содовых, серноокислотных, азотнотуковых заводов, заводов черной металлургии, машиностроительных предприятий, фабрик обогащения свинцовых, цинковых, никелевых и других руд и т. п. Основные за-

грязнители этих вод — растворимые и малорастворимые неорганические вещества (соли, кислоты, щелочи, мышьяк, медь, свинец и другие тяжелые металлы, оксиды и гидроксиды металлов, фториды, сульфаты, фосфаты), многие из которых обладают токсическими свойствами.

Под влиянием сточных вод первого типа изменяются цвет, прозрачность, вкус и запах воды, на дне водоемов появляются отложения нерастворимых осадков, что затрудняет развитие донной фауны. Взвешенные вещества забивают и повреждают жабры рыб. В ряде случаев происходит засоление водоемов, изменение физико-химических свойств воды, отравление водных организмов сероводородом, мышьяком и другими токсическими веществами. Особое место среди данных сточных вод занимают воды, загрязненные радиоактивными веществами. Они образуются при выщелачивании и растворении радиоактивных минералов при добыче и промывке руд, на атомных станциях, на предприятиях по изготовлению и регенерации тепловыделяющих элементов, в медицинских учреждениях. В источниках водоснабжения могут присутствовать такие радионуклиды, как ^{10}Be , ^{14}C , ^{24}Na , ^{27}Mg , ^{40}K , ^{87}Rb , ^{89}Sr , ^{91}Y , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{226}Ra , ^{232}U и др.

Сточные воды второго типа сбрасываются в основном углеобогадательными фабриками, рудообогадательными фабриками кварцевых и марганцевых руд и др. Основными загрязнителями здесь являются взвешенные минеральные вещества и мелкие частицы пустой породы. Влияние их на водоемы и водные организмы аналогично сточным водам первого типа, но они менее вредны.

К третьему типу сточных вод относятся промышленные стоки химических, коксохимических, газосланцевых, нефтеперерабатывающих, гидролизных, лесохимических и целлюлозно-бумажных предприятий, производств основного органического и нефтехимического синтеза, синтетических смол, полимеров, синтетических волокон, а также камвольных, жи-

ровых и мясокомбинатов. Наряду с нетоксичными загрязнениями, они содержат ядовитые вещества: красители, смолы, фенолы, спирты, альдегиды, кетоны, нефтепродукты, сернистые соединения, ароматические соединения, жирные кислоты, масла, ПАВ, ВМВ и др. Эти сточные воды влияют на водоем аналогично водам первого типа, но более значительно. Они снижают содержание кислорода в воде, увеличивают ее окисляемость и БПК. Часто такие стоки содержат ядовитые вещества с резким неприятным запахом. Многие сточные воды химических производств имеют интенсивную окраску, наличие же в них ПАВ обуславливает сильное теплообразование.

И, наконец, к четвертому типу сточных вод относятся стоки микробиологической промышленности, дрожжевых, пивоваренных, картофеля-крахмальных, сахарных и других заводов. Основные загрязнители их — это нетоксичные органические вещества. Однако они небезвредны для водоемов. Эти вещества поглощают растворенный в воде кислород и создают его дефицит. Кроме того, органические загрязнители под действием бактерий, грибков и простейших претерпевают биохимические превращения с выделением часто газообразных ядовитых продуктов распада (сероводорода, аммиака, метана и др.).

Определенную информацию и пользу приносит предложенная классификация сточных вод в зависимости от места их образования в технологическом процессе. В соответствии с ней сточные воды подразделяются на следующие типы:

1. Реакционные воды — характерны для реакций, идущих с участием воды. Они всегда загрязнены исходными веществами и продуктами реакций. Эти сточные воды весьма сложны для их переработки.

2. Воды, содержащиеся в сырье и исходных продуктах (свободная или связанная вода). В процессе переработки сырья стоки в основном загрязняются органическими веществами. Например, в результате термообработки горючих сланцев образуются сточные воды, содержащие фенолы, альдегиды и т. п.

3. Промывные воды — образуются в результате промывки сырья, продуктов или полупродуктов.

4. Маточные водные растворы — образуются при проведении технологических процессов получения или переработки продуктов в водных растворах.

5. Водные экстракты и абсорбционные жидкости — образуются в случаях использования воды в качестве экстрагента или абсорбента. Эти сточные воды могут содержать большое количество различных химических веществ.

6. Охлаждающие воды — образуются в процессах охлаждения продуктов и ряда оборудования.

Кроме описанных выше классификаций сточных вод существуют и другие, например по степени их загрязненности, активной реакции среды и т. п. Однако подобные классификации, несмотря на их несомненную пользу при оценке состава и свойств отдельных видов стоков, не позволяют провести систематизацию примесей сточных вод для последующей разработки принципов выбора эффективных схем очистки. С этой точки зрения наиболее приемлемой является классификация, предложенная Л. А. Кульским. Им было отмечено, что особенности физико-химического поведения компонентов воды, имеющие значение при выборе методов их удаления, обусловлены в основном их фазовым состоянием и дисперсностью. Исходя из этого, все примеси сточных вод по их отношению к дисперсной среде были разделены на четыре группы. Это разделение базировалось на следующих основных принципах:

1) фазово-дисперсная характеристика веществ с учетом их химических особенностей определяет в полной мере поведение этих соединений в водной среде и их отношение к вводимым в воду реагентам;

2) сопоставление методов, используемых на практике для очистки воды от различных загрязнений, находящихся в разных фазово-дисперсных состояниях, показало, что каждому та-

кому состоянию примесей соответствуют определенные технологические приемы и методы удаления;

3) способность многих веществ в водной среде изменять свое фазово-дисперсное состояние под влиянием физико-химических факторов, таких как рН, солевой состав, температура, открывает возможность широко варьировать технологические приемы и методы регулирования процессов обработки воды;

4) влияние форм примесей, находящихся в воде, на характер протекающих в ней физико-химических процессов дает возможность использовать реакции, присущие ионным, молекулярным и коллоидным системам, а также взвесям, для очистки воды от этих примесей. Систематизация веществ по этим признакам позволяет все загрязнения природных и промышленных вод свести к нескольким группам, принадлежность к которым уже предопределяет технологию водоочистки.

Группа I представляет собой нерастворимые в воде примеси с величиной частиц 10^{-4} см и больше. В состав этой группы входят глинистые вещества, карбонатные породы, ил, мелкий песок, взвеси органических веществ, планктон и т. д.

Группа II объединяет гидрофильные и гидрофобные коллоиды, а также высокомолекулярные вещества с размером частиц 10^{-5} – 10^{-6} см. Сюда относятся в основном коллоидные, минеральные и органо-минеральные частицы почв и грунтов, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, которые придают воде окраску.

Группа III объединяет растворенные в воде газы и молекулярно растворимые органические соединения как биологического происхождения, так и вносимые со стоками промышленных предприятий и населенных пунктов. Дисперсность веществ этой группы составляет 10^{-6} – 10^{-7} см. Это в основном растворы неэлектролитов.

Группа IV объединяет вещества, диссоциирующие на ионы (электролиты). Дисперсность их составляет 10^{-7} – 10^{-8} см.

Фазово-дисперсная характеристика примесей, независимо от типа стоков и места их образования, дает возможность предложить для каждой группы классификации конкретный специфический метод переработки. Следует, однако, отметить, что основные трудности при выборе рациональной схемы очистки возникают вследствие того, что сточные воды, как правило, содержат частицы различной степени дисперсности, а агрегатное состояние во многом определяется температурой, рН раствора, компонентным составом и другими факторами. Поэтому особое значение имеет правильная оценка качественно-количественного состава сточных вод, а также определение дисперсности и агрегатного состояния примесей. Такая оценка основана на методологии физико-химических исследований сточных вод, которая складывается из изучения общих показателей загрязненности, содержания и характеристики грубодисперсных, коллоидных и тонкодисперсных примесей растворенных веществ.

Общие показатели загрязненности складываются из изучения органолептических и физико-химических показателей. К органолептическим показателям относятся цветность, прозрачность, вкус, запах.

К физико-химическим общим показателям загрязненности относятся следующие: температура, рН, сухой остаток, плотность, ХПК нефилтрованной пробы, кислотность или щелочность, вязкость, поверхностное натяжение, жесткость, электропроводность, содержание взвешенных веществ, оптическая плотность.

Содержание и характеристику грубодисперсных примесей дает изучение таких показателей, как их количество (фильтрация через бумажный фильтр «синяя лента»), зольность, гранулометрический состав (седиментационный анализ), химический состав.

Содержание и характеристику коллоидно-растворенных и тонкодисперсных примесей дает изучение следующих показателей. Концентрация (ультрафильтрация через коллоидные

фильтры), ξ -потенциал частиц (электрофорез), размер частиц, коэффициент светорассеяния (нефелометрический метод).

Содержание и характеристику растворенных веществ получают при изучении отдельно органической и неорганической фазы. При изучении органических веществ определяют такие общие показатели, как содержание органического углерода, ХПК фильтрованной пробы, перманганатная окисляемость, БПК, содержание экстрагируемых веществ. При этом также определяют содержание индивидуальных органических веществ, содержание по классам и концентрацию летучих компонентов. В случае анализа неорганических веществ определяют концентрацию общего азота, фосфора, серы, содержание прокаленного остатка, а также классифицируют компоненты по катионам и анионам.

Представленная выше схема исследования сточных вод дает подробную характеристику, которая позволяет заранее произвести определенную экономическую оценку различных методов очистки стоков. Однако во многих случаях при выборе методов очистки таких детальных исследований не требуется. Как правило, опытному физикохимику достаточно лишь подробно ознакомиться с существующей технологией предприятия и, зная общие показатели сточных вод, надежно спрогнозировать формы агрегатного состояния примесей.

Так известно, что изменение величины рН среды, ее температуры и концентрации примесей приводит к сдвигу равновесий ионизации соединений, реакции ионного обмена, гидролиза, комплексообразования, что, в свою очередь, приводит к изменению содержания растворимых, либо малорастворимых или слабодиссоциирующих соединений.

Уменьшение величины рН в основном связано с попаданием в сточные воды минеральных и органических кислот, что сразу усиливает тенденцию к переходу большинства цветных, тяжелых, редких и рассеянных элементов в ионизированное состояние. Одновременно усиливается тенденция образования

галогенидных комплексов и уменьшается комплексообразование ионов металлов с органическими соединениями, носящими кислотный характер. Увеличение кислотности ведет также к образованию многими из органических веществ малорастворимых соединений, как правило, коллоидной степени дисперсности.

Увеличение рН сточных вод усиливает гидролиз солей, содержащих многозарядные катионы, т. е. растет содержание коллоидно-растворенных основных солей и гидроксидов металлов. При этом также усиливается комплексообразование неорганических катионов со многими органическими соединениями, усиливается гидролиз аммониевых соединений, приводящий к росту содержания аммиака. Уменьшение кислотности ведет и к подавлению диссоциации органических соединений основного характера, многие из которых (особенно ВМС — высокомолекулярные соединения) переходят в малорастворимое состояние коллоидной степени дисперсности.

