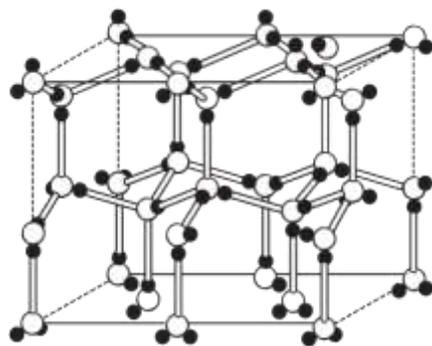


ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ



Рецензенты:

Александр Пивоваров, д.т.н., профессор, ректор Украинского государственного химико-технологического университета, Днепропетровск

Олег Дормешкин, д.т.н., профессор, проректор Белорусского государственного технологического университета

Рустам Азизов, д.т.н., профессор, Вице-президент Академии Наук Республики Таджикистан

Этот учебник – результат совместной работы партнеров из восьми университетов, участвующих в международном проекте «Гармония Воды». Учебник содержит как теоретическую, так и практическую информацию, а также национальные, региональные и международные научные и статистические данные.

Учебник будет полезен студентам и аспирантам, а также специалистам и профессионалам в области водоподготовки и очистки сточных вод.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	
.vii ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ	
.ix ВСТУПЛЕНИЕ	
.xi ГЛАВА 1	
ВОДА В БИОСФЕРЕ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА	1
1.1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ.....	2
1.2. ВОДА В ПРИРОДЕ.....	15
1.2.1. Водные ресурсы.....	15
1.2.1.1. Водные ресурсы в мире.....	15
1.2.1.2. Водные ресурсы в Европе.....	17
1.2.1.3. Водные ресурсы в Норвегии	20
1.2.1.4. Водные ресурсы Украины	22
1.2.1.5. Водные ресурсы Республики Беларусь.....	24
1.2.1.6. Водные ресурсы Республики Казахстан.....	25
1.2.1.7. Водные ресурсы Республики Таджикистан.....	32
1.2.1.8. Водные ресурсы Кыргызской Республики.....	38
1.2.1.9. Водные ресурсы Российской Федерации.....	41
1.2.1.10. Водные ресурсы Республики Молдова	43
1.2.2. Круговорот воды в природе.....	47
1.2.3. Химия гидросферы.....	52
1.2.3.1. Характеристика процессов, протекающих в природных водах.....	52
1.2.3.2. Кислотно-основное равновесие в природных водах.....	61
1.2.3.3. Окислительно-восстановительные процессы в гидросфере.....	68
1.2.3.4. Свободные радикалы в природных водах.....	80
1.2.3.5. Тяжелые металлы в природных водах.....	89
1.2.3.6. Процессы самоочищения в природных водах	99
1.2.3.7. Общее состояние природных вод	108
1.2.3.7.1. Общее состояние природных вод в мире	108

1.2.3.7.2.Общее состояние природных вод в Европе.....	108
1.2.3.7.3.Общее состояние природных вод в Норвегии.....	110
1.2.3.7.4.Общее состояние природных вод Украины.....	112
1.2.3.7.5.Общее состояние природных вод Республики Беларусь.....	115
1.2.3.7.6.Общее состояние природных вод Республики Казахстан.....	117
1.2.3.7.7.Общее состояние природных вод Республики Таджикистан.....	118
1.2.3.7.8.Общее состояние природных вод Кыргызской Республики.....	120
1.2.3.7.9.Общее состояние природных вод Российской Федерации.....	122
1.2.3.7.10.Общее состояние природных вод Республики Молдова.....	126
1.3. РОЛЬ ВОДЫ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА.....	132
1.4. РОЛЬ ВОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ..	136
1.5. ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ.....	140
1.5.1. Водные проблемы.....	140
1.5.1.1. Водные проблемы в мире.....	141
1.5.1.2. Водные проблемы в Европе.....	144
1.5.1.3. Водные проблемы в Норвегии.....	148
1.5.1.4. Водные проблемы Украины.....	150
1.5.1.5. Водные проблемы Республики Беларусь.....	150
1.5.1.6. Водные проблемы Республики Казахстан . . .	151
1.5.1.7. Водные проблемы Республики Таджикистан. .	152
1.5.1.8. Водные проблемы Кыргызской Республики . .	155
1.5.1.9. Водные проблемы Российской Федерации . .	157
1.5.1.10. Водные проблемы Республики Молдова . . .	158
ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 1.....	160

Глава 2 . ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ	165
-----------------------------	-----

2.1. ПОНЯТИЕ О ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	167
--------------------------------------	-----

2.2. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ (ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО)	
КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ	171
2.2.1. Регламентирующая и законодательная база	
контроля и управления водными ресурсами.....	174

2.2.2. Принципиальные положения европейской и национальных систем мониторинга природных вод	180
2.2.2.1. Принципиальные положения европейской системы мониторинга природных вод	180
2.2.2.2. Принципиальные положения норвежской системы мониторинга природных вод	182
2.2.2.3. Основные положения системы мониторинга природных вод в некоторых странах Содружества Независимых государств (СНГ):	183
2.2.2.4. Мониторинг качества природных вод для купания (рекреации).....	185
2.2.2.5. Правовое регулирование охраны и использования водных ресурсов.....	186
2.2.2.6. Понятие о мониторинге и о контроле водопотребления и водоотведения	187
2.2.2.7. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением . . .	188
2.2.2.7.1. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в мире	188
2.2.2.7.2. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением ЕС	189
2.2.2.7.3. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в Норвегии	190
2.2.2.7.4. Общие сведения о контроле водоотведения (сброса сточных вод) в странах СНГ	192
2.2.3. Нормирование водопотребления и водоотведения.....	193
2.2.3.1. Принципиальные положения общей системы гигиенического нормирования экологических факторов	194
2.2.3.2. гигиеническое регламентирование качественных и количественных показателей питьевой воды	199
2.2.3.3. гигиеническое регламентирование химических веществ в природных водах.....	208

2.3. НОРМИРОВАНИЕ СБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ	215
2.4. ПОКАЗАТЕЛИ ВЗАИМНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОБЪЕКТЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА	225
2.5. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ	233
2.5.1. Системы и схемы водоснабжения	233
2.5.2. Удельное водопотребление	235
2.5.3. Режим водопотребления, определение расчетных расходов воды и необходимых напоров в населенном пункте	236
2.5.4. Источники водоснабжения	238
2.5.5. Водозаборные сооружения	240
2.5.6. Насосы и насосные станции	242
2.5.7. Наружные сети и сооружения систем водоотведения	243
2.6. БАССЕЙНОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ БАССЕЙНОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В МИРЕ	251
2.7. ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ (ИУВР)	257
2.8. ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	265
2.9. ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ ...	270
Приложение к главе 2	
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ИХ РЕШЕНИЯ	274
П.1. Оценка риска здоровью человека, связанного с потреблением питьевой воды	274
П.2. Эквивалентное население	277
П.3. Определение требуемой степени очистки	279
П.4. Нормативы допустимых сбросов	281
ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 2	285

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изобилие воды на планете, обманчиво – менее 0,003% доступно для наших бытовых, промышленных и прочих нужд. Это ограниченное количество неравномерно и несправедливо распределено среди нынешнего населения, равного примерно 7 миллиардам людей. Кроме того, вода тратится впустую, загрязняется, используется нерационально и не ценится во многих частях мира. Таким образом, будет правильно сказать, что будущее человечества и всей планеты зависит от того, как мы сможем позаботиться об этом ценном и дефицитном ресурсе.

Инженерам и экологами принадлежит ключевая роль в управлении водными ресурсами. Мы должны многому научиться друг у друга, не тратить время и ресурсы впустую, и начать совместно действовать для нашего общего будущего. Группа профессионалов по водной тематике из восьми университетов разных стран: Украины, Беларуси, Казахстана, Таджикистана и Норвегии, в 2011 году решила начать совместную работу по обмену знаниями об управлении водными ресурсами и технологиям очистки воды, для улучшения качества обучения студентов профильных специальностей. Уникальный проект – Водная Гармония – родился с целью согласования учебных программ по водным специальностям в этих университетах.

Этот учебник является одним из результатов деятельности проекта Водная Гармония. Профессора из восьми университетов работали вместе для создания учебника, который может быть использован не только студентами, аспирантами, преподавателями, учеными, специалистами-практиками стран-участниц, но и на международном уровне. Мы полагаем, что эта книга – ценное дополнение к уже существующей специальной, учебной и справочной литературе в этой области. В ней так же представлена информация о некоторых специфических аспектах регионов и стран, что делает книгу ценной для политиков и профессионалов, ориентированных на решение национальных и международных проблем водных ресурсов. Этот учебник будет доступен на пяти языках. Большая часть книги так же будет доступна в электронном варианте для обеспечения более широкого распространения.

Учебник охватывает темы, связанные с управлением водными ресурсами, а также с физико-химическими методами удаления загрязнителей, использующимися в водоснабжении и в процессах очистки сточных вод. Нашей целью является создание более комплексного учебника в будущем – добавление описания всех методов очистки воды.

Данный учебник создан усердным трудом многих специалистов из восьми университетов. Огромная финансовая поддержка оказана правительством Норвегии посредством Норвежского Центра Международного

Сотрудничества в Образовании, что позволило воплотить этот проект в жизнь.