Классификация Л. А. Кульского, несмотря на ее несомненную пользу, доказанную опытом, имеет, на наш взгляд, некоторые стороны, требующие существенных дополнений и изменений. Прежде всего, следует отметить некоторую условность в делении сточных вод по дисперсности их компонентов. Во-первых, в данную классификацию не вошли системы с промежуточной степенью дисперсности с размером частиц 10^{-4} — 10^{-5} см, занимающие промежуточное положение между грубодисперсными системами и собственно коллоидами.

Вместе с тем в практике очистки сточных вод и в классификации дисперсных систем, предложенной коллоидохимиками, отмеченные системы занимают отдельное место, что связано с большими трудностями их разрушения. Эти частицы практически не удается выделить отстаиванием — для их отделения требуются тонкопористые фильтрующие материалы и высокая разделяющая способность аппаратуры для их центрифугирования. Все это связано с большими затратами и становится малоэкономичным и нерациональным.

С учетом вышесказанного, а также накопленного опыта в очистке сточных вод от примесей промежуточной степени дисперсности (в дальнейшем — тонкодисперсные системы) в классификацию Л. А. Кульского, на наш взгляд, должны быть внесены дополнения. Следует объединить в группу II все системы с размером частиц 10^{-4} – 10^{-7} см. Методы, используемые для выделения тонких дисперсий из сточных вод, идентичны методам выделения частиц собственно коллоидной степени дисперсности, но имеют свои особенности.

Озвучим следующий момент, который требует уточнения, но связан с вышесказанным. В том случае, когда размеры частиц приближаются к молекулярным, начинает терять смысл не только понятие поверхности раздела, но и понятие агрегатного состояния дисперсной фазы. Действительно, к отдельной молекуле даже больших размеров понятие агрегатного состояния не применимо, так как оно полностью определяется типом коллективного межмолекулярного взаимодействия, т. е. состоянием агрегатов или ассоциатов молекул. Поэтому группу II следует четко разграничить на две подгруппы — тонкие дисперсии и собственно коллоиды, а вещества, входящие в эту группу, классифицировать по типу межфазного взаимодействия — лиофильные и лиофобные.

Для лиофильных систем характерно сильное взаимодействие вещества дисперсной фазы с дисперсионной средой, а для лиофобных — слабое. Такое взаимодействие приводит к образованию сольватных (гидратных) оболочек из молекул дисперсионной среды вокруг частиц дисперсной фазы и так же, как в обычных растворах, называется сольватацией (или гидратацией).

Прежде всего следует отметить резкое различие между лиофильными и лиофобными коллоидами в отношении их устойчивости. Леофильные системы термодинамически устойчивы, характеризуются самопроизвольным диспергированием. Леофобные же коллоиды, наоборот, обладают энергией связи вну-

три дисперсной фазы значительно большей энергии межфазного взаимодействия. Диспергирование таких веществ не может идти самопроизвольно и совершается за счет внешней работы либо за счет других процессов, протекающих в системе. Образующиеся дисперсии термодинамически неустойчивы и вследствие высокой свободной энергии на межфазной поверхности стремятся к агрегации во времени.

В принципе в качестве критерия лиофильности системы можно использовать термодинамическую функцию ΔG , что и позволит вполне четко провести границу между двумя отмеченными классами дисперсных систем. Так, самопроизвольное диспергирование лиофильных систем должно быть связано с уменьшением ΔG ($\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0$), а невозможность самопроизвольного диспергирования лиофобных коллоидов характеризуется положительным значением ΔG .

Проводя анализ изменения термодинамической функции ΔG в процессе диспергирования, можно отметить большую его общность с процессами растворения. Действительно, в случае и того и другого процессов имеет место увеличение энтропии ($\Delta S > 0$), так как система приходит к более вероятному распределению вещества в среде (воде).

Баланс энтальпии системы ΔH в обоих случаях складывается из затраты энергии на разрыв молекулярных связей с образованием новой поверхности (при диспергировании) или отдельных молекул (при растворении), а также из выигрыша энергии в результате межфазного (при диспергировании) или молекулярного (ионного) сольватационного взаимодействия (при растворении).

Следует отметить, что для лиофильных систем обычно $\Delta H < 0$. Однако если $\Delta H > 0$, то $T \cdot \Delta S > \Delta H$ по абсолютной величине и условие $\Delta G < 0$ все равно выполняется. То есть такие системы также должны быть отнесены к лиофильным, даже если взаимодействие с дисперсионной средой мало и диспергирование идет в основном за счет тенденции рассеивания, на-

правленной к более вероятному распределению вещества дисперсной фазы по всему объему.

Для лиофобных коллоидов $\Delta H > 0$, так как затраты энергии на разрыв молекулярных связей в веществе дисперсной фазы значительно выше, чем выигрыш энергии при межфазном взаимодействии. Эта разность энергии не компенсируется по абсолютной величине энтропийным фактором. Поэтому для лиофобных систем всегда $\Delta G > 0$. Однако не следует делать вывод, что не диспергирующие самопроизвольно лиофобные коллоиды не проявляют определенного «средства» к дисперсионной среде — для них всегда характерна та или иная степень межфазного взаимодействия (лиофилизации).

Примером типичных лиофобных систем могут служить тонкие дисперсии металлов, их гидроокисей, сульфидов металлов и других неорганических соединений в жидкостях, называемых «золями», тонкие эмульсии органических аполярных жидкостей в воде. Примером же лиофильных коллоидов могут быть ВМС — неэлектролиты и полиэлектролиты (белки, крахмал и др.), а также мицеллярные электролиты (мыла, красители и т. п.).

Обычно типичные лиофильные коллоиды в соответствии со строением и свойствами образующих их веществ подразделяют на два класса: ассоциативные, или мицеллярные (их также называют полукolloидами), и молекулярные. К первому классу лиофильных коллоидов относятся органические соединения, молекулы которых состоят из двух частей, резко отличающихся по молекулярной природе и свойствам: полярной функциональной (гидрофильной) группы и неполярного (гидрофобного) радикала. Эти вещества с учетом специфических особенностей их поведения в растворе и в гетерогенных системах называют поверхностно-активными веществами (ПАВ). Свойства таких веществ характеризуются следующими особенностями:

- незначительной величиной максимально возможной концентрации молекулярной (ионной) формы;

- образованием в водных растворах определенной концентрации, названной критической концентрацией мицеллообразования (ККМ), коллоидных агрегатов или мицелл;
- способностью коллоидных ПАВ выше ККМ поглощать малорастворимые в водных растворах вещества (явление солюбилизации).

В таких системах существует подвижное равновесие между отдельными молекулами или ионами и коллоидными ассоциатами (мицеллами).

Мицеллы лиофильных коллоидов характеризуются мицеллярным весом и числами агрегации, т. е. числом молекул, образующих мицеллу. Числа агрегаций меняются в больших пределах — от 30 до 2000. Величина же ККМ зависит как от особенностей молекулярного строения ПАВ, так и от внешних факторов: температуры, наличия в растворе электролитов, рН и др. Принципиальное отличие в строении таких лиофильных коллоидов от типичных лиофобных заключается в том, что ядро лиофильной частицы содержит жидкую дисперсионную среду. Поэтому методы выделения лиофильных и лиофобных частиц из дисперсионной среды очень различны.

Молекулярные же коллоиды, к которым относятся синтетические ВМС с молекулярной массой от 10 000 до нескольких миллионов, имеют свои особенности. Молекулы этих веществ имеют размеры коллоидных частиц, поэтому их называют макромолекулами. Но своеобразие в поведении и свойствах молекулярных коллоидов обусловлено их молекулярной неоднородностью, что является следствием различных конформационных изменений.

Формирование пространственной конформации ВМС в растворе в значительной степени определяется меж- и внутримолекулярными взаимодействиями, а также условиями, в которых они находятся.

Доказано, что поведение макромолекул сходно с поведением свернутых в клубок гибких нитей, которые в зависимости

от условий могут существовать как в развернутом виде (в форме спиралей), так и в свернутом (в форме статистического клубка).

В концентрированных растворах, в которых вероятность столкновения молекул достаточно велика, молекулы могут взаимодействовать друг с другом и образовывать так называемые «рои» или «ассоциаты». Изучение этих процессов показало, что в зависимости от концентрации раствора, строения цепей, температуры, рН и других факторов наблюдается два основных типа ассоциаций:

- соединение вытянутых цепей в пачки длинных макромолекул (пакеты);
- взаимодействие звеньев внутри отдельных цепей, приводящее к свертыванию макромолекул и образованию глобул, которые затем могут по разному агрегировать.

В отличие от мицелл, рои или ассоциаты макромолекул не являются постоянно существующими образованиями и не имеют определенного состава.

Любая технологическая схема очистки стоков должна обеспечивать минимальный их сброс в водоем, максимальное использование очищенных сточных вод в технологических процессах и системах оборотного водоснабжения, более полное использование извлекаемых примесей.

Для очистки сточных вод используют три основных организационных типа очистных сооружений: локальные (цеховые), общие (заводские) и районные (или городские).

Локальные сооружения предназначены для обезвреживания сточных вод непосредственно после технологических установок и цехов. Они являются как бы продолжением технологического процесса производства. На локальных сооружениях очищаются сточные воды, которые без очистки не могут быть направлены в системы повторного и оборотного водоснабжения или на общие заводские или городские очистные сооружения. На этих установках, как правило, извлекаются ценные примеси или уничтожаются вредные.

Из регенерационных методов обычно применяют отстаивание, фильтрацию, флотацию, экстракцию, адсорбцию, ионный обмен и обратный осмос. Из деструктивных методов используют термическое обезвреживание. Следует отметить, что применение локальных установок позволяет во многих случаях повторно использовать очищенную воду в том же технологическом процессе.

Заводские очистные сооружения обычно включают сооружения первичной (механической), вторичной (биологической, физико-химической) и третичной (доочистки) очистки сточных вод. Установки доочистки необходимо применять для получения воды, которая может быть повторно использована в технологическом процессе или в оборотном водоснабжении. К сооружениям механической очистки относятся решетки, песколовки, отстойники, флотомашины и др. На этих сооружениях удаляются в основном грубодисперсные примеси. Иногда проводится предварительная коагуляция коллоидных примесей. К сооружениям биологической очистки относятся аэротенки, биофильтры, метатенки, биологические пруды и т. д.

Следует отметить, что в зависимости от степени загрязнения сточные воды могут непосредственно направляться на сооружения первичной, вторичной или третичной очистки.

Районные (или городские) очистные сооружения предназначены в основном для механической и биологической очистки бытовых или промышленно-бытовых стоков.

5.2. Регламентация поступления загрязняющих веществ в водные объекты

Защита водных объектов от поступления в них загрязняющих веществ может осуществляться разнообразными способами и средствами. Однако выбор подходящего способа определяется в основном источником и типом загрязнения. В случае

защиты водоемов от попадания в них коммунально-бытовых отходов можно все источники разделить на два типа:

- жилые массивы, сточные воды которых попадают в природные водоемы через сливные и канализационные трубы; такие источники загрязнений называют стационарными, или точечными;
- источники загрязнения, характерные, например, для сельской местности, от которых сточные воды поступают в природные водоемы с обширных поверхностей суши; их принято называть линейными, или неточечными, источниками загрязнения.

Сточные воды, содержащие растворенные и взвешенные вещества, отходящие в водные объекты, рассматриваются как сбросы. Сбросы могут быть неорганизованными, если они стекают в водный объект непосредственно с территории промышленного или сельскохозяйственного предприятия, не оборудованного канализацией или иными устройствами для сбора, и организованными, если они отводятся через специальные устройства (водовыпуски), которые классифицируются по следующим признакам:

- по типу водоема, в который поступает сточная вода (озерные, речные, морские);
- по месту расположения выпуска: береговые (размещенные в пределах береговой полости), русловые (в виде трубопроводов, выводимых в русло реки до глубины более 30–40 м) и глубоководные (на глубину более 40 м);
- по конструкции распределительной части (сосредоточенные, рассеивающие и рассредоточенные);
- по типу оголовка (по конструкции сбросного устройства).

Целью природоохранных мероприятий является обеспечение такого содержания загрязняющих веществ в воде, которое не окажет вредного воздействия ни на качество окружающей среды, ни на здоровье людей. Поэтому задача сводится к ограничению содержания загрязняющих веществ в сбросах.

В мировой практике существуют два подхода к решению данной задачи. Первый подход состоит в том, чтобы загрязняющие вещества не оказывали отрицательного влияния на природные экосистемы в целом. Критерием здесь считается ассимиляционный потенциал территории, показывающий, какое количество вредных веществ может без ущерба для своего состояния ассимилировать та или иная территория. После того как суммарные объемы вредных веществ, которые могут быть обезврежены в природных экосистемах данной территориальной единицы, промышленным предприятиям устанавливают предельные нормы на сбросы вредных веществ в течение определенного периода (сезона, года).

Второй подход, практикуемый в России, заключается в том, что приоритетным условием является соблюдение санитарно-гигиенических нормативов. Отсюда следует, что предприятие должно обеспечить такое поступление загрязняющих веществ в природную среду (сброс), при котором эти вещества смогут рассеяться до неопасных предельно допустимых концентраций в определенных местах.

Таким образом, в качестве стандарта безопасности водных объектов применяют предельно допустимые концентрации (ПДК). Предельно допустимая концентрация химического вещества в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — максимальная концентрация вещества в воде, которая при поступлении в организм в течение всей жизни не должна оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье настоящего и последующих поколений, в том числе в отдаленные сроки жизни, а также не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Система оценки качества воды на основе ПДК подвергается аргументированной критике. Основными недостатками ПДК являются:

- условность представлений о полной безвредности загрязняющих веществ на уровне ПДК (с ростом научных зна-

ний ПДК многих веществ пересматриваются часто в сторону их уменьшения);

- количество существующих загрязняющих химических веществ намного больше количества веществ, для которых установлены ПДК;
- методы определения многих химических веществ на уровне ПДК неточны, трудоемки и дорогостоящи (только 10 % от общего числа нормированных вредных веществ обеспечено методами анализа на уровне ПДК);
- не учитывается сложность взаимодействия химических веществ (синергизм, потенцирование и др.);
- не учитывается механизм адаптации водных организмов, их видовая токсикорезистентность; не учитываются фоновые концентрации веществ.

Многочисленные методы, предлагаемые для оценки качества водных объектов, основанные на использовании комплексных показателей, таких как ИЗВ (индекс загрязнения воды), КЗ (коэффициент загрязненности), КИЗ (комбинаторный индекс загрязнения), ПХЗ (показатель химического загрязнения воды) и многие другие, не лишены тех же недостатков, так как базируются на существующей системе ПДК.

Оценка качества воды методом определения энергозатрат на ее очистку была произведена для реки Белая в Башкортостане. Метод оценки качества воды по энергетическим показателям позволяет оценить качество воды по энергозатратам, необходимым для очистки воды. Чем выше затраты энергии на очистку воды, тем больше она содержит загрязняющих веществ и соответственно является более загрязненной. Данный подход к оценке качества воды позволяет дать экономическую оценку воды водного объекта в зависимости от качества, позволяет оценить экономическую эффективность водоохраных мероприятий.

5.3. Нормирование загрязняющих веществ в водных объектах

Вода является средой, в которой возникла жизнь и обитает большая часть видов живых организмов. Поэтому при нормировании качества природных вод необходимо заботиться о воде, с одной стороны, как о ресурсе, потребляемом человеком, а с другой стороны, необходимо думать о сохранении водных экосистем как важнейших регуляторов условий жизни планеты. Гигиенические нормативы устанавливают в интересах охраны здоровья человека и сохранения генетического фонда некоторых видов растительного и животного мира. Методологической основой для разработки санитарно-гигиенических стандартов служат методы, используемые в медицинской и ветеринарной токсикологии. Для оценки токсичности веществ проводят опыты на животных с последующей экстраполяцией экспериментальных данных на человека. В зависимости от степени токсичности ядовитых веществ выделяют 4 класса опасности. Требования к качеству природных вод регламентированы правилами охраны поверхностных вод от загрязнения [10].

Требования потребителей к качеству воды зависят от целей ее использования. Выделяют три вида водопользования: хозяйственно-питьевое, культурно-бытовое, рыбохозяйственное.

При хозяйственно-питьевом водопользовании водные объекты или их участки используют в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности.

При культурно-бытовом водопользовании водные объекты или их участки используют для купания, занятий спортом и отдыха. К этому виду водопользования относятся и участки водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

При рыбохозяйственном водопользовании водоемы используют в качестве места расположения нерестилищ, массового

нагула и зимовальных ям особо ценных и ценных видов рыб, других промысловых водных организмов, а также охранных зон хозяйств для искусственного разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений; для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода; для других рыбохозяйственных целей.

Особенности нормирования химических веществ в водной среде обусловлены следующими факторами. Вода водоема используется не только для питья, приготовления пищи, личной гигиены, но и хозяйственно-бытовых и рекреационных целей. В связи с этим при нормировании любого химического соединения в водном объекте учитывают различные виды неблагоприятных воздействий: на органолептические показатели (изменение цвета, запаха, привкуса); на общесанитарные показатели (изменение состава и численности сапрофитной микрофлоры); на организм человека (изменение состояния здоровья). Каждое неблагоприятное воздействие соответствует определенному показателю вредности. Существуют следующие показатели вредности: органолептический, общесанитарный и санитарно-токсикологический. При установлении окончательной величины норматива используют принцип лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), в соответствии с которым величина норматива выбирается на уровне наименьшей концентрации, установленной по различным показателям вредности. Для одного и того же вещества устанавливают разные предельные концентрации по ЛПВ. Например, медь оказывает токсическое действие при концентрации 10 мг/л, нарушает процессы самоочищения при концентрации 5 мг/л, а придает привкус воде при концентрации 1 мг/л. В качестве ПДК меди для водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения принимается концентрация, равная 1 мг/л, выбранная по органолептическому ЛПВ. Кроме того, одно и то же вещество для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-быто-

вого назначения может нормироваться по одному ЛПВ, а для рыбохозяйственных — по другому. Например, аммиак для хозяйственно-питьевого водопользования нормируется по общесанитарному ЛПВ (2 мг/л), а для рыбохозяйственных водоемов — по санитарно-токсикологическому ЛПВ (0,05 мг/л). Медь для водоемов первых двух типов водопользования нормируется по органолептическому ЛПВ (1 мг/л), а для рыбохозяйственных — по токсикологическому (0,001 мг/л). Если водоем используется для нескольких видов водопользования, то в качестве ПДК выбирается самая низкая ПДК вещества. В рассматриваемых примерах из двух ПДК меди выбирают величину 0,001 мг/л.

Требования к качеству вод в водоемах, которые используются для рыбохозяйственных целей, являются более «жесткими», нежели таковые для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Это связано с тем, что при переходе вредных веществ по пищевой цепи гидробионтов происходит их биологическое накопление до опасных для жизни концентраций. Например, в планктоне концентрация меди в 90 000 раз, свинца в 12 000 раз и кобальта в 16 000 раз больше, чем в воде.

Таким образом, при нормировании учитывают как непосредственное влияние химического загрязнения на организм человека, так и изменения органолептических свойств воды и процессов самоочищения воды в водоемах, а в качестве ПДК принимается наименьшая из пороговых концентраций, установленных по каждому критерию вредного воздействия.

Наряду с ПДК в официальных перечнях нормативов указываются класс опасности и лимитирующий признак показателя вредности, по которому установлена ПДК: санитарно-токсикологический (с.-т.), общесанитарный (общ.), органолептический (орг.) с расшифровкой изменения органолептических свойств воды. Эти изменения могут проявляться в изменении запаха воды (зап.), увеличении мутности (мутн.), появлении

окраски (окр.), образовании пены (пен.) или пленки на поверхности воды (плен.), появлении опалесценции (оп.).

Классы опасности химических соединений, приведенные в официальных перечнях нормативов, учитывают при выборе соединений, подлежащих первоочередному контролю в воде в качестве индикаторных веществ; установлении последовательности водоохраных мероприятий, требующих дополнительных капиталовложений; обосновании рекомендаций по замене в технологических процессах высокоопасных веществ на менее опасные; определении очередности в разработке чувствительных методов аналитического определения веществ в воде. Выделяют четыре класса опасности: I класс — чрезвычайно опасные (ртуть); II класс — высокоопасные (свинец, кобальт, бензол); III класс — опасные (аммиак, ацетон, железо, медь); IV класс — умеренно опасные (нефтепродукты, скипидар, капролактан). Для соединений I и II классов риск развития неблагоприятных эффектов у человека в случае превышения ПДК наиболее значителен.

Наряду с гигиеническими нормативами в нашей стране существуют ПДК веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов. ПДК в воде рыбохозяйственного водного объекта — это экспериментально установленный рыбохозяйственный норматив максимально допустимого содержания загрязняющего вещества в воде водного объекта, при котором в нем не возникают последствия, снижающие его рыбохозяйственную ценность. Данные величины являются одной из разновидностей экологических нормативов и не могут использоваться для оценки непосредственного вредного воздействия водных загрязнений на состояние здоровья человека.

В 1998 г. в России были разработаны ПДК для 1343 химических веществ. Нормативы для 2/3 исследованных веществ установлены по органолептическому и общесанитарному показателям.

Предельно допустимые концентрации веществ для разных категорий водопользования различны. Например, присут-

ствии хлорорганических соединений (ДДТ, гексахлоран) в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых водных объектах допускается в концентрациях 0,02 и 0,01 мг/л соответственно, а в воде рыбохозяйственных водоемов присутствие этих веществ вообще не допускается.

Состав и свойства воды в водных объектах должны соответствовать нормативам в створе реки или в радиусе 1 км от пункта водопользования для непроточных водоемов.

При наличии нескольких веществ, относящихся к одной группе лимитирующего показателя вредности, содержание загрязняющего вещества должно соответствовать условию

$$\sum_{i=1}^m \frac{C_i}{\text{ПДК}} \leq 1, \quad (5.1)$$

где C_i — средняя концентрация i -го вещества в воде водного объекта; m — общее количество веществ данной группы ЛПВ, находящихся в воде исследуемого водного объекта.

Качество воды оценивают не только по присутствию в ней токсичных или неприятно пахнущих веществ, но и по изменению физико-химических показателей и свойств воды.