Студент Вы или профессионал, мы рассчитываем, что эта книга усовершенствует Ваши знания и усилит любовь к водной профессии. Мы надеемся на постоянное улучшение качества этого учебника и ценим Ваши комментарии и предложения по этому поводу.

Игорь Михайлович Астрелин

Профессор, д.т.н,
Декан, Химико-технологический
факультет
Национальный технический
университет Украины
«Киевский политехнический
институт», заслуженный деятель
науки и техники Украины,
Украина

Харша Ратнавира

Профессор, dr.ing.
Председатель
научного совета
Институт математических
наук и технологий
Норвежский университет
естественных наук,
Норвегия

post@waterh.net
Март 2015

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Учебник подготовлен интернациональным авторским коллективом специалистов в управлении водными ресурсами, водоподготовке и очистке сточных вод в составе: Андрей Гироль, Анна Лихачева, Владимир Марцұл, Геннадий Столяренко, Евгений Герасимов, Зафар Разыков, Захар Малецкий, Иван Потравный, Игорь Астрелин, Илья Тромбицкий, Малик Жекеев, Наталья Толстопалова, Наталья Фомина, Николай Гироль, Олег Дормешкин, Ольга Сангинова, Роман Смотраев, Харша Ратнавира и Эркин Оролбаев.

Наталья Толстопалова, Ольга Сангинова и Ирина Косогина проводили оперативную редакцию текстов, и анализ всех материалов, предоставленных командой основных авторов. Игорь Астрелин и Харша Ратнавира являются редакторами этой книги.

Сергей Шийка и Стiaan Сессион отформатировали рисунки в учебнике, в то время как Наталья Сивченко, Кая Бинг и Лелум Манамперума содействовали в исправлении ошибок и логистике. Издательство “Ника-Центр” подготовило учебник к окончательному варианту, который Вы сейчас держите в руках.

Грид-Арэндал-ЮНЕП, Европейское экологическое агентство (ЕЕА), некоторые национальные агентства и агентства ООН, а также многие другие организации любезно позволили нам использовать их рисунки и другие материалы в этом учебнике. Сергей Шийка подготовил дизайн обложки по фотографиям Юрия Калашникова.

Борд Некаланд и коллеги из Норвежского Центра Международного Сотрудничества в Образовании (SIU) организовали программу Евразия и оказали щедрую финансовую поддержку всего проекта при поддержке правительства Норвегии.

Алмагуль Кадирбаева, Владимир Куликович, Далержон Ходжибаев, Джамшед Шерматов, Лаура Айкозова, Наталия Фомина, Раъно Турсунбоева и Роман Смотраев содействовали в переводе книги с русского на украинский, белорусский, казахский и таджикский языки.

Некоторые материалы, включенные в этот учебник, были предоставлены студентами, магистрами и аспирантами, которые проводили исследования по водной тематике.

Многие специалисты внесли ценный вклад в воплощение этого учебника в реальность, и мы сожалеем, что не имеем возможности упомянуть их всех лично. Мы ценим вклад наших коллег в этот проект из следующих университетов:

- Национальный технический университет Украины “Киевский Политехнический Институт”, Киев, Украина;
- Норвежский университет естественных наук, Ос, Норвегия;

Выражение признательности

- Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
- Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск, Таджикистан;
- Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина;
- Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск, Украина;
- Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина;
- Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

Реализация этого учебника стала возможной благодаря Проекту Водная Гармония, который был инициирован профессорами Харшой Ратнавира и Игорем Астрелиным. Роман Смотряев координировал Евразийское сотрудничество проекта при непрерывной поддержке Михаила Бурмистра, ректора Украинского государственного химико-технологического университета, Днепропетровск.

Мы также благодарим всех коллег проекта Водная Гармония, которые внесли свой вклад в успех этого учебника, в том числе Андрей Громько, Арве Хейстад, Людмила Ещенко и Музафар Юнусов.

Авторы признательны рецензентам за просмотр рукописи и сделанные при этом ценные замечания и рекомендации, которые были с благодарностью приняты. Авторы выражают благодарность Т.Е. Митченко, А.К. Запольскому за помощь в подборе материалов и их обсуждении.

Всем Вам, кто способствовал этому изданию различными способами, огромная благодарность за Ваше участие в подготовке учебника. Надеемся, что проведенная авторским коллективом работа будет оценена всеми читателями!

ВСТУПЛЕНИЕ

Вода – вот первооснова всего сущего. Из воды вещи зарождаются в самом начале и в нее превращаются при окончательном уничтожении, причем первооснова остается неизменной, а меняются только ее состояния.

Фалес Милетский
(VII–VI век до новой эры)

Во всей вселенной сложно найти более уникальный феномен, нежели вода. Принимая различные формы и обладая бесконечным множеством свойств, она тем или иным образом влияет на нашу жизнь, первоисточником которой является. Вода способна создавать, равно как и разрушать; быть источником как крепкого здоровья, так и опасных болезней; очищать тело, разум и дух, но в то же время нести смерть.

Неудивительно, что еще предки многих народов почитали воду как божество, передавая традиции глубокого уважения к ней из поколения в поколение. С самого рождения люди приучались ценить воду, не говорить вблизи нее бранных слов, не осквернять ее. Чтобы напиться, мужчины снимали в знак почтения, как и перед хлебом, головной убор, а женщины надевали чистое платье, собираясь по воду. Эти действия были так же естественны, как вдох и выдох.

Сегодня же мы все больше воспринимаем воду как должное, зная, что она всегда рядом. Кажется, что так будет всегда, ведь всем известно, что более двух третей поверхности Земли занимает вода. Вот только пригодной для питья – всего около одного процента, да и эта цифра неуклонно уменьшается.

Вода – драгоценный, а вернее – бесценный, дар природы, обеспечивающий существование всего живого и самой жизни на Земле. Действительно, значение воды для существования жизни на Земле переоценить невозможно. Ученые считают, что именно Мировой океан является колыбелью жизни. Не случайно Антуан де Сент-Экзюпери написал о воде: “Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты – сама жизнь... Ты самое большое богатство в мире!”

Вода на протяжении тысячелетий поила и кормила человечество. Она позволяет осваивать новые земли и заставляет цвести пустыни. Цивилизации Египта, Средней Азии, Индии и многих других регионов Земли развивались благодаря совершенным для того времени системам водоснабжения. Водные пути объединяли народы и материки, давали и дают возможность совершать великие географические открытия. Вода принадлежит к тем великим стихиям природы, которые с древних вре-

мен поражали воображение людей. Они видели в ней первооснову всего существующего на Земле, ей поклонялись как всемогущему божеству, дарующему жизнь, ее боялись, как неведомую и опасную силу, ей приписывали магические свойства. У отважных мореходов древности – греков бог моря Посейдон считался в то же время колебателем Земли. В преданиях о гибели легендарной Атлантиды эллинская мифология связывала могучие силы Земли и моря, ополчившиеся на человека по воле разгневанных богов. Землетрясения, сопровождающиеся катастрофическими наводнениями, стирали с лица Земли древние цивилизации. И тем не менее они снова и снова возникали на морских побережьях или в долинах рек.

С давних времен вода служила для защиты от врагов. Реки служили естественными рубежами между государствами и отдельными владениями.

Мы не просто не можем прожить без воды, но и сами состоим из воды. Тело взрослого человека содержит ~65% воды, а организм новорожденного – до 75%. Это же можно сказать и про животный и растительный мир. Наша зависимость от воды определяется прежде всего необходимостью постоянно поддерживать и обновлять ее запасы в организме, потребляя в сутки не менее 2–3 литров. Для поддержания нормальной жизнедеятельности человеческому телу требуется воды приблизительно в 2 раза больше по весу, чем пищи. Обезвоживание организма на 10% уже опасно, а 25% – смертельно для человека; не удивительно, что без пищи человек может жить несколько недель, тогда как без воды он погибает через 2–3 дня.

Вода сопутствует человеку всю его жизнь, от первого до последнего дня. Она кормит и поит, греет и охлаждает. Без нее не обходится ни одна область жизнедеятельности: в повседневной жизни человека вода используется для питья, приготовления пищи, удовлетворения санитарно-гигиенических потребностей. Вода необходима для реализации бесчисленного множества технологических процессов, выращивания сельскохозяйственной продукции и для переработки ее в продукты потребления, а также для различных областей промышленности, где она используется как сырье, реагент, растворитель, дисперсионная среда, теплоноситель, промывочное средство и др.

Потребление воды непрерывно растет. Неудивительно, что проблема водообеспечения быстрорастущего населения планеты стала одной из основных мировых проблем. Если раньше вода считалась бесплатным и неисчерпаемым даром природы, то сейчас человечество серьезно задумывается над явственной исчерпаемостью запасов пресной воды. Наличие не просто воды, как таковой, а именно качественной питьевой воды для современного человека – одна из основных наиболее болезненных проблем нашей цивилизации. Запасы пресной воды на планете чрезвычайно ограничены, и уже сегодня во многих районах земного шара ощущается ее дефицит. Эксперты прогнозируют, что до 2025 года нехватка пресной воды питьевых кондиций в странах с высокими темпами развития увеличится на 50%, в развитых странах – на 18%. В 2030 году от недостатка пресной воды будет страдать 47%, а к 2050 году – 2/3 населения планеты.