Между пунктом водопользования и створом сброса сточных вод расположена зона рассеяния (разбавления) вредного вещества, концентрация которого в сточной воде превышает ПДК. Условие $C_i > \text{ПДК}$ в установленном створе может быть обеспечено, если содержание вредных веществ в стоках (предельно допустимый сброс — ПДС) гарантируется разбавлением их до неопасных концентраций. Обеспечение этих нормативов для каждого источника и для каждого отдельного вещества (с учетом эффекта суммации) является конкретной задачей предприятия. Таким образом, если ПДК являются нормативами на содержание загрязняющих веществ в природной среде, то ПДС — нормативами на их поступление.

Под ПДС понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению (в установленном режиме)

в единицу времени. Для каждого конкретного случая при установлении лимита отведения сточных вод в водный объект и для прогнозирования степени загрязнения водного объекта вниз по течению проектируемого выпуска расчет значения ПДС производится на основе уравнения баланса, учитывающего фоновую концентрацию, гидрологические, гидравлические и гидродинамические особенности водного объекта.

Проекты ПДС разрабатываются и утверждаются для предприятий, учреждений и организаций, имеющих или проектирующих самостоятельно выпуски сточных вод в водные объекты, в целях соблюдения ПДК в контрольных створах водопользования. Расчет ПДС, г/с, производится по наибольшим среднечасовым расходам сточных вод $q_{СТ}$, м³/ч, фактического периода спуска сточных вод, по концентрации загрязнений C , мг/л или г/м³.

Значение ПДС, г/с (или г/ч, или т/год), с учетом требований к составу и качеству воды в водном объекте определяется как произведение наибольшего расхода сточных вод (обычно среднечасового) q , м³/г, и разрешенной предельной концентрации вредного вещества в сточных водах $C_{ПДС}$, г/м³. При расчете условий сброса сточных вод сначала находится значение $C_{ПДС}$, обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных сбросах, а затем ПДС согласно уравнению

$$\text{ПДС} = q C_{ПДС}. \quad (5.2)$$

Следует иметь в виду, что сброс, соответствующий ПДС, должен быть увязан с расходом сточной воды, так как уменьшение расхода при сохранении значения ПДС приводит к концентрации вещества в водном объекте, превышающей ПДК. Если концентрация загрязняющего вещества в водном объекте превышает ПДК, то $C_{ПДС}$ в каждом конкретном случае согласовывается с инспекционными органами.

Основное расчетное уравнение для определения $C_{ПДС}$ без учета неконсервативности вещества имеет вид

$$C_{\text{ПДС}} = n C_{\text{ПДК}}, \quad (5.3)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м^3 ; n — кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления n_n на кратность основного разбавления n_o , т. е. $n = n_n n_o$.

Кратность начального разбавления n_n учитывается при выпуске сточных вод в водоток в следующих случаях: для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков в водоток при скоростях реки и стока V_p и $V_{\text{ст}}$, удовлетворяющих условию $V_{\text{ст}} > V_p$; при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска более 2 м/с (при меньших скоростях $n_n = 1$).

Расчет ПДС для выпусков сточных вод в водохранилища и озера определяется с учетом специфики гидродинамического и биохимического состояний данных объектов и места выпуска сбросов в водоемы по глубине. Считается, что полное разбавление сточных вод в водоеме является результатом совместного влияния начального разбавления, происходящего вблизи водовыпуска за счет скорости и турбулентности струи, и основного разбавления, осуществляющегося вследствие диффузии.

Следует отметить, что по сравнению с действующим водным законодательством в новом Водном кодексе РФ отсутствует понятие «норматив предельно допустимых сбросов вредных веществ в водные объекты». Методический подход к нормированию качества вод водных объектов, содержащийся в новом Водном кодексе РФ, основывается на установлении нормативов допустимого воздействия на водные объекты и целевых показателей качества воды в водных объектах. Нормативы допустимого воздействия на водные объекты устанавливаются на основании предельно допустимых концентраций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах.

Целевые показатели качества воды в водных объектах устанавливаются в процессе разработки схем комплексного использования и охраны водных объектов. Новизна данного методического подхода заключается в отказе от применения в водоохранной практике зон разбавления сточных вод. Это, по мнению разработчиков нового Водного кодекса РФ, приведет к существенному ужесточению требований к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых водопользователями в водные объекты, и обеспечит стабильность водных экосистем и их устойчивость к антропогенным воздействиям.

Независимо от нормативных требований к качеству воды в водном объекте существуют ограничения на сброс сточных вод. Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды, если они:

- могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения;
- содержат ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или других производствах;
- содержат производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;
- содержат вредные вещества, для которых не установлены ПДК;
- при соблюдении санитарных требований и с учетом местных условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве.

5.4. Мониторинг водных объектов

Современные тенденции мониторинга водных объектов сводятся к следующим моментам.

В плане анализируемых примесных компонентов природных вод в мировой практике все большее внимание уделяется орга-

ническим веществам, в первую очередь тем, которые по международной классификации отнесены к суперэкотоксикантам. Все чаще переходят от анализа содержания в воде определенных органических соединений к их своеобразному скринингу: хромато-масс-спектрометрическими методами получают соответствующие спектры различных веществ, устанавливая затем их структуру путем автоматической идентификации экспериментальных спектров как библиотечных, которых к настоящему времени накоплено не менее 500 тыс.

При анализе тяжелых металлов гораздо большее внимание стало уделяться их органическим соединениям (в первую очередь это относится к органическим соединениям ртути и олова). Особое внимание обращается на слабые комплексы металл-органика: здесь следует выделить комплексы с кальцием, который, как «паровоз», способен втянуть органическое соединение в живую клетку, используя активные механизмы переноса.

Существенный методологический подход к оценке загрязнения вод заключается в периодическом тотальном установлении примесных компонентов с последующим составлением приоритетных перечней анализируемых веществ. Примеси определяются коррелятивно по присутствию анализируемого «напарника». В первую очередь это относится к тяжелым металлам.

Для оценки опасности веществ (при отсутствии для них нормативных значений ПДК или ОДК) активно используется обращение к международным регистрам химических веществ, созданным, например, в рамках Международной программы по химической безопасности (IPCS) и многих других. Практически все зарубежные регистры предполагают доступ через интернет и безвозмездное получение информации.

Больше внимания стало уделяться синергизму примесных компонентов вод. Здесь в первую очередь следует выделить синергизм гидрофобных органических соединений и некоторых тяжелых металлов. Очевидно, что, например, реальную опасность воздействия на биоту и человека соединений бензольного

ряда, попавших в 2005 г. в р. Амур в результате аварийной ситуации на китайской территории, невозможно оценить без учета их синергического взаимодействия с тяжелыми металлами, концентрации многих из которых в этой реке достаточно велики.

В сфере гидробиологического мониторинга наряду с традиционным использованием определенных объектов гидробиоты все чаще используются живые объекты, сконструированные методами генной инженерии специально для аналитических целей. Все большее распространение получают подходы на основе многомерных корреляций, связывающие результаты гидрохимического и гидробиологического анализов.

В области аналитических технологий, используемых в мониторинге водных объектов, следует отметить общемировую тенденцию перехода к полевым измерениям, а также тенденцию к использованию автоматизированных систем с дистанционной передачей данных.

Очень важно отметить повсеместно развиваемые концепции рисков для населения и биоты, которые связаны с воздействием антропогенных химических веществ в окружающей среде, включая природные воды. В принципе оценка рисков и сценарии оптимального управления рисками стали в настоящее время основными целями мониторинга.

В информационных системах мониторинга наряду с традиционными подходами, активным использованием ГИС (геоинформационная система) интенсивно применяют моделирование как для оптимального описания экологической ситуации, так и для прогнозных задач. Такие модели, использующие данные гидрохимии, гидробиологии, гидрологии, гидрогеологии и другие, все более усложняются, давая во многих случаях весьма впечатляющие результаты. Следует также отметить модели, сочетающие в едином подходе характеристики подземных и поверхностных вод как взаимосвязанных водных объектов.

Некоторые модели учитывают также в качестве источника загрязнения водных объектов и атмосферные переносы загряз-

няющих веществ. Высокого уровня достоверности достигли трехмерные модели, которые описывают поведение нефтяных загрязнений на поверхности водоемов и в их толще (осаждение, фракционирование, сорбция на взвешенных частицах и др.).

В мировой практике также предложены различные подходы к формированию управляющих решений, связанных с водными объектами. Наиболее простые из них предполагают обеспечение лица, принимающего решения, наиболее полной оперативной (отфильтрованной) и справочной информацией, необходимой для принятия решения. Наиболее сложные из них используют элементы искусственного интеллекта и формируют проект решения или несколько его альтернативных версий.

5.5. Водоохранные зоны водных объектов

Установление водоохранных зон (ВЗ) осуществляется на основании действующего «Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах», утвержденного постановлением Правительства РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404. В соответствии с Положением размеры и границы ВЗ и прибрежных защитных полос (ПЗП), а также режим их использования должны устанавливаться исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и других условий. Минимальная ширина ВЗ устанавливается исходя из протяженности рек и изменяется от 50 до 500 м. Проектирование ВЗ выполнялось в соответствии с нормативно-методическими документами, утвержденными Министерством природных ресурсов Российской Федерации. За прошедшие 25 лет разработано большое количество проектов водоохранных зон рек и озер, в основном малых рек. В проектах были установлены границы ВЗ и ПЗП, разработаны мероприятия и рекомендации с указанием сроков их реализации по каждому землепользователю. В первую очередь — это вынос с территории ПЗП летнего вы-

.....

паса скота, ферм, навозонакопителей и других объектов-загрязнителей водных объектов (гаражей, стоянок автотранспорта, складов горюче-смазочных материалов, заправок, мастерских и т. д.). Во вторую очередь необходимо проведение мероприятий по предупреждению попадания в водные объекты сосредоточенных и рассеянных загрязнений с водосборной площади, а также реализация агротехнических мероприятий по борьбе с эрозией почв и грунтов для задержания твердого стока, содержащего загрязняющие вещества. В третью очередь следует заселить ПЗП многолетними травами, а также провести агролесомелиорацию с посадкой кустарниковых и древесных пород.

Реализация проектов ВЗ дает положительный эффект. В то же время анализ выполненных проектов ВЗ показывает, что установление границ ВЗ и ПЗП в основном осуществлялось по минимальным значениям, методом «линейки», без учета условий формирования и загрязнения поверхностного и подземного стока, а также по методикам, разработанным для малых рек. Также отсутствуют утвержденные федеральные методики установления ВЗ в поселениях. Несмотря на это, разработан целый ряд проектов установления границ ВЗ и ПЗП в городах. Наилучшим примером могут служить проекты ВЗ некоторых малых рек Москвы.

В будущем возможно три варианта развития водоохранных зон. Первый — отмена водоохранных зон (по предложению руководителя Росводресурс). Второй — сокращение размеров ВЗ до 200 м (по новому Водному кодексу). Третий — установление минимальных ВЗ для водотоков и водоемов по всей России с последующей разработкой проектов ВЗ только для урбанизированных территорий. При реализации первого варианта произойдет потеря эффективного метода и действенного механизма управления и контроля охраны водных ресурсов речного бассейна, а также утрата огромных объемов материалов, наработанных за 25 лет. Территории бывших ВЗ и ПЗП будут застроены, особенно в городах, пригородах и других поселениях, а оставшиеся территории превращены в свалки мусора.

По второму варианту территории ранее утвержденных ВЗ шириной 300 м, находящиеся между границами ВЗ, установленными в соответствии с фиксированными размерами (по новому Водному кодексу) и с минимальной шириной (по действующему Водному кодексу), также будут срочно застроены или замусорены. Это соответствующим образом отразится на качестве поверхностных и подземных вод.

По третьему варианту предлагается на основании Водного кодекса установить для всех водоемов и водотоков России минимальные ВЗ и ПЗП, которые необходимо вынести на карты землепользования и генпланы поселений и там их закрепить.

Проекты ВЗ и ПЗП необходимо разрабатывать только для урбанизированных водосборов, территорий или опасных объектов по мере необходимости и возможности. Определение размеров ВЗ и ПЗП должно базироваться на комплексной оценке основных факторов, определяющих формирование качества поверхностных и подземных вод, с учетом физико-географических, ландшафтных, почвенных, геологических, гидрологических, гидрогеологических, антропогенных и других условий. Проектирование ВЗ и ПЗП необходимо проводить с применением ГИС-технологий, позволяющих автоматизировать процессы обоснования, анализа, контроля и управления ВЗ. Условия функционального зонирования и режима регулирования хозяйственной деятельности в ВЗ устанавливать с учетом Водного, Земельного, Градостроительного, Лесного и других кодексов РФ.

В результате реализации третьего варианта Россия получит единую систему стандартных минимальных ВЗ и ПЗП для всех водоемов и водотоков, позволяющую использовать все ранее наработанные проекты ВЗ, а также мощный инструмент ГИС ВЗ и ПЗП водных объектов урбанизированных территорий, позволяющий повысить оперативность контроля и эффективность управления качеством водных ресурсов.

Особо важное значение водоохранные зоны имеют для малых рек и озер, поскольку запасы воды в них невелики. Малые

реки обеспечивают водой города и села, предприятия и поля. На их берегах мы получаем заряд бодрости и здоровья. Реки служат украшением ландшафтов. Малые реки с их живописными берегами, заросшими деревьями и кустарниками, — жемчужины природы. Но они не только украшают землю, они неутомимо трудятся. Развитая речная сеть поддерживает подземные водоносные горизонты, которые служат основными питьевыми источниками.

Бесхозяйственное отношение к малым рекам приводит к их заиливанию, ухудшению качества воды. Поэтому разработка и осуществление мероприятий по охране малых рек — весьма актуальная задача, от правильного решения которой зависит не только сохранение богатств природы, но и дальнейшее развитие промышленного производства.

Для малых рек наименьшая ширина водоохранной зоны на каждом берегу обычно принимается в зависимости от длины реки. Отсчет ширины зоны ведется от среднесезонного уреза воды в летнюю межень. В таких зонах ограничивается или полностью запрещается хозяйственная деятельность. Поскольку ВЗ предотвращают (или сильно снижают) загрязнение водных объектов минеральными удобрениями и пестицидами (гербицидами), то в сельскохозяйственных районах они обязательно должны устраиваться по берегам водных объектов, отделяя пахотные земли. При этом в самой ВЗ использование химических средств защиты растений запрещено.

Для уменьшения эрозии почвы и предотвращения загрязнения водных объектов в ВЗ проводятся организационно-хозяйственные, агролесомелиоративные и агротехнические мероприятия. Большое значение имеют лесовосстановительные работы, поскольку основную водоохранную роль играет растительность, особенно лес.

Древесно-кустарниковая растительность способствует переводу большей части поверхностных вод в подземные, резко снижает или вообще прекращает эрозию почв и укрепляет бе-

рега, что существенно уменьшает заиление рек и озер. Особенно велико ее значение при облесении оврагов, балок, песков. Растительность задерживает поступление химических веществ в водные объекты, снижая поверхностный сток, и перерабатывает большую их часть.

В водоохранных зонах запрещается строить новые и расширять старые промышленные предприятия, размещать площадки и склады для химических материалов, различные свалки, животноводческие комплексы, взлетно-посадочные полосы для проведения авиационно-химических работ, устраивать стоянки и какие-либо работы с автотракторным парком, замачивать в реке сельскохозяйственные растения (лен, конопля и др.) и кожу, ликвидировать пойменные озера и старицы без соответствующего разрешения.

В настоящее время массовое развитие получили плодоводство и огородничество. Сады и огороды нужно поливать, поэтому садоводческие товарищества стремятся получить участки вблизи рек, озер, прудов, ручьев. Садоводческие товарищества прежде всего должны сберегать травяной покров, уничтожение которого приводит к водной эрозии, не захламлять леса и поляны, беречь деревья и кустарники. Обязательно бетонировать выгребные ямы.

Если на берегах малых рек в непосредственной близости от уреза размещены животноводческие фермы, птицеводческие помещения и летние откормочные площадки, необходимы обвалование ферм, складов для удобрений и ядохимикатов, которые нередко хранятся под открытым небом или в непригодных помещениях, обеспечить соответствующее безопасное хранение горюче-смазочных материалов.

Многие мелкие реки являются нерестилищами для рыбы. Охранять рыбное поголовье наших водоемов — непреложный закон для каждого из нас.

Таким образом, водоохранные зоны необходимы для сохранения (или создания) условий для естественной очистки загряз-

ненных вод, поступающих с водосбора до их попадания в водный объект путем перехвата поверхностных вод и перевода их в подземный сток. Одновременно уменьшается количество наносов, поступающих с водосбора в результате эрозии. Это способствует сохранению или восстановлению естественного качества воды и в определенной мере улучшает водный режим.

5.6. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий

Для проектирования замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий разработаны общие положения, которые содержат следующие рекомендации. Прежде всего составляют материальный и энергетический (например, для систем охлаждающей воды) балансы схем водопотребления и водоотведения на основе научно обоснованных требований к качеству используемой воды. Затем разрабатывают рациональную систему очистки, рассчитанную по балансу количества воды (например, продувочных, сточных) с учетом повторного ее использования. Процессы водоподготовки и очистки воды рассматривают при этом как экономически целесообразную единую схему, поскольку безвозвратные потери воды в оборотных системах (особенно для охлаждения и гидротранспорта) можно возместить за счет использования очищенных сточных вод.

Непременным условием создания рациональных систем водопользования является разделение вод по назначению, например на охлаждающие, технологические нужды, для гидротранспорта. После этого следует сформулировать рекомендации для проектирования каждой системы. В системах водяного охлаждения следует избегать применения теплообменников смешения, барометрических и спрысковых конденсаторов, паровых эжекторов для создания вакуума и других аппаратов, в которых возможно загрязнение воды трудноулавливаемой примесью.

Разработке системы технологического водопользования должно предшествовать изучение возможностей минимизации расхода воды с получением малого количества высококонцентрированных вод для очистки. Оценить возможность осуществления технологического процесса без участия воды (в неводных растворителях, в газовой или твердой фазах). Кроме того, должны быть выявлены одностипные загрязнители воды, определены целесообразность взаимной нейтрализации кислых и щелочных вод и возможность противоточного использования воды от заключительных производственных операций к начальным.

Прежде чем проектировать системы гидротранспорта, необходимо проанализировать условия механического и пневматического транспорта. При технико-экономических преимуществах гидротранспорта (с учетом затрат на очистку воды при водообороте) следует рассмотреть возможность использования для этой цели сточных и продувочных вод систем охлаждения и технологических вод, поскольку часто к воде для гидротранспорта предъявляют наименее жесткие требования. В общем случае целесообразно последовательное использование воды в охлаждающем, технологическом и транспортном циклах.

В предпроектных и проектных разработках преимущество при прочих равных условиях должно быть отдано системе с максимальной кратностью использования воды

$$n = \frac{\sum Q_i}{Q_{св}}, \quad (5.4)$$

где $\sum Q_i$ — сумма удельных расходов воды в системе всеми водопотребителями предприятия или группы предприятий, м³/ч или м³/т сырья или продукта производства; $Q_{св}$ — расход потребляемой добавочной свежей воды (в тех же единицах).

При создании систем очистки сточных и продувочных вод, направляемых на подпитку водооборотной воды, рекомендуется обеспечивать наибольшее значение фактора концентрирования F_k извлекаемой из воды примеси:

$$F_k = C_{\text{конц}}/C_{\text{св}}, \quad (5.5)$$

где $C_{\text{конц}}$ — концентрация примеси в получаемом при очистке сточной воды осадке, рассоле, концентрате, мг/л; $C_{\text{св}}$ — концентрация примеси в очищаемой сточной воде, мг/л.

Предпочтительны методы очистки с выделением твердой фазы ($C_{\text{конц}} \sim 100\%$). При применении воды в системах охлаждения рационально использовать приемы испарительного охлаждения.

В создании малоотходных и безотходных технологических процессов наметилось несколько направлений:

- 1) создание бессточных технологических производств на основе рекуперационных методов очистки сточных вод и создание замкнутых циклов;
- 2) разработка и внедрение систем переработки отходов производства и потребления, которые рассматриваются как вторичные материальные ресурсы;
- 3) создание принципиально новых процессов получения традиционных видов продукции, исключающих образование основных количеств отходов или значительно сокращающих их объем, а также обеспечивающих комплексное использование сырья.

Вода является ценным и наиболее распространенным сырьевым ресурсом. Сокращение потребления воды и уменьшение сброса сточных вод в водоемы являются основными задачами охраны водных источников от загрязнений.

Разработка замкнутых систем водоснабжения, исключающих сброс сточных вод в водоемы, связана с использованием на предприятиях рекуперационной очистки, т. е. с многократным применением воды, извлечением и переработкой всех примесей.

Для того чтобы правильно выбрать способ обработки загрязненной производственной воды, необходимо знать стабильный состав воды по каждому загрязнителю (или по сумме загрязни-

телей). В общем случае такой состав можно установить на основании мгновенного материального баланса загрязнителей (обычно тех или иных солей при условии, что они не разлагаются и не кристаллизуются).

По характеру использования воды системы производственного водоснабжения подразделяются на *прямоточные, с последовательным использованием воды, с оборотным использованием воды, смешанные системы, включающие прямоточное и последовательное или оборотное использование воды.*

При прямоточном водоснабжении вся забираемая из водоема вода ($Q_{\text{ист}}$) после участия в технологическом процессе возвращается в водоем, за исключением того количества воды, которое безвозвратно расходуется в производстве — $Q_{\text{пот}}$. Количество отводимых в водоем сточных вод рассчитывается по выражению

$$Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{ист}} - Q_{\text{пот}}. \quad (5.6)$$

Следует отметить, что сточные воды в зависимости от вида загрязнений и других условий перед сбросом в водоем могут проходить очистные сооружения. В этом случае количество сбрасываемых в водоем сточных вод уменьшается, поскольку часть воды отводится со шламом.