Как утверждают авторитетные политики, если в будущем и будут межгосударственные войны, то это будут войны за источники пресной воды. В связи с постоянно ухудшающейся ситуацией с пресной водой в мире Совет ООН по правам человека принял резолюцию, в соответствии с которой право на пресную воду и санитарии признано основным правом человека.

Положение осложняется тем, что все больше растет потребность в пресной воде и все больше ее расходуется. И хотя основная масса пресной воды не исчезает, а так или иначе возвращается в ее круговорот, но возвращается она, как правило, загрязненной и для повторного использования нуждается в дорогостоящей очистке. Для разбавления 1 м³ неочищенных сточных вод до сравнительно безопасной концентрации требуется 20–30 м³ природной чистой воды, а для стоков некоторых производств – на 3–4 порядка больше. Только после такого разбавления вода может стать пригодной для вторичного использования, да и то, как правило, с большими ограничениями. Чуть ли не половина всех сточных вод в мире сбрасываются в реки неочищенными. Очистка сточных вод – сложный и дорогостоящий процесс, к тому же самые совершенные водоочистные сооружения еще не решают проблемы защиты биосферы от загрязнения. Методы очистки сточных вод позволяют удалить от 80 до 95% загрязнений, но 5–20% все же поступают в природные воды. Вот почему комплексный подход к рациональному решению такой важной проблемы, как повсеместная экономия воды, обязательный переход на замкнутые циклы водоснабжения, разработка менее водоемких технологий, охрана вод от загрязнений и безусловная очистка всех бытовых и промышленных сточных вод, должны воспрепятствовать дальнейшему антропогенному загрязнению водных ресурсов.

Для обретения природной гармонии человечеству необходимо вернуться к истокам своего возникновения, заново воспитать в себе культуру обращения с водой, воззвать к духовному опыту предков. Ведь, в конце концов, каждый из нас и есть во многом вода, стало быть – наше отношение к этому дару природы является проекцией самоуважения.

В первой части данного учебника представлен анализ современного состояния водных ресурсов в мире и в некоторых странах Восточной и Западной Европы, Центральной Азии, изложены новейшие научные данные о физических, структурных, химических свойствах воды как химического вещества и как компонента природной водной системы. Большое внимание уделено принципиальным положениям управления водными ресурсами – регламентирующей и законодательной базе соответствующего экологического контроля, мониторинга, охраны вод с учетом особенностей европейской и национальных систем.

Учебник соответствует учебной программе подготовки студентов высших учебных заведений по водоочистным специальностям и может быть полезным ученым, инженерам, преподавателям, аспирантам и студентам разных специальностей, которые интересуются химией воды и управленческими, экологическими, технологическими проблемами в области водоподготовки и водоиспользования.

1

Вода В биосфере и жизни челоВека

1.1	ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ	2
1.2	ВОДА В ПРИРОДЕ	15
	Водные ресурсы.....	15
	Водные ресурсы в Европе	
	Водные ресурсы в Норвегии	
	Водные ресурсы Украины	
	Водные ресурсы Республики Беларусь	
	Водные ресурсы Республики Казахстан	
	Водные ресурсы Республики Таджикистан	
	Водные ресурсы Кыргызской Республики	
	Водные ресурсы Российской Федерации	
	Водные ресурсы Республики Молдова	
	Круговорот воды в природе.....	47
	Химия гидросферы.....	52
	Характеристика процессов, протекающих в природных водах	
	Кислотно-основное равновесие в природных водах	
	Окислительно-восстановительные процессы в гидросфере	
	Свободные радикалы в природных водах	
	Тяжелые металлы в природных водах	
	Процессы самоочищения в природных водах	
	Общее состояние природных вод	
1.3	РОЛЬ ВОДЫ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА	132
1.4	РОЛЬ ВОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	136
1.5	ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ	140
	Водные проблемы.....	140
	Водные проблемы в мире	
	Водные проблемы в Европе	
	Водные проблемы в Норвегии	
	Водные проблемы Украины	
	Водные проблемы Республики Беларусь	
	Водные проблемы Республики Казахстан	
	Водные проблемы Республики Таджикистан	

Водные проблемы Кыргызской Республики
Водные проблемы Российской Федерации
Водные проблемы Республики Молдова

ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 1
.160

1.1. Физические и химические свойства воды

*Понять воду – значит понять вселенную,
все чудеса природы и саму жизнь.*

Масару Эмото

Знания о воде во все времена эволюционного развития человеческого общества были движущей силой научно-технического прогресса. В зависимости от уровня наших знаний о воде и ее структуре определяется уровень знаний в химии, физике, биологии, экологии, медицине.

Структура воды влияет не только на ее физические, химические и биологические свойства, а и в значительной степени на ее свойства как универсального растворителя, что и предопределяет ее поведение как в природе, так и в технологических процессах.

Какие еще химические соединения могут быть более простыми, чем вода – H_2O ? Два атома водорода (Гидрогена) соединены с одним атомом кислорода (Оксигена). Однако воде присущи необычность и таинственность.

Анализ обычной воды показал, что в действительности это смесь нескольких разновидностей воды, которые являются соединениями нуклидов Оксигена и Гидрогена. Кроме обычного Гидрогена H , в природе встречается Гидроген с массовым числом 2 (дейтерий D) и еще более тяжелый – с массовым числом 3 (тритий T). В Оксигене, кроме обычного, с относительной атомной массой 16, выявлено еще два более тяжелых нуклида с относительными массами 17 и 18.

Теоретически могут существовать 42 изотопные разновидности воды, из которых 7 являются стойкими, т.е. нерадиоактивными. Однако пока что в природе выявлены далеко не все из них. На 99,73% гидросфера состоит из обычной воды. Остальная вода – тяжелая, в состав молекул которой входят изотопы Оксигена и Гидрогена.

Тяжелая вода, по сравнению с обычной, хуже растворяет соли. Лед из тяжелой воды плавится при температуре $3,318^\circ C$ ($276,468 K$). Химические реакции в тяжелой воде протекают значительно медленнее. Тяжелая

Таблица 1.1. Некоторые константы обычной (H_2O) и тяжелой (D_2O) воды

Показатель	Вода	
	обычная	тяжелая
Относительная молекулярная масса	18	20
Температура замерзания, $^\circ C$ (K)	0 (273,15)	3,8 (276,95)
Температура кипения, $^\circ C$ (K)	100 (372,15)	101,43 (374,58)
Плотность при $20^\circ C$ (293,15 K), г/см ³	0,9982	1,1056
Максимальная плотность при температуре	$+4^\circ C$ (277,15 K)	$+11,6^\circ C$ (284,75 K)

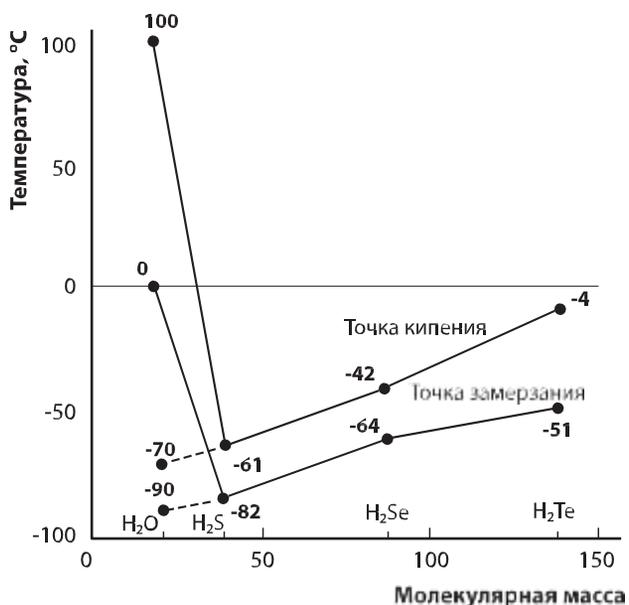
вода испаряется тоже медленнее, чем обычная, поэтому, вероятнее всего, некоторые замкнутые водоемы обогащаются тяжелой водой. Экспериментально подтверждено, что она угнетает растения, в больших дозах ведет к их гибели и вообще оказывает сильное негативное биологическое влияние на некоторые организмы. Однако в общей массе природной воды влияние изотопных ингредиентов на ее физические свойства не особенно чувствительно или пока что недостаточно изучено.

Многие физические свойства воды являются аномальными. Так, аналогами Оксигена *O* в пределах подгруппы шестой группы периодической системы элементов выступают Сульфур *S*, Селен *Se* и Теллур *Te*. Их соединения с Водородом (H_2S , H_2Se , H_2Te) подобны воде. Заряд ядра атома элемента, который их образует, определяет физические свойства веществ этого ряда. Действительно, если H_2Te – вещество с наибольшей относительной молекулярной массой этого ряда – кипит при температуре $-4\text{ }^\circ\text{C}$ (269 K), а замерзает при температуре $-51\text{ }^\circ\text{C}$ (222 K), то два других, более легких соединения (H_2Se и H_2S) кипят и замерзают при более низких температурах, которые прямо пропорциональны их относительным молекулярным массам (рис. 1.1). Справа налево на этом рисунке прослеживается плавный ход зависимостей, которые соединяют точки кипения и замерзания H_2Te , H_2Se и H_2S . Далее же для воды эти зависимости стремительно возрастают. Действительно, температура замерзания воды вместо ожидаемой в ряду зависимостей $H_2Te-H_2Se-H_2S-H_2O$: $-90\text{ }^\circ\text{C}$ (183 K) составляет $0\text{ }^\circ\text{C}$ (273 K), а температура ее кипения вместо $-70\text{ }^\circ\text{C}$ (103 K) составляет $+100\text{ }^\circ\text{C}$ (373 K).