При схеме водообеспечения с последовательным использованием воды, которое может быть двух-трехкратным, количество сбрасываемых сточных вод уменьшается в соответствии с потерями на всех производствах и на очистных сооружениях:

$$Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{пот}} - (Q_{\text{пот1}} + Q_{\text{пот2}} + Q_{\text{шл}}), \quad (5.7)$$

где $Q_{\text{пот1}}$ — потери воды на производстве 1; $Q_{\text{пот2}}$ — потери воды на производстве 2; $Q_{\text{шл}}$ — потери воды на очистных сооружениях.

При решении задач размещения различных предприятий в первую очередь учитываются возможные схемы канализации и водоснабжения данного места или района. При этом частым препятствием являются условия спуска сточных вод. Поэтому

всегда важен и необходим тщательный анализ балансовых схем водоснабжения предприятия, расчет возможного разбавления сточных вод, необходимых методов их очистки и т. д.

С этих точек зрения в настоящее время в водоснабжении предприятий большое значение начали приобретать замкнутые системы — частично или полностью оборотное водоснабжение (рис. 5.1). Преимущества таких систем очевидны и с точки зрения производства, и с точки зрения санитарной охраны водоемов. Хотя самым современным решением экологических проблем в области водного хозяйства является вообще прекращение сброса в водоемы даже очищенных сточных вод.

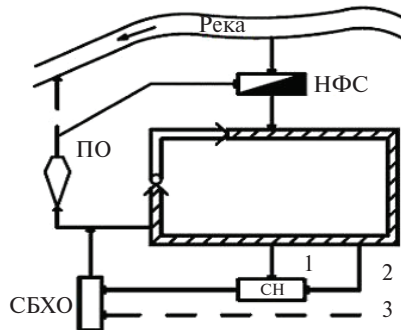


Рис. 5.1. Схема оборотного водоснабжения с повторным использованием очищенных сточных вод (производственных и городских):

НФС — насосно-фильтровальная станция речной воды; СН — станция нейтрализации отработавшей воды; СБХО — станция биохимической очистки сточной воды; ПО — пруд-осветлитель сточных вод; 1 — щелочные стоки; 2 — кислые стоки; 3 — бытовые стоки; — вода чистая охлажденная; — вода оборотная

Оборотное водоснабжение может быть осуществлено как единая система для всего предприятия или в виде отдельных циклов для цеха или группы цехов. Количество систем на заводе устанавливается с учетом особенностей и характера производства, назначения воды и, конечно, требований к ее качеству.

На современных предприятиях различных отраслей промышленности вода расходуется для самых разнообразных целей. Например, на химических предприятиях она идет преимущественно на охлаждение действующих агрегатов, для питания котлов, очистки выпускаемого продукта и т. д.

Требования к воде в каждом конкретном случае различны и зависят от ее назначения и установленного технологического оборудования.

Однако в большинстве случаев основным и неперенным условием является *освобождение воды от взвешенных веществ*. Их допустимое количество устанавливается в каждом случае отдельно. Например, допустимая концентрация взвесей в охлаждающей воде теплообменных агрегатов зависит и определяется скоростью потока, которая должна исключать возможность их осаждения. Если концентрация взвесей велика, то обратная и подпитывающая вода должны подвергаться дополнительной очистке. В данном случае необходимо также помнить, что взвешенные вещества являются центрами кристаллизации солей жесткости и могут служить цементирующей основой при их отложении на аппаратуре. То есть используемая техническая вода должна сохранять свою термостабильность — ее нагрев не должен приводить к отложению карбонатов кальция и магния. Естественно, что вода не должна вызывать и коррозии металлов, а ее жесткость обычно не должна превышать 7 мг-экв/л.

Естественно, существуют и более жесткие требования к качеству оборотной технической воды (например, в питании паровых котлов). Требования в каждом случае свои, а показатели в основном одни и те же, главными из которых являются концентрация растворенного кислорода, солей жесткости и взвешенных веществ. Научно обоснованных допустимых концентраций вредных веществ для оборотных вод нет. Например, в черной металлургии во многих случаях концентрация фенола в воде в 1000 раз и более может превышать его ПДК и, тем не менее, не влиять на качество продукции и обратное водоснабжение.

При работе замкнутой водооборотной системы различают оборотную воду, подпитывающую и продувочную. Подпитка оборотной системы осуществляется вследствие наличия необратимых потерь воды, неизбежного роста минерализации оборотной воды и ухудшения ее качества и соответствия требованиям. Подпитка водой проводится после продувки системы, т. е. сброса части предельно загрязненной воды. Такой сброс допускается для оборотных вод, не имеющих специфических загрязнений.

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается тремя показателями:

1. Техническое совершенство системы водоснабжения оценивается количеством использованной оборотной воды $P_{об}$, %:

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{ист} + Q_c} \cdot 100, \quad (5.8)$$

где $Q_{об}$, $Q_{ист}$ и Q_c — количество воды, используемой в обороте, забираемой из источника и поступающей в систему водоснабжения с сырьем.

2. Рациональность использования воды, забираемой из источника, оценивается коэффициентом $K_{и}$:

$$K_{и} = \frac{Q_{ист} + Q_c + Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c} \leq 1, \quad (5.9)$$

где $Q_{сбр}$ — сброс части предельно загрязненной воды (продувка системы).

3. Потери воды $P_{пот}$, %, определяются по формуле

$$P_{пот} = \frac{Q_{ист} + Q_c + Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c + Q_{посл} + Q_{об}} \cdot 100, \quad (5.10)$$

где $Q_{посл}$ — количество воды, используемой в производстве последовательно.

Как уже было сказано выше, продувка оборотных вод проводится с целью уменьшения их солесодержания и увеличения их

термостабильности. Поэтому без сброса продувочных вод могут работать только системы с умягченными или гидрокарбонатными водами, имеющими общее низкое солесодержание. При большом же содержании солей есть два выхода. Первый выход заключается в том, что можно обессолить или продувочные воды, или подпитывающую воду.

В оборотном водоснабжении могут использоваться три категории воды, соответственно трем основным схемам существующего оборотного водоснабжения.

Первая схема применяется, когда вода является теплоносителем и в процессе использования водоснабжения лишь нагревается, не загрязняясь, т. е. изменяется ее термостабильность. В системе оборотного водоснабжения эта вода перед повторным использованием на те же цели предварительно охлаждается в прудах, брызгальном бассейне или на градирне (рис. 5.2).

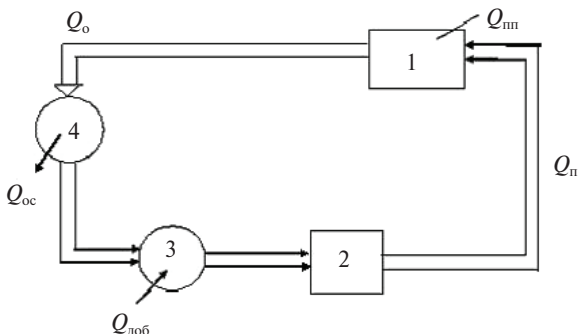


Рис. 5.2. Первая схема оборотного водоснабжения:

1 — производство; 2 — насосная станция; 3 — обработка добавочной воды; 4 — охладитель; $Q_{пн}$ — потери воды в производстве; Q_o — расход отработанной воды; $Q_{исп}$ — потери воды на испарение; $Q_{ун}$ — унос воды при охлаждении; $Q_{сбр}$ — потери воды на сброс; $Q_{доб}$ — расход добавочной воды; $Q_{п}$ — количество воды, подаваемой производству

Вторая схема применяется, когда вода служит средой, поглощающей и транспортирующей механические и растворен-

ные примеси, и в процессе использования не нагревается, а загрязняется. В системе оборотного водоснабжения эта вода перед повторным использованием подвергается очистке от полученных ею загрязнений в прудах-осветлителях, отстойниках, фильтрах и т. п. (рис. 5.3).

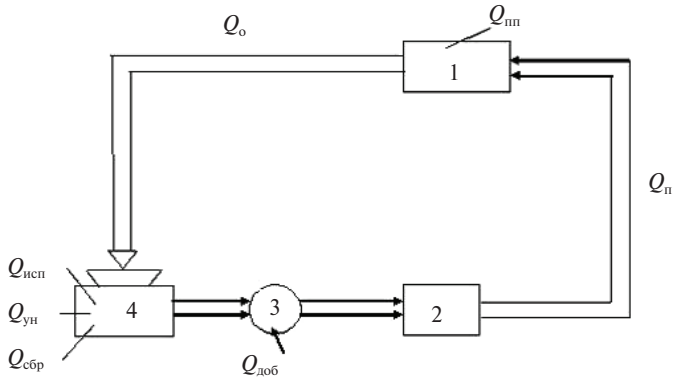


Рис. 5.3. Вторая схема оборотного водоснабжения:

- 1 — производство; 2 — насосная станция; 3 — обработка добавочной воды;
4 — водоочистные установки; Q_{oc} — унос воды с осадком

Третья схема применяется, когда вода является средой и одновременно служит теплоносителем (осадителем продукта), т. е. и нагревается и загрязняется. Перед повторным использованием в системе оборотного водоснабжения ее очищают от загрязнений и охлаждают (рис. 5.4).

Экономичнее, оказывается, корректировать состав продувочных вод и возвращать их в оборотную систему. Это связано и с меньшим объемом продувочных вод, и с уменьшением загрязнения водоемов, и другими факторами. Методы обработки продувочных вод, конечно, зависят от конкретного производства.

Второй путь исключения сброса продувочных вод заключается в использовании для подпитки оборотной системы ма-

ломинерализованных или очищенных промышленных сточных вод и, прежде всего, вод, подвергшихся биологической очистке. Такие воды дополнительно очищаются от органических веществ и в случае необходимости обессоливаются и умягчаются.

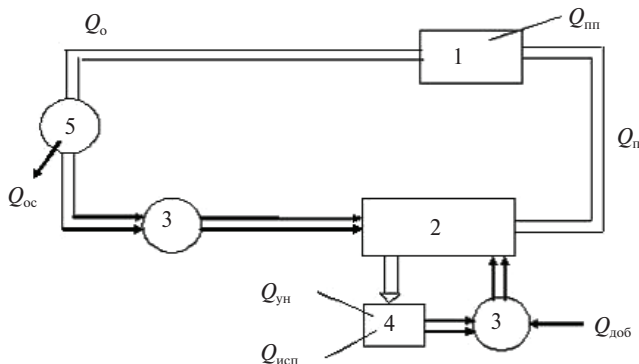


Рис. 5.4. Третья схема оборотного водоснабжения:

- 1 — производство; 2 — насосная станция; 3 — обработка добавочной воды;
4 — охладитель; 5 — водоочистные установки

Использование очищенных сточных вод в водоснабжении предприятий является в настоящее время важным направлением в решении задач рационального использования и прекращения загрязнения водоемов. Существенным моментом является и то, что для предприятий становится гораздо экономичнее обработать сточные воды для возврата их в производство, чем очистить для сброса в водоем, так как санитарные условия спуска сточных вод в водоемы очень жесткие.