Не подвергая сомнению общепризнанные законы, отметим, что вода – необычное и, может быть, уникальное исключение из правил. Причины этого явления пока что полностью не выяснены, хотя понятно, что загадки воды прячутся в строении ее молекулы и межмолекулярной структуры. Очевидно, что особенности воды определяются свойствами

Рисунок 1.1.

Аномалия точек кипения и замерзания воды в сравнении с другими соединениями водорода подобного молекулярного строения



элементов, которые ее образуют – Оксигена и Гидрогена. Гидроген – элемент, который не имеет ни одной заполненной, а значит – стойкой (устойчивой) электронной оболочки. Для ее заполнения ему необходим еще один электрон.

Как следствие, простота строения его атома – один протон и один электрон – обуславливает его особенные свойства. Хотя положительный заряд ядра его атома равняется отрицательному заряду электрона, атом Гидрогена в целом способен притягивать к себе некоторые другие атомы.

Иными словами, после соединения с другим атомом, например Оксигена, с помощью своего единственного электрона он приобретает некоторую дополнительную способность притяжения – способность образовывать так называемые низкоэнергетические **водородные связи**. Эта особенность определяется именно незаполненной электронной оболочкой атома Гидрогена.

Оксиген – не менее необычный элемент, поскольку для заполнения, а следовательно, обеспечения стойкости электронной оболочки ему недостает двух электронов на предпоследнем энергетическом уровне (шесть вместо восьми), а на последнем энергетическом уровне атома этого элемента содержится всего два электрона. Этим, а также относительно небольшим атомным радиусом и обуславливается его резко выраженный электроотрицательный характер. Он атакует все атомы, способные отдавать электроны, и поэтому является одним из самых активных элементов в природе.

Молекула воды состоит по массе из 11,19% Гидрогена и 88,81% Оксигена, т.е. один объем Оксигена соединяется с двумя объемами Гидрогена.

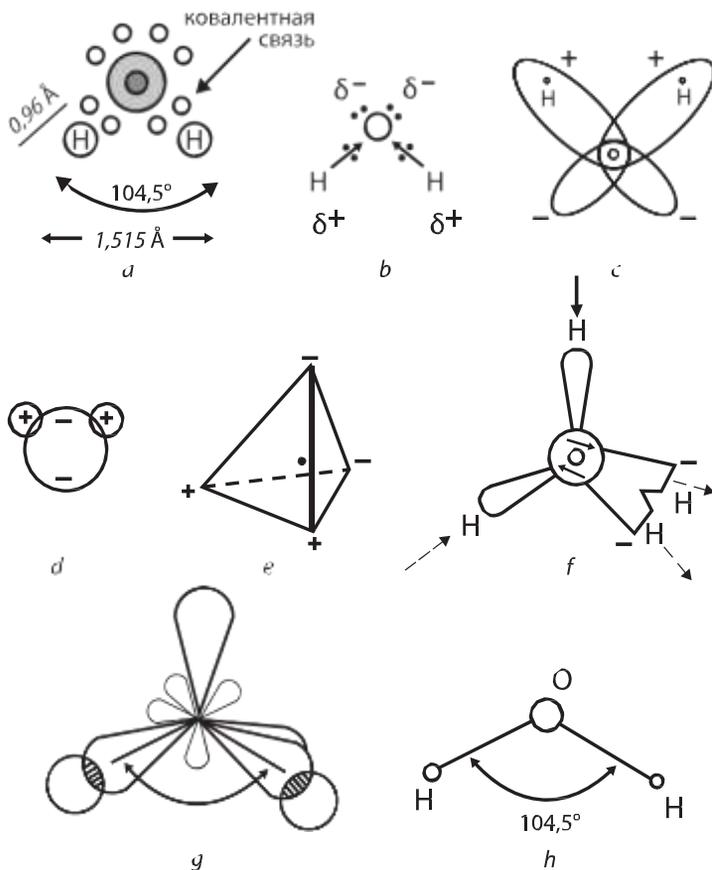
Оксиген и Гидроген активно соединяются друг с другом (иногда со взрывом) с образованием устойчивой молекулы, электроны в которой “находят себя”, поскольку атомы обоих элементов существуют как бы с дефицитом электронов (рис. 1.2, *a*). Атомы Оксигена и Гидрогена размещаются в микропространстве таким образом, что внешние электроны их атомов объединяются с образованием электронных пар. В результате этого возникает асимметричная молекула воды, около атома Оксигена которой концентрируется отрицательный (негативный) заряд, а возле атома Гидрогена – положительный (позитивный). Центры этих зарядов смещены один относительно другого, поэтому такая молекула подобна небольшому магниту (рис. 1.2, *d*).

Поскольку масса и заряд ядра Оксигена больше, чем у ядер Гидрогена, то электронное облако имеет неоднородную плотность (густоту). Около ядер Гидрогена – недостаток электронного облака, а на противоположной стороне молекулы, около ядра Оксигена, наблюдается избыток электронной плотности (рис. 1.2, *b*). Именно такая структура и определяет полярность молекулы воды. Около атома Оксигена концентрируется негативный, а около атомов Гидрогена – позитивный заряд, причем центры этих зарядов смещены один относительно другого (рис. 1.2, *c*).

Несколько абстрактной пространственной схемой строения молекулы воды является тетраэдр или четырехлопастный винт с двумя положительными и двумя отрицательными зарядами в вершинах тетраэдра

Рисунок 1.2.

Варианты строения молекулы воды



или на концах лопастей винта. В центре таких фигур размещается ядро атома Оксигена, на двух соседних вершинах тетраэдра или лопастей винта – положительно заряженные атомы Гидрогена, на двух других – отрицательно заряженные электроны (рис. 1.2, e, f).

Оксиген – более электроотрицательный, чем Гидроген, поэтому атомы этих элементов соединяются ковалентной полярной связью. Валентный угол между связями Н–О–Н равняется $104,5^\circ$, что соответствует sp^3 -гибридизации атомных орбиталей Оксигена и образованию прочных σ -связей с атомами Гидрогена (рис. 1.2, g, h). Таким образом, молекула воды угловая и полярная (дипольный момент $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1,84 \text{ D}$). Дипольные молекулы воды образуются по такой схеме: одна пара внутренних электронов размещается вблизи ядра Оксигена. Две пары внешних электронов попарно соединены между каждым из протонов и ядром Оксигена. Две пары остальных внешних электронов являются неподеленными, и их орбиты направлены к противоположным от протонов вершинам тетраэдра. Таким образом, в молекуле воды существует четыре полюса заряда: два отрицательных, которые обусловлены избытком электронной плотности в местах размещения неподеленных пар электронов (см. также рис. 1.2), и два положительных, образованных вследствие недостатка их в местах расположения протонов. Электрический момент диполя составляет $6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м}$.

Расстояние в водородной связи Н-Н составляет 0,1515 нм. Главные моменты инерции составляют ($\times 10^{-47}$ кг \square м⁻²)

$$J_A^\lambda = 1,0243, J_B^\lambda = 1,9207, J_C^\lambda = 2,9470.$$

Радиус молекулы воды – 0,138 нм.

Высокая полярность молекулы воды влечет за собой образование межмолекулярных связей, в своем большинстве водородных, благодаря этому вода и имеет аномально высокую температуру кипения.

Несмотря на большое различие электроотрицательностей ДЕН Оксигена и Гидрогена ($\Delta EN = 3,5 - 2,1 = 1,4$), связь между этими атомами в молекуле воды достаточно прочная (энергия связи 461 кДж/моль) по причине гибридизации валентных орбиталей атома Оксигена и небольшой длины связи. Поэтому вода плохо диссоциирует на ионы и является слабым электролитом ($K_{дис} = 1,8 \square 10^{-16}$). Молекулу воды очень трудно разрушить, поэтому вода может существовать в условиях разнообразных и очень сильных влияний, например в Космосе и в мантии Земли.

Сконструированные наподобие магнитов, молекулы воды и взаимодействуют как настоящие магниты, образуя пространственные структуры, поскольку каждая вершина тетраэдра может притягивать по одной молекуле воды, а всего – четыре молекулы. Электрическое взаимодействие между атомами Гидрогена одной молекулы воды и относительно свободными парами электронов атома Оксигена другой молекулы воды (водородная связь) и пространственные структуры молекул, которые возникают, определяют межмолекулярную структуру воды, которая и является одной из причин ее уникальности. Наличие неподеленных пар электронов на гибридизированных орбиталях атома Оксигена определяет способность молекул воды образовывать дополнительные связи по донорно-акцепторному механизму (например, ионы гидроксония H_3O^+).

Диэлектрическая проницаемость жидкой воды составляет 81. Таким образом, если поместить в воду полярную молекулу, ионный ассоциат, кристалл (совокупность противоположных зарядов), сила их межмолекулярного притяжения уменьшится в 81 раз (относительно вакуума). Вода является полярным растворителем, в котором многие вещества растворяются, а также диссоциируют на ионы. Весьма мало растворителей имеют полярность, превышающую полярность воды (это пероксид водорода H_2O_2 , серная кислота H_2SO_4 , фтороводород HF, циановодород HCN и др.). В то же время вследствие высокой реакционной способности, названные выше соединения почти не используются как растворители, таким образом – именно вода является уникальным растворителем.

Вероятно, что в кристаллической структуре льда все молекулы воды соединены в ажурную решетку, расстояние между атомами Оксигена в которой больше размеров одиночной молекулы, т.е. она пронизана “дырами”, или “пустотами”. Во время таяния льда и дальнейшего повышения температуры такая “ледяная” структура постепенно разрушается и вместе с каркасом, который частично сохраняется, появляются несвязанные молекулы воды, которые могут заполнять эти “дыры”. Описанная гипотеза хорошо поясняет аномалию льда – его меньшую плотность в сравнении с жидкой водой (как известно, жидкости во время

твердения образуют структуры со всегда большей плотностью, чем плотность исходной жидкости, поэтому он всегда тонет в последней). Вода ведет себя, как и другие жидкости, уменьшаясь в объеме во время охлаждения и увеличивая свою плотность до достижения наибольшей плотности ($0,999973 \text{ г/см}^3$) при температуре $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ ($277,13 \text{ K}$). Однако в случае дальнейшего ее снижения, вода начинает расширяться (плотность $0,999841 \text{ г/см}^3$ при $0 \text{ }^\circ\text{C}$; $273,13 \text{ K}$) и особенно сильно увеличивает свой объем во время превращения в лед (плотность $0,9168 \text{ г/см}^3$). Это аномальное свойство воды имеет огромное биологическое значение. Благодаря ему глубокие водоемы не промерзают зимой до дна и в них сберегается жизнь, потому что плотность льда меньше плотности жидкой воды, он всплывает на поверхность и образует теплонепроницаемый слой. В соответствии с гипотезой падение температуры ниже $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ ($277,13 \text{ K}$) принуждает одиночные молекулы “вылезать” из своих “щелей” и становится кирпичиками упорядоченной тетраэдрической структуры льда (каждая молекула воды связана водородными связями с четырьмя другими молекулами воды), наращивая тем самым свой объем и уменьшая плотность льда. Правда, до сих пор точно не выяснено, что именно заставляет молекулы воды “вылезать” из межатомных “щелей”.

Гипотеза о структуре льда предполагает, что она не разрушается сразу после таяния, а еще сберегается в виде фрагментов в течение долгого времени вплоть до достижения температуры кипения. Даже водяной пар, в котором преобладают одиночные молекулы, содержит сrostки молекул воды (до 11%). А если это именно так и жесткая структура льда сохраняется в жидкой воде (т.е. она является структурированной), то тогда почему она жидкая и течет? Для пояснения этого явления разработано несколько гипотез, например о существовании двух-, четырех- и восьми-членных структур, причем каждой температуре соответствует свой набор таких ассоциатов и одиночных молекул. Двух- и четырехчленные ассоциаты имеют вид цепочек, восьмичленные – замкнутых треугольных призм. Предложена также гипотеза о кластерной структуре воды, т.е. существовании “сгустков”, в которых соединены 12–150 молекул воды со свободными промежутками между ними. Такие “сгустки” быстро образуются и быстро расщепляются, поэтому их и называют “мерцающими” кластерами.

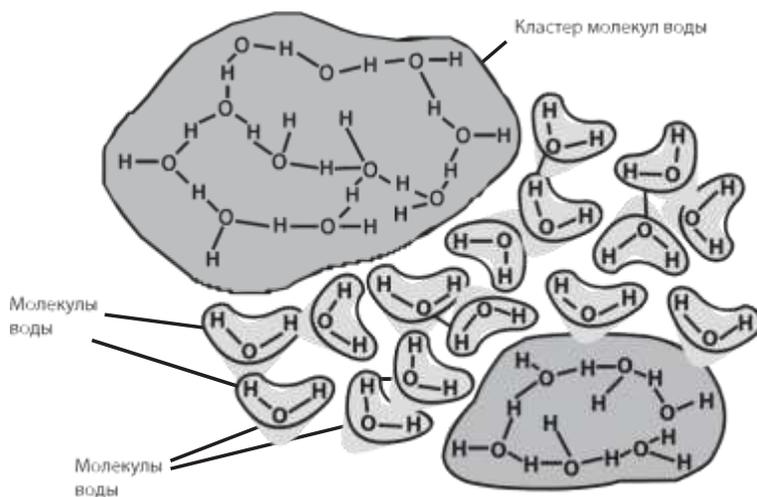
Действительно, благодаря имеющимся водородным связям каждая молекула воды образует подобные связи с четырьмя соседними молекулами, образуя ажурный сетчатый каркас жидкой воды – неупорядоченные структуры ближнего порядка (рис. 1.3).

Эти водородные связи являются спонтанными и короткоживущими (10^{-10} – 10^{-20} секунд). Они быстро разрушаются и образуются новые. Благодаря этому возникают неоднородности в структуре воды и, как следствие, наблюдаются упомянутые выше “аномалии воды”. Уже насчитано более 40 аномальных свойств воды (в том числе, рассмотренные выше).

Оба атома Гидрогена в молекуле воды (рис. 1.2, а) размещаются по одну сторону от атома Оксигена. Вследствие этого и высокой полярности связей Н–О молекула воды характеризуется чрезвычайно высокой поляр-

Рисунок 1.3.

Схема образования кластеров воды



ностью. Ионизационный потенциал молекулы воды составляет 12,6 В, а ее сродство к электрону – 88 кДж/моль.

Особенности физических свойств воды и наличие многочисленных недолго существующих водородных связей в молекуле воды создают благоприятные возможности для образования ассоциатов (кластеров). Об ассоциатах разного состава (называемых “гидроль”, “дигидроль”, “тригидроль”) ученые строили догадки еще в конце XIX столетия. В 20-е годы минувшего столетия была установлена тетраэдрическая структура льда и Джон Бернал (Bernal) и П. Фаулер (P. Fowler) высказали мысль о том, что подобная же структура, но менее упорядоченная (так называемый ближний порядок) характерна и для жидкой воды.

Рассматривалась в это же время и модель непрерывной сетки в воде – с представлением ее структуры как случайной тетраэдрической сетки, связи между молекулами в которой искривлены и имеют разную длину. В принципе такое представление о структуре воды поясняло ее уплотнение при расплавлении искривленных связей. Однако эта модель входила в противоречие с немонотонной зависимостью свойств воды от температуры и давления (что было в модели Бернала и Фаулера).

Франк и Ун (Frank и Wen, 1957) предложили модель “мерцающих кластеров”. В соответствии с этой моделью водородные связи в жидкой воде непрерывно образуются и рвутся. Длительность их существования составляет 10^{-10} – 10^{-11} секунд. Это позволяет пояснить высокую подвижность жидкой воды и ее невысокую вязкость. Тем не менее эта модель не смогла пояснить множество уже известных аномальных свойств воды. Поэтому чуть позже, во второй половине XX столетия, были предложены две группы “смешанных моделей”: кластерные и клатратные¹. Они по-

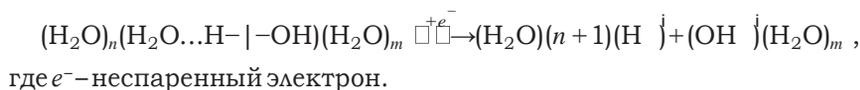
¹ Клатраты (соединения, включения) – образуются включением молекул (называемых гостями) в полости кристаллического каркаса, состоящего из молекул другого сорта (называемых хозяевами) – это решетчатые клатраты, или в полости одной большой молекулы-хозяина (молекулярный клатрат). Решетчатые клатраты существуют только в кристаллическом состоянии, молекулярные клатраты – и в растворах. Термин “клатраты” ввел в 1948 г. Г. Пауэлл (G. Powell) [см. Пауэлл Г.М. Нестехиометрические соединения / Пер. с англ. М.: Мир, 1971. – С. 398–450; Хоган М. Клатратные соединения, включения. – М.: Мир, 1966].

служили существенным прогрессом в пояснении свойств воды. В этих моделях вода представлялась как смесь протонофильных и гидроксофильных кластеров и клатратов. Их образование связано с атомом кислорода (две наполовину заполненные $2p^*$ -орбитали кислорода в основном состоянии, большое сродство к электрону (~40 кДж/моль) и несколько близко расположенных уровней облегчают кислородные образования большого числа соединений с относительно слабыми связями между исходными молекулами). Существенным является наличие неспаренных электронов, которые принимают участие в образовании контактных кислородных комплексов (продолжительность жизни 10^{-13} секунд) и комплексов с переносом заряда. Действительно, кластерно-клатратная модель постулирует возникновение в гетерогенной системе воды **сольватированного** электрона. Именно присутствие короткоживущего гидратированного электрона позволяет пояснить образование щелочной среды и восстановление первичных физико-химических характеристик воды через некоторый промежуток времени, а также возрастание дипольного момента линейного кластера в аморфной молекуле воды и тетраэдрического кластера за счет активации растворенного кислорода.

Среди кластерных моделей можно отметить модель, представленную на рис. 1.3: кластеры связанных молекул, которые плавают в море несвязанных молекул. В воде сберегается подобная гексагональному льду сетка водородных связей, пустоты которой частично заполнены мономерными молекулами. Л. Полинг (L. Pauling) предложил (1959) несколько другой вариант модели. Он считал, что основой структуры служит сетка водородных связей, которая свойственна некоторым кристаллогидратам.