Сточные воды как термодинамические системы обладают запасом потенциальной энергии связей молекул и атомов в структуре загрязняющих веществ, связей загрязняющих веществ с водой и кинетической энергией движущегося потока сточных вод. Запас энергии обеспечивает динамическую устойчивость струк-

туры загрязнений. Изменение баланса потенциальной и кинетической энергии вызывает нарушение устойчивости состояния загрязнений в сточных водах. Так, уменьшение кинетической энергии потока сточных вод приводит к выделению оседающих и всплывающих загрязнений, что успешно реализуется методами механической очистки.

В процессах биохимической очистки сточных вод используется потенциальная энергия, сосредоточенная в биоценозах. Структура загрязнений сточных вод, обусловленная потенциальной энергией, недоступной для биоценозов, не может быть разрушена биологическими и механическими методами, использующими собственный запас энергии системы. Сточные воды с такой структурой загрязнений относятся к категории трудноокисляемых и стабильных.

Удаление трудноокисляемых и устойчивых загрязнений из сточных вод возможно только при нарушении их стабильности путем использования внешней энергии. Эффективным энергетическим воздействием на структуру сточных вод обладают физико-химические методы, в том числе и адсорбционные. Ключевые события, имеющие место в адсорбционных процессах, происходят на границе раздела фаз, на которой сосредоточен избыток поверхностной энергии. Увеличение поверхности раздела фаз приводит к росту поверхностной энергии, которая, в свою очередь, является причиной интенсификации поверхностных явлений, в том числе и адсорбции.

Поверхностную энергию можно определить, используя понятия о термодинамических функциях состояния системы, в частности об энергии Гиббса, химическом потенциале и некоторые другие представления. Поверхностная энергия воздействует на загрязняющие вещества и приводит к концентрированию последних в поверхностном слое. Адсорбционные процессы относят к разделительным методам. Эффект очистки и разделения обусловлен уменьшением массы загрязняющих веществ вследствие извлечения их из водных систем. В отличие

от деструктивных методов адсорбционный дает возможность получить утилизируемые продукты.

Рассматривая сточные воды как термодинамические системы, обладающие запасом энергии, можно принципиально определить область применения адсорбционных методов. Прежде всего, им следует отдать предпочтение, когда очистка сточных вод невозможна или недостаточна при использовании собственного запаса энергии. Поэтому наибольшее распространение они получили в системах очистки производственных сточных вод, содержащих токсичные, трудноокисляемые биоценозом загрязнения.

Среди трудноокисляемых стабильных загрязнений особо следует выделить биологически стойкие поверхностно-активные вещества, которые практически полностью сохраняются в очищенной воде. В отличие от биологически разлагаемых соединений их опасность проявляется отдаленно в результате проникновения на большие глубины в почву, накоплению в воде, живых организмах и растениях. В настоящее время проводятся многочисленные исследования в создании новых сорбентов для извлечения из сточных вод радионуклидов на основе углеродных волокнистых материалов, клиноптилолита, глинистых пород и цеолитов.

Такой уникальный ресурс, как вода, в значительной мере определяет экологическую безопасность и экономическое благополучие человека. Учитывая то, что ресурсы поверхностных пресных вод ограничены, при существующих тенденциях развития общества вода станет лимитирующим фактором его развития со всеми вытекающими отсюда последствиями. Но вода является не просто природным ресурсом, а абиотической средой водных экосистем, при воздействии на которые человек сталкивается не просто с потерей ресурса, а часто с неожиданными последствиями, представляющими угрозу для его здоровья.

5.7. Рыночный механизм охраны водных объектов

Экономический механизм управления качеством окружающей природной среды, основанный на утвержденных лимитных массах и нормативах платы, является статическим и не позволяет использовать рыночные стимулы в достижении экологических целей. Плата за загрязнение окружающей среды установлена на низком уровне, не позволяющем стимулировать рациональное природопользование и обеспечивать финансирование воспроизводства природных ресурсов.

Переход России на принципы рыночной экономики требует внедрения новых подходов во всех сферах деятельности, включая вопросы защиты, охраны и восстановления нарушенных экосистем. Лозунги «Запретить, закрыть, остановить!» не вписываются в «курс устойчивого развития». Важным шагом в развитии экономического механизма охраны водных объектов было принятие Водного кодекса Российской Федерации, который, будучи законодательным актом прямого действия, регулирует весь комплекс водных отношений: отношения собственности на водные объекты, отношения водопользования и охраны вод, ответственность за нарушения водного законодательства и др.

Обоснование необходимости рыночного механизма охраны водных объектов изложено в работе А. А. Голуба, Е. Б. Струковой, А. Я. Щукиной [7]. Промышленное производство загрязняет водные объекты. Механизм нейтрализации этого воздействия можно представить в виде издержек производства, проявляющихся в двух видах: издержки предотвращения загрязнения, включающие затраты на реализацию природоохранных мероприятий; экономический ущерб, вызванный сбросами и выбросами вредных веществ.

Данные виды производственных издержек тесно связаны между собой, взаимозаменяя и дополняя друг друга, и важную

роль при этом приобретает вопрос их рационального соотношения. Издержки предотвращения загрязнения включают в себя расходы на создание очистных сооружений, установку фильтров, скрубберов и другого очистного оборудования. Такие издержки называются внутренними, поскольку появляются они непосредственно на предприятии. Предприятие, осуществляя какое-либо природоохранное мероприятие, не оказывает влияния на работу других предприятий.

Экономический ущерб от загрязнения является денежной оценкой негативных изменений основных свойств окружающей природной среды под воздействием загрязнения. Расчет ущерба включает в себя оценку ухудшения качества жизни людей, сокращения срока службы имущества, снижения урожайности и прироста биомассы.

Такие издержки для предприятия являются внешними и приводят к экономическому ущербу для общества. Внешними они называются потому, что для самого предприятия ущерб, вызванный сбросами и выбросами загрязняющих веществ, никак не влияет на издержки производства. Иногда данный вид издержек называют социальными издержками, влияющими на социум и других производителей.

Издержки предотвращения загрязнения и экономический ущерб связаны между собой обратной связью, и поиск оптимума в их соотношении возможен только с помощью внедрения рыночных отношений в сферу охраны водных объектов. Под рыночными отношениями понимается механизм саморегулирования взаимоотношений водопотребителей (загрязнителей) с «владельцами» водных объектов, исходя из экономических механизмов спроса и предложения.

В качестве товара на рынок выставляются ассимиляционные возможности природы по восстановлению водных объектов, право на которые можно получить с приобретением акций. В роли потребителей водного ресурса будут выступать предприятия, организации и фирмы. Владельцы водных объектов пред-

лагают на водный рынок товар в виде права на водопотребление или загрязнение воды. Для создания рынка покупателей, а также для устранения монополизма на водные ресурсы, который отрицательно может сказаться на работе потребителей водного ресурса, предложения должны превышать спрос, но по объему не превосходить ассимиляционный потенциал природы и выполнять двойную функцию. Во-первых, такие предложения могут рассматриваться как разрешение на загрязнение воды, одного из природных ресурсов; во-вторых, как ценная бумага, обладающая рыночными свойствами купли-продажи.

Реализация предлагаемых подходов потребует создания рынка покупателей и продавцов ассимиляционного потенциала водного объекта. Такой рынок будет функционировать в рамках взаимодействия двух законодательных актов. С одной стороны, рынок ограничивает антимонопольное законодательство, не позволяющее продавцам монополизировать в одних руках или по сговору право на загрязнение всего водного ресурса. С другой стороны, рынок ограничен механизмом банкротства, и это ограничение можно трактовать как наиболее благоприятное. Банкротство продавцов будет означать, что спрос на сбросы в водные объекты загрязненных стоков существенно снизился, а значит, на водные объекты не оказывается негативное воздействие, и они смогут восстановить природный механизм саморегенерации.

Между этими двумя ограничениями действует нормальная рыночная среда со здоровой конкуренцией и автоматическим (исходя из соотношения спроса и предложения) установлением равновесной цены на водный ресурс или права на его загрязнение. Регулирующее воздействие правительства на рыночную ситуацию может периодически проявляться через законодательные акты по нормативам платы за сбросы. В этом случае отпадают многие существующие в настоящее время управленческие законодательные акты, постановления, руководящие учреждения и организации, так как их функции будет выполнять ры-

нок. Система как бы переходит на автоматический самоуправляемый равновесный режим.

Реализация данного механизма охраны водных объектов возможна, если придать ассимиляционным свойствам природы качество товара, подчиняющегося экономическим принципам распределения. Выпуск ценных бумаг на право на загрязнение природы в пределах ассимиляционного потенциала позволяет загрязнителям приобрести имущественное право на данный вид товара через покупку на фондовом рынке ценных бумаг.

Наиболее трудной задачей в процессе внедрения рыночного механизма водопользования является определение ассимиляционного потенциала природы по каждому токсичному компоненту и выявление «владельца» данного природного ресурса, наделенного правом на его распределение. Данные параметры могут быть в первом приближении определены статистически по отчетным формам 2-ТП (водхоз) или научно обоснованы в течение определенного периода времени путем наблюдения за состоянием водных объектов.

Заключение

Интерес к устойчивости природных систем, подвергающихся стихийным катастрофическим природным явлениям и антропогенному воздействию, постоянно растет. Под устойчивостью следует понимать присущую системе способность противостоять изменениям, т. е. способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные способности при воздействии внешних и внутренних факторов. Устойчивый путь развития человечества предусматривает обеспечение людям лучших условий жизни без истощения ресурсов и появления неблагоприятных изменений окружающей среды в ущерб будущим поколениям. Генеральная цель устойчивого развития человечества должна состоять в удовлетворении разумных человеческих потребностей в рамках имеющихся природных экологических возможностей на Земле, которые не приводят к деградации природной среды.

Энгельс Ф. в «Диалектике природы» пишет [37]: «...Не будем слишком обольщаться нашими победами над природой. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитываем, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых». Сейчас мы стали свидетелями потеплений климата, образования «озоновых дыр», появления токсичных химических веществ в питьевых водах, загрязнения пищевых продуктов остатками пестицидов, гибели лесов, вымирания видов, голода. В ближайшее время мы должны либо создать устойчивое общество, либо сми-

ряться с глобальной неустойчивостью. Ее последствия будут заключаться в ухудшении качества жизни.

Последние годы не прошли «даром»: разработана более твердая научная основа понимания проблемы окружающей среды, образованы и действуют регламентирующие агентства на всех правительственных уровнях, организованы многочисленные общественные экологические группы, приняты полезные законы и постановления, достигнуты некоторые международные соглашения. Однако ликвидируются в основном последствия, а не причины сложившегося положения. Например, люди стараются сократить до минимума возможность утечки отходов со свалок вместо того, чтобы ставить вопрос о переходе от свалок к рециклизации отходов, как это реализуется в природных экосистемах.

Ясно, что системы, противоречащие естественным принципам и законам функционирования, неустойчивы. Попытки их сохранения становятся все более дорогостоящими и заранее обречены на неудачу.

По данным сообщества экспертов «Римский клуб», до половины всей вырабатываемой человечеством энергии необходимо тратить на цели экологии. Только тогда возможно поддержать экологическое равновесие и идти по пути устойчивого развития. Некоторые страны тратят на эти цели до 3% энергии. В России эта цифра составляет 0,5%. Ясно, что в этих условиях человечество катится к глобальному банкротству. Мы просто не сможем жить по-прежнему, обсуждая и изучая скопившиеся проблемы. Необходимо личное участие каждого жителя планеты в обеспечении устойчивого развития природных систем и человеческого сообщества.