Вариантами кластерных моделей воды являются кластеры и свободные молекулы, соединенные водородными связями. В клатратных моделях допускается возможность образования связей между пустотными и каркасными молекулами.

Существует гипотеза и про реализацию механохимических реакций радикальной диссоциации воды. Гипотеза базируется на том, что жидкая вода является динамичной нестабильной полимерной системой, и подобно механохимическим реакциям в полимерах при механическом воздействии на воду поглощенная ею энергия (необходимая для разрыва связей Н–ОН) локализуется в микрообъеме структуры воды по схеме

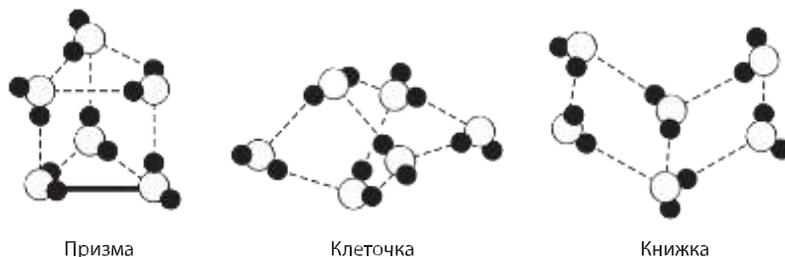


Поскольку диссоциация молекул воды и реакции радикалов OH^\bullet и H^\bullet происходят в ассоциированном состоянии жидкой воды, радикалы могут иметь продолжительные промежутки жизни (десятки секунд и больше) в результате реакций рекомбинации. Таким образом, в воде могут существовать достаточно устойчивые полимерные структуры.

Кен Джордан (K. Jordan) предложил модель структуры устойчивых “квантов” воды, которые состоят из шести ее молекул. Эти кластеры

Рисунок 1.4.

Модель структуры устойчивых “квантов” воды
(по Tsai и Jordan, 1993)



(кванты) могут объединяться друг с другом и со “сводными” (одиночными) молекулами воды за счет экспонированных на их поверхности водородных связей (рис. 1.4). В этой модели свободно растущие кристаллы твердой воды (лед или снежинки) должны иметь 6-лучевую структуру. Образование цепочек и колец из многих молекул воды подтверждено методом рентгеноструктурного анализа. Исследовательская группа из Стэнфордского университета тоже полагает, что цепочки и кольца из многих молекул воды являются долгоживущими элементами ее структуры.

Экспериментально показано, что в структуре воды водородные связи между молекулами льда имеют частично (на 10%) ковалентный характер. Это позволяет 10% молекул воды объединяться в достаточно долгоживущие полимеры. Последние подобно обычным полимерам могут разрушаться под действием звука, растяжения, продавливания через тонкие отверстия и т.п. Такое разрушение приводит к образованию более простых молекулярных структур – кластеров.

Благодаря водородным связям молекулы воды соединяются в беспорядочные ассоциаты – кластеры и водные кристаллы, в состав которых могут входить десятки, сотни и даже тысячи молекул. “Водные кристаллы” могут иметь разнообразную форму – как пространственную, так и двухмерную (в виде кольцевых структур). В основе всех структур – тетраэдр. Группируясь, тетраэдры молекул воды образуют разные структуры, но основной в природе является гексагональная, когда шесть молекул (тетраэдров) соединяются в кольцо. Этот тип структуры присущ снегу, льду, талой и клеточной воде всех живых организмов (рис. 1.5).

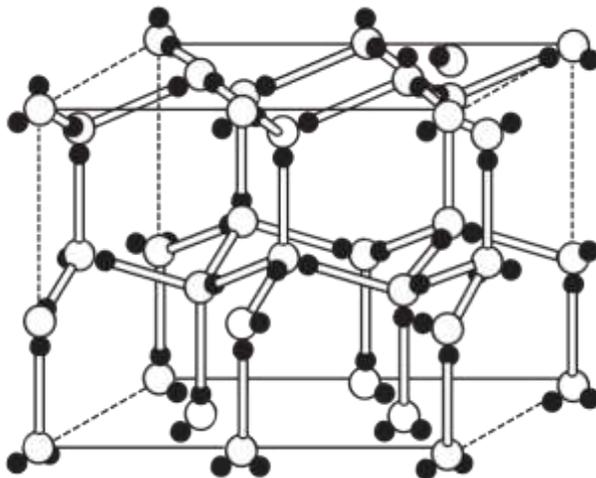
Молекулы воды способны образовывать три-, тетра-, пента- и гексамеры, которые в дальнейшем могут трансформироваться в более сложные ассоциаты – кластеры воды. Соединяясь друг с другом, простые кластеры могут образовывать сложные структуры с 20 и больше молекулами воды. Элементарными ячейками воды являются тетраэдры, которые соединяют между собой водородными связями четыре (простой тетраэдр) или пять молекул воды (объемноцентрированный тетраэдр).

С помощью водородных связей простые тетраэдры могут соединяться между собой вершинами, ребрами или гранями, образуя кластеры сложной структуры (например, в форме додекаэдра).

Таким образом, молекулы воды в результате броуновского движения и их столкновения будут взаимодействовать между собой с помощью водородных связей и образовывать кластеры более сложной структуры.

Рисунок 1.5.

Кристаллическая структура льда



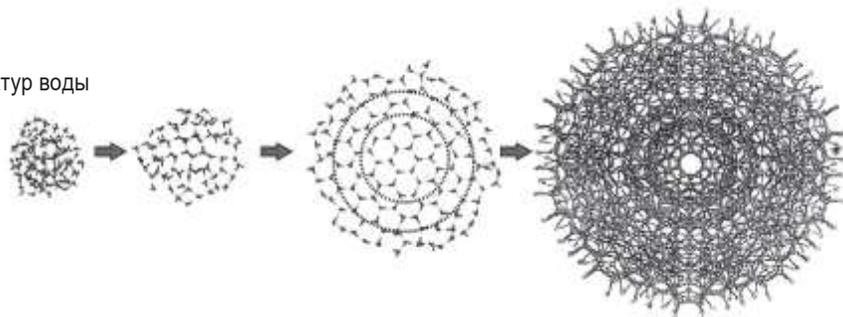
Относительно структурной устойчивости (стабильности, стойкости) воды ведется дискуссия: существуют мнения об устойчивости структуры из 24, 57, 1820 молекул воды. Кластерная структура в виде икосаэдра (в котором соединяются до 1820 молекул воды с образованием 13 более мелких структурных элементов) представлена на рис. 1.6.

Увеличение количества компонентов в ассоциате приводит к минерализации кластера и вырождения его в льдоподобную модель. При этом основной перенос заряда должен происходить за счет протона, а рекомбинация радикалов – в результате дезактивации протонов в виде газоподобного водорода, вследствие чего наблюдается повышение pH и формирование щелочных свойств в воде, а также увеличение доли гидратированных гидроксидов, которые, в свою очередь, принимают участие в образовании пероксида водорода, а также ассоциатов вертикального типа (так называемая стековая связь).

Образование гигантских гетерокластеров воды, размер которых может достигнуть 30–40 мкм и даже больше (60–70 мкм), подтверждено экспериментально (с использованием лазерного спектрометра). В то же время вероятность существования огромных кластеров типа икосаэдра, которые включали бы более 2000 молекул воды, при условии спонтанного и непрерывного разрыва водородных связей вызывает большие

Рисунок 1.6.

Схема образования икосаэдричных структур воды



сомнения. Вероятнее всего, экспериментаторы фиксировали образование газогидратов или ассоциатов кластеров, которые адсорбировались на поверхности микропузырьков газов, растворенных в воде.

На структуру образований (кластеров воды) могут влиять температура, давление, магнитное поле, УФ-излучение, звук, радиация и др. В клатратах воды пустоты могут наполняться молекулами газов, образуя кристаллогидраты (газогидраты, например метана – $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Растворенные в воде вещества и газы способствуют стабилизации кластеров и клатратов.

Таким образом, анализ существующих современных представлений о моделях структуры воды позволяет констатировать следующее:

1. Структура воды представляет собой фрактальную¹ клатратную модель, в которой молекулы воды объединены в кластеры с некоторым количеством молекул (точное значение пока что не установлено). Кластеры поочередно “разбавляются” пустотами (дырками). Основным структурным элементом кластеров является тетраэдр.

2. Молекулы воды тетраэдральной структуры объединяются в кластеры сложной конфигурации с помощью водородных связей, которые спонтанно и непрерывно разрываются (10^{-11} – 10^{-13} секунд). Современными методами фемтосекундной лазерной спектроскопии удается оценить продолжительность жизни водородной связи: ~200 фемтосекунд. Это именно то время, которое необходимо для того, чтобы протон нашел себе место в другом кластере. Образование больших кластеров, наличие их броуновского движения и влияние разных физических воздействий (турбулизация водных систем, действие электромагнитных полей, давления, звука и др.) приводят к разрыву водородных связей, что и поясняет их небольшую продолжительность существования.

3. Кластеры с различным количеством молекул воды возникают спонтанно и непрерывно разрушаются, т.е. из-за разрыва водородных связей образуются “мерцающие кластеры”. Этот процесс напоминает образование облаков в атмосферном воздухе. Но, конечно, кластеры разрушаются значительно быстрее, чем облака.

4. Кластеры более простой структуры пребывают в непрерывном спонтанном взаимодействии с другими кластерами или отдельными молекулами воды и образуют за счет водородных связей более сложную фрактальную клатратную структуру воды. В процессе их взаимодействия могут образовываться радикалы OH^{\bullet} и $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O}_2^+)$ – оксониевые ионы, которые обуславливают образование пероксида Гидрогена H_2O_2 , атомарного Гидрогена и новых кластеров.

5. Стабилизаторами структуры воды могут быть растворенные газы и вещества, которые тоже взаимодействуют с кластерами и отдельными молекулами воды.

6. На структуру кластеров воды могут влиять температура, давление, магнитное поле, звук, радиация, УФ-излучение, растворенные вещества и газы и др.

¹ Фрактал – геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, т.е. составленная из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком.

7. Поскольку кластерные структуры с различным строением кластеров непрерывно и спонтанно возникают и разрушаются, то можно утверждать, что в природе не существует двух одинаковых капель воды так же, как и двух абсолютно одинаковых снежинок.

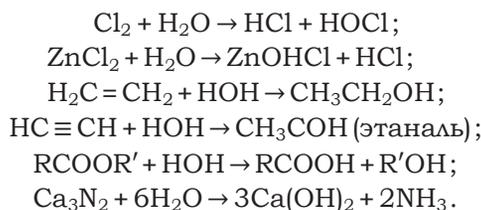
8. Следует принять во внимание, что на данном этапе развития знаний о воде рассмотренные модели воды не более, чем предположительные модели, которые вызваны стремлением приблизиться к пояснению аномальных свойств воды. По-видимому, глубинные физические свойства и строение воды еще ждут своих исследователей.

Возможно, что приемами современного и перспективного компьютерного моделирования можно будет получить достоверную подсказку относительно понимания физических и химических свойств воды, пояснить роль гетерогенных структур, фиксируемых в области температурного интервала существования живой природы (0–35 °С), в ускорении или торможении биологических и других природных процессов, во влиянии на механизм проводимости воды в квазикристаллическом каркасе или в других супрамолекулярных кластерах, на протекание многих технологических процессов и природных редокс-преобразований в природной воде, насыщенной кислородом и т.д.

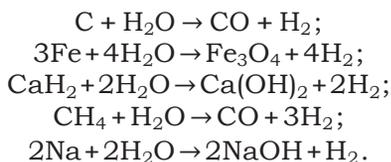
Эти и подобные им гипотезы все же объясняют принципиальную возможность воды быть структурированной и одновременно оставаться жидкой и текучей, а также многие аномалии воды, например уменьшение ее вязкости при повышении давления (в других жидкостях, наоборот – с повышением давления вязкость растет): это свойство воды обеспечивает ее большую подвижность глубоко в недрах планеты, где давление достигает огромных значений.

В химическом плане вода – достаточно активный реагент за счет наличия двух неподеленных пар электронов в атоме Оксигена и полярности молекул. Воду можно рассматривать как продукт взаимодействия ионов H^+ и OH^- (вода – амфолит, поскольку образует эти ионы в процессе диссоциации), которые являются носителями кислотных и основных свойств водных растворов. Поэтому чистая вода имеет нейтральную реакцию среды (рН 7, ионное произведение воды 10^{-14}).

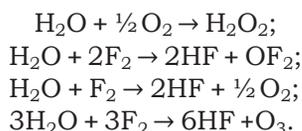
Благодаря способности воды образовывать донорно-акцепторные и водородные связи, существуют многочисленные межмолекулярные и комплексные соединения: гидраты ($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), кристаллогидраты ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), аквакомплексы ($[\text{Cu}(\text{OH})_6]\text{SO}_4$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]\text{Cl}_2$). С участием полярных молекул воды протекают процессы электролитической диссоциации электролитов, гидратации, гидролиза, реакции обмена и разложения различных органических и неорганических соединений, например:



Вода проявляет слабые окислительные свойства за счет атома Гидрогена в высшей степени окисления иона H^+ . При высоких температурах и в присутствии катализаторов вода окисляет углерод, метан, оксид углерода (II), железо, фосфор, в обычных условиях – щелочные и щелочно-земельные металлы, гидриды металлов:



Вода имеет также слабые восстановительные свойства за счет присутствия в ее молекуле атома Оксигена в нижней степени окисления (иона O^{2-}). Под действием сильных окислителей – атомарного кислорода, фтора – вода окисляется:



Вещества H_2O_2 , O_3 , OF_2 – продукты окисления воды, в состав молекула которых входит Оксиген в разных степенях окисления (-1, 0, +2).

Много реакций происходит лишь в присутствии следов воды (взаимодействие щелочных металлов с хлором, цепная реакция водорода с хлором и др.).

Литература к разделу 1.1

- Мосин О.В., 2013. Структура воды. <http://www.o8ode.ru/article/water/>
- Мосин О.В., 2008. Тяжёлая и лёгкая вода. <http://www.o8ode.ru/article/oleg/>
- Мосин О.В., 2014. Научные публикации о воде. <http://www.famous-scientists.ru/3634/>
- Jordan K.D., 1993. Theoretical Study of Small Water Clusters: Low-Energy Fused Cubic Structures for $(H_2O)_n$, $n = 8, 12, 16$ and 20 / K.D. Jordan, C.J. Tsai // J. Physical Chemistry. **97**. 5208–5210 с.
- Kokhanenko V., 2011. Quantum Modelling Processes of Active Oxidizing Agents Formation in Water / V. Kokhanenko, L. Masliuk, L. Koval // Proc. I UNESCO Conf. on Applied Physico-Inorganic Chemistry, Sevastopol, UA, 02-07.10.2011.
- Nakano N.I., 1970. Molecular interactions of pyrimidines, purines and some other heteroaromatic compounds in aqueous media / N.I. Nakano, S.J. Igarashi // Biochemistry. **9**. № 5. 577–583 с.
- Zapolsky A., 2013. Modern Representations on the Structure and Conductivity of Water / A. Zapolsky, K. Pershina, A. Gerasymchuk, K. Kazdobin // Water and Water Purification Technologies. **13**. №3. P. 24–40.
- Антонченко В.Я., 1986. Физика воды. – К.: Наук. думка. 127 с.
- Гончарук В.В., 2007. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды // Химия и технология воды. **29**. № 1. 3–17 с.
- Домрачев Г.А., 2004. Роль нейтральных дефектов в структурной химии жидкой воды / Г.А. Домрачев, Д.А. Селивановский, Е.Г. Домрачева, А.И. Лазарев, П.А. Стунжас, С.Ф. Шишканов, В.Л. Вакс // Журн. структурной химии. **45**. № 4. 670–677 с.
- Поллинг Л., 1974. Общая химия. – М.: Мир. 846 с.
- Tsai C.J., Jordan K.D. (1993). Theoretical study of small water clusters: Low-energy fused cubic structures for $(H_2O)_n$, $n = 8, 12, 16$, and 20 . The Journal of Physical Chemistry, **97**(20), 5208–5210.

1.2. Вода в природе

1.2.1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

1.2.1.1. Водные ресурсы в мире

Почти 75% земной поверхности покрыто водой, причем на океаны приходится 96,5%. Общий объем пресной воды, используемой для экосистемы человека, составляет около 200 000 км³ воды – менее 1% от всех мировых запасов пресной воды. На рис. 1.7 показано наличие водных ресурсов в мире.

Общий объем воды на Земле составляет около 1,4 млрд км³ (1,4 · 10¹⁸ м³). Объем пресной воды – около 35 млн км³, что составляет около 2,5% от общего объема. При этом около 24,4 млн км³, или 70% от запасов пресной воды, находятся в виде льда и постоянного снежного покрова в горных районах, Антарктике и Арктике. Около 30% (10,7 · 10¹⁵ м³; 10,7 млн км³) мировых запасов пресной воды хранятся в виде подземных вод (мелкие и глубокие бассейны подземных вод до 2000 м, влажность почвы, болота и вода вечной мерзлоты). Это составляет около 97% всей пресной воды, потенциально доступной для использования человеком. Пресные озера и реки содержат приблизительно 105 000 км³, или около 0,3% от мировых запасов пресной воды.

Водные ресурсы в мире распределены неравномерно. На рис. 1.8 представлено распределение пресной воды между континентами в виде ледников и ледяных шапок, грунтовых вод и других водоемов.