Такой уникальный ресурс, как вода, в значительной мере определяет экологическую безопасность и экономическое благополучие человека. Учитывая то, что ресурсы поверхностных пресных вод ограничены, при существующих тенденциях развития общества вода станет лимитирующим фактором его развития со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Водная экосистема — это природный объект, который является единством взаимозависимых среды и обитающей в ней биоты. Поэтому, для того чтобы охарактеризовать состояние водной экосистемы, необходимо знать показатели воды как среды обитания и показатели биотической (организменной) части экосистемы. Каждая водная экосистема находится в определенном состоянии, которое выражается в определенном сочетании показателей средовой и организменной составляющих водной экосистемы. Конкретному состоянию водной экосистемы соответствует определенный уровень способности к самоочищению, который может быть охарактеризован сочетанием показателей среды и биоты, а набор и величины их могут быть выражены в интервалах значений.

Способность экосистем поверхностных водных объектов к самоочищению эксплуатируется при антропогенной деятельности как механизм утилизации сточных вод. Поэтому возникает необходимость адекватно ее оценивать, что невозможно сделать без экосистемного подхода к водному объекту. На способность к самоочищению, а следовательно, на состояние водной экосистемы влияет ряд факторов как внешнего воздействия на водный объект, так и внутренних закономерностей саморазвития его водной экосистемы.

Естественно, что охрана водных экосистем и охрана водных ресурсов неразрывно связаны между собой и для этого существуют различные механизмы, в том числе законодательные. Если рассматривать проблему более широко, а именно, в рамках Концепции устойчивого развития, то вопрос формирования общества высокой экологической культуры возможен только в процессе воспитания и образования личности. Человек должен владеть как базовыми экологическими знаниями и воспринимать их органически, так и реальными методами участия в деятельности по сохранению природной среды, в том числе и водной.

Библиографический список

1. Бахур А. Е. Радиоактивность природных вод / А. Е. Бахур // АНРИ. — 1996/1997. — № 2. — С. 35–39.
2. Булатов Р. В. Подземные воды Урала / Р. В. Булатов. — Екатеринбург : Банк культурной информации, 2002. — 240 с.
3. Василенко Л. В. Методы очистки промышленных сточных вод : учеб. пособие / Л. В. Василенко, А. Ф. Никифоров, Т. В. Лобухина. — Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. — 174 с.
4. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. — Москва : Айрис-пресс, 2004. — 576 с.
5. Водные ресурсы Свердловской области / Под науч. ред. Н. Б. Прохоровой ; РосНИИВХ. — Екатеринбург : АМБ, 2004. — 432 с.
6. Геккель Э. Красота форм в природе / Э. Геккель. — Санкт-Петербург : Издательство Вернера Регена, 2007. — 144 с.
7. Голуб А. А. Экономика природопользования / А. А. Голуб, Е. Б. Струкова. — Москва : Аспект Пресс, 1995. — 319 с.
8. Горохов В. Л. Экология : учеб. пособие / В. Л. Горохов, Л. М. Кузнецов, А. Ю. Шмыков. — Санкт-Петербург : Изд. Дом «Герда», 2005. — 688 с.
9. Давиденко И. В. Ресурсы цивилизации / И. В. Давиденко, Я. А. Кеслер. — Москва : Эксмо, 2005. — 544 с.

10. Квашнин Ю. А. Нормирование качества вод / Ю. А. Квашнин, Н. Б. Нефедьев, С. Г. Псюрниченко // Экология производства. — 2006. — № 10. — С. 12–14.
11. Красногоров В. С. Юстус Либих / В. С. Красногоров. — Москва : Знание, 1980. — 144 с.
12. Малышева А. Г. Неучтенная опасность воздействия химических веществ на здоровье человека // Гигиена и санитария. — 2003. — № 6. — С. 34–36.
13. Марков Ю. Г. Социальная экология. Взаимодействие общества и природы : учеб. пособие / Ю. Г. Марков. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2004. — 544 с.
14. Материалы VII Международного конгресса ЭКВАТЭК: в 2 ч. / Под общ. ред. д-ра мед. наук, проф. Л. И. Эльпинера. — Москва : ЭКВАТЭК, 2006. — 832 с.
15. Микулинский С. Р. Карл Францевич Рулье, 1814–1858: ученый, человек и учитель / С. Р. Микулинский. — Москва : Наука, 1989. — 285 с.
16. Микшевич Н. В. Водная среда и безопасность человека : учеб. пособие / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук. — Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2014. Ч. 1. — 118 с.
17. Миркин Б. Н. Устойчивое развитие : учеб. пособие / Б. Н. Миркин, Л. Г. Наумова. — Уфа : РИЦ БашГУ, 2009—148 с.
18. Митчелл Пол. 101 ключевая идея: Экология / П. Митчелл ; пер. с англ. О. Перфильева. — Москва : ФАИР-ПРЕСС, 2001. — 224 с.
19. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев. — Москва : Наука, 1987. — 304 с.
20. Моисеев Н. Н. Экология человечества тазами математика: Человек, природа и будущее цивилизации / Н. Н. Моисеев. — Москва : Мол. гвардия, 1988. — 254 с.
21. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. Т. 1: пер. с англ. / Б. Небел. — Москва : Мир, 1993. — 420 с.

22. Никифоров А. Ф. Природопользование и охрана окружающей среды : учеб. пособие / А. Ф. Никифоров, И. Н. Липунов, Л. В. Василенко. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ: УГЛТУ, 2007. — 223 с.
23. Одум Ю. Экология / Ю. Одум. — Москва : Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.
24. Парамонов А. А. Дарвинизм : учеб. пособие / А. А. Парамонов. — Москва : Просвещение, 1978. — 336 с.
25. Перельман А. И. Геохимия : учебник / А. И. Перельман. — 2-е изд. — Москва : Высшая школа, 1989. — 528 с.
26. Раманд Ф. Основы прикладной экологии / Ф. Раманд. — Ленинград : Гидрометеиздат, 1981. — 736 с.
27. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н. Ф. Реймерс // Россия Молодая. — Москва, 1994. — 367 с.
28. Риклефс Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. — Москва : Мир, 1979. — 424 с.
29. Сердюцкая Л. Ф. Системный анализ и математическое моделирование экологических процессов в водных экосистемах / Л. Ф. Сердюцкая. — Москва : КМК, 2007. — 384 с.
30. Физико-химические процессы очистки воды : учеб. пособие / Е. В. Мигалатий [и др.]. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2004. — 160 с.
31. Хорн Р. Морская химия / Р. Хорн. — Москва : Мир, 1995. — 396 с.
32. Черняев А. М. Водные ресурсы, их использование и охрана / А. М. Черняев, Н. Б. Прохорова. — Екатеринбург : Изд-во РосНИИВХ, 2002. — 300 с.
33. Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции / С. С. Шварц. — Москва : Наука, 1980. — 278 с.
34. Шилов И. А. Экология / И. А. Шилов. — Москва : Высшая школа, 1997. — 512 с.

35. Экологические системы. Компьютерное моделирование процессов в экосистемах / А. Ф. Никифоров [и др.]. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 102 с.
36. Элементы общей экологии: конспект лекций / А. Ф. Никифоров, Е. В. Мигалатий, И. С. Шахов, Б. С. Браяловский. — Екатеринбург : УГТУ, 1998. — 60 с.
37. Энгельс Ф. Диалектика природы / Ф. Энгельс. — Москва : Госполитиздат, 1953. — 328 с.
38. Estimation of underground water radon danger in Bakreswar and Tantloi Geothermal Region (India) / A. K. Naskar [etc.] // Radioanal Nucl Chem. — 2018. — 315 (2). — P. 273–283.
39. Fukushima-derived radionuclides in sediments of the Japanese Pacific Ocean coast and various Japanese water samples (seawater, tap water, and coolant water of Fukushima Daiichi reactor unit 5) / K. Shozugawa [etc.] // Radioanal Nucl Chem. — 2016. — 307. — P. 1787–1793.
40. Radon in Groundwater Drinking Water of Sverdlovsk Oblast: Determination of Activities and Methods of Disposal / V. S. Semenishchev [etc.] // Water Industry of Russia. — 2017. — 2. — P. 108–119.
41. Seminsky K. Radon in underground waters of Baikal and Transbaikalia: spatial-temporal variations / K. Seminsky, A. Seminsky // Geodynamics & Tectonophysics. — 2016. — 7 (3). — P. 477–493.
42. ^{238}U , ^{234}U and ^{226}Ra concentrations in mineral waters and their contribution to the annual committed effective dose in Turkey/P. E. Erden [etc.] // Radioanal Nucl Chem. — 2014. — 301. — P. 159–166.

Оглавление

Введение	3
1. Экология и природоохранная деятельность	6
1.1. Предмет изучения экологии.....	6
1.2. Специфика современной экологии	9
2. Структура и причины устойчивости экосистем	13
2.1. Структура экосистем	13
2.2. Экологические факторы.....	22
2.3. Устойчивость экосистем	29
2.4. Изменение экосистем.....	36
2.5. Экосистема человека	43
3. Сохранение и восстановление экосистем	46
3.1. Принципы и мотивы охраны природных ресурсов.....	46
3.2. Обобщения Барри Коммонера и фундаментальные законы физики	50
3.3. Противоречия между принципами функционирования экосистем и хозяйственной деятельностью человека	56
3.4. Экологическая политика и природоохранная деятельность	58
3.5. Технологические подходы к решению экологических проблем.....	59
4. Доступность и качество природной воды как основа стабильности социальных систем	62
4.1. Вода в природных экосистемах.....	62
4.2. Состав природных вод.....	64
4.3. Радиоактивность природных вод.....	68

4.4. Водные ресурсы	71
4.5. Состояние водных объектов как индикатор общего загрязнения окружающей среды.....	82
4.6. Качество питьевой воды и здоровье населения.....	99
4.7. Дефицит питьевой воды	109
4.8. Основные направления водопользования.....	117
4.9. Стратегическое значение водных ресурсов	124
4.10. Современные решения по очистке природных вод....	128
5. Охрана водных ресурсов от загрязнения и истощения.....	132
5.1. Промышленные сточные воды	132
5.2. Регламентация поступления загрязняющих веществ в водные объекты	146
5.3. Нормирование загрязняющих веществ в водных объектах.....	150
5.4. Мониторинг водных объектов	157
5.5. Водоохранные зоны водных объектов	160
5.6. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий	165
5.7. Рыночный механизм охраны водных объектов.....	177
Заключение	181
Библиографический список.....	184

Для заметок

Учебное издание

**Никифоров Александр Федорович,
Кутергин Андрей Сергеевич,
Семеничев Владимир Сергеевич,
Никифоров Сергей Владимирович**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Редактор И. В. Коршунова
Верстка О. П. Игнатъевой

Подписано в печать 09.04.2019. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Цифровая печать. Усл. печ. л. 11,2.
Уч.-изд. л. 9,16. Тираж 40 экз. Заказ 84

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: +7 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