Озера и водохранилища являются наиболее доступными ресурсами пресной воды в мире. Реки содержат около 2100 км³ (0,0065%) воды, озера – 91 000 км³ (0,26%) от общего количества водных ресурсов. При этом 80% озерных вод сосредоточены в ограниченном количестве озер (всего в 40). Среди них наиболее крупными являются озеро Байкал (23 000 км³, Российская Федерация), озеро Танганьика (19 000 км³, Центральная

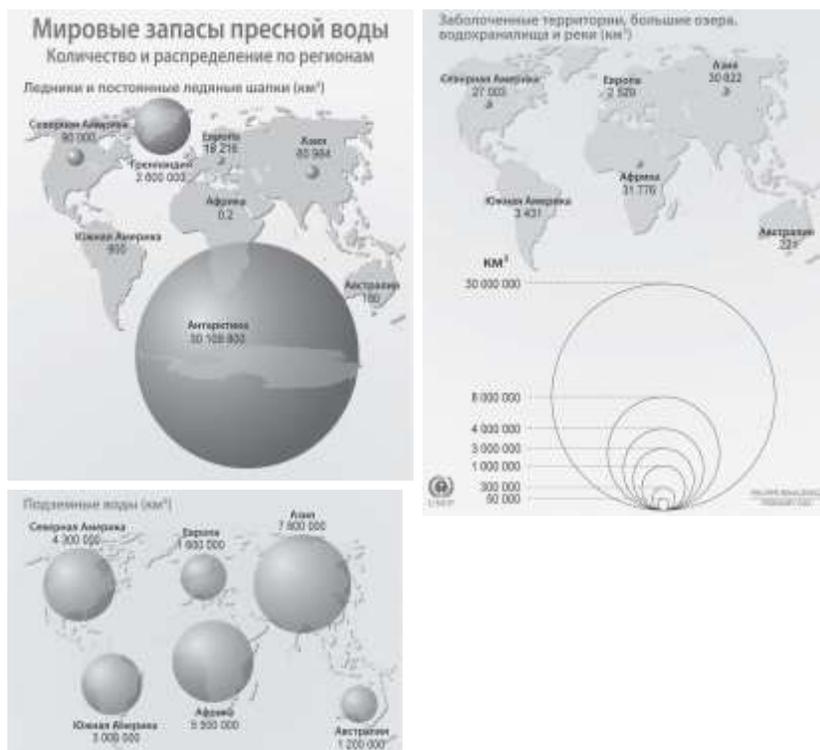
Рисунок 1.7.

Общие мировые водные ресурсы (GRIDА-UNEP, 2012)



Рисунок 1.8.

глобальное
распределение
(доступность) воды
(GRIDA-UNEP, 2012)



Африка) и озеро Верхнее (12 000 км³, Северная Америка). Великие Озера (США, Канада) содержат в общей сложности около 25 000 км³ пресной воды.

Имеющиеся источники пресной воды распределены в мире неравномерно. Рис. 1.9 иллюстрирует изменение водообеспечения во всем мире.

Амазонка, Конго, Янцзы, Меконг и Енисей являются крупнейшими и наиболее полноводными реками в мире. Каждая из них имеет собственный бассейн, который включает участок земли, дренируемый рекой и ее притоками. Основные речные бассейны мира площадью более 1 млн км² представлены на рис. 1.10. Большинство речных бассейнов являются трансграничными. 148 стран включают в себя территорию одного или нескольких бассейнов трансграничных рек. В 39 странах один или несколько бассейнов трансграничных рек покрывают более чем 90% территории, и 21 страна целиком расположена на территории одного или нескольких бассейнов. 46% поверхности земного шара покрыто бассейнами трансграничных рек.

В мире существует 276 трансграничных речных бассейнов (64 в Африке, 60 в Азии, 68 в Европе, 46 в Северной Америке и 38 – в Южной). 185 из 276 трансграничных речных бассейнов, или примерно две трети, распределены между двумя странами. 256 из 276 распределены между 2, 3 или 4 странами (92,7%), и еще 20 поделены между пятью или более странами (7,2%); максимальное число стран, которые делят трансгра-

Рисунок 1.9.

глобальное распределение (доступность) воды на душу населения (Revenge, 2000)

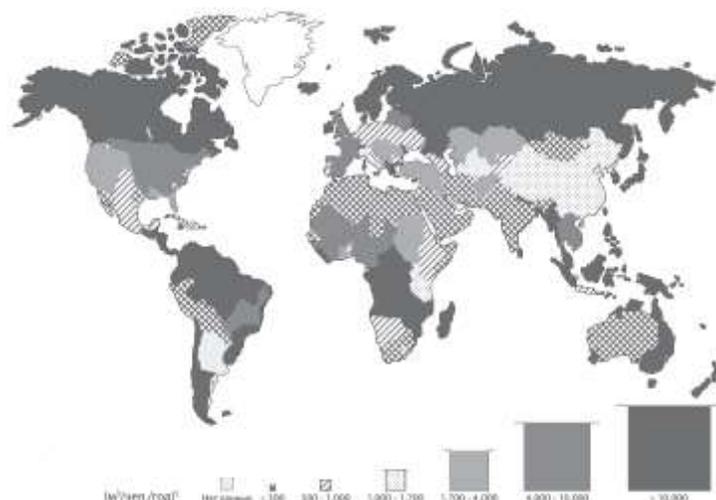


Рисунок 1.10.

Бассейны крупнейших рек в мире (GRIDA-UNEP, 2002)



ничные речные бассейны, составляет 18 (река Дунай) в Европе. В то же время в 60% из 276 мировых международных бассейнов рек отсутствует какой-либо тип совместного управления речными ресурсами.

1.2.1.2. Водные ресурсы в Европе

Как и везде в мире, пресная вода в Европе есть повсеместно и в то же время неравномерно распределена. Европейские годовые ресурсы пресной воды составляют около 2270 км³, при том что только 13% этих ресурсов доступны (ЕЕА, 2009).

В табл. 1.2 представлены полностью доступные ресурсы пресной воды в большинстве стран ЕС, а также в странах, находящихся в сфере влияния ЕС. Несмотря на то что Германия, Франция, Швеция, Великобритания, Сербия и Исландия имеют примерно одинаковые запасы пресной воды (164–188 млн м³), водообеспечение на душу населения у них существенно различается. На рис. 1.11 показано количество воды на душу

Таблица 1.2. Водные ресурсы в Западно- и Центральноевропейском регионе, млн м³ (Евростат, 2013)

Подрайон	Территория, км ² (FAOSTAT, 1999)	Население, чел. (FAOSTAT, 2000)	Внутренние ресурсы: всего, км ³ /год	Внешние ресурсы: текущие, км ³ /год	Общие ресурсы: текущие, км ³ /год	% от внутренних водных ресурсов региона	IWR*/чел, м ³ /год	TWR** (текущие)/чел, м ³ /год	Примечание
Центральная Европа	1 123 550	115 802 000	284,5	87,9	372,4	13,11	2457,0	3216,0	1
Средиземно-морский регион	1 095 300	124 408 000	422,8	30,0	452,8	19,48	3398,7	3639,9	2
Северная Европа	1 258 080	24 082 000	864,1	0,0	864,1	39,81	35881,6	35881,6	3
Западная Европа	1 421 486	246 492 000	598,9	14,7	613,6	27,59	2429,7	2489,3	4
Восточная Европа	18 095 450	217 051 000	4 449,0	244,1	4 693,2	100,00	20497,5	21 622,3	5
Западная и Центральная Европа	4 898 416	510 784 000	2 170,4	10,9	2 181,3	100,00	4 249,1	4 270,4	6
Европа – всего	22 993 866	727 835 000	6619,3		2302,9		64 664,5	66 849,1	
В мире	133 845 436	6 052 577 900	43 764,3	0,0	43 764,3		7 230,7	7 230,7	
% Европы от мира	17	12	15		5,0				

* Internal Water Resources (Внутренние водные ресурсы).

** Total Water Resources (Общие водные ресурсы).

1 – 77 км³/год от других европейских подрайонов и 10,9 км³/год от Восточной Европы; 2 – 29,95 км³/год от других европейских подрайонов; 3 – без изменений; 4 – 14,7 км³/год от других европейских подрайонов; 5 – 40 км³/год из Центральной Азии, 125 км³/год от Южной и Восточной Азии, а также 79,14 км³/год от Западной и Центральной Европы; 6 – от Восточной Европы.

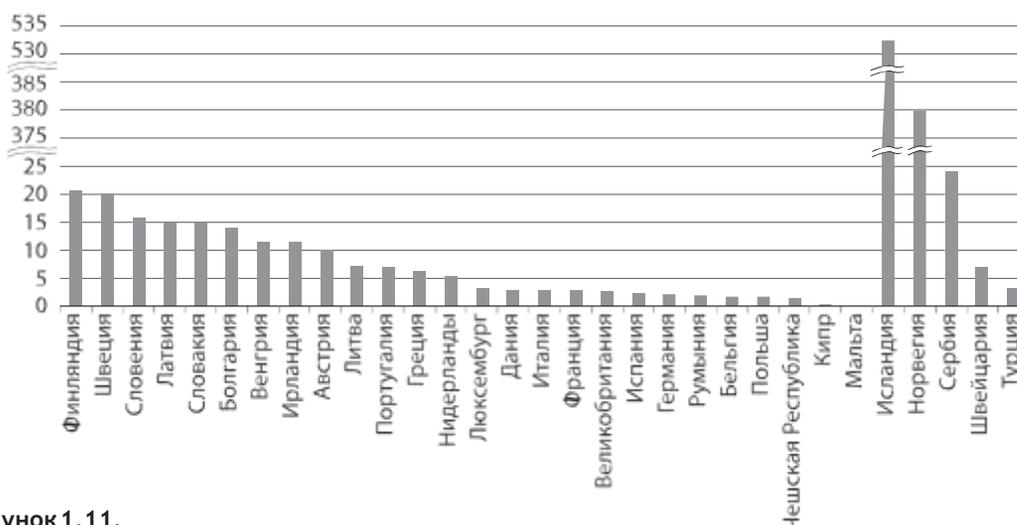


Рисунок 1.11.

Водобеспечение пресной водой в Европе, 1000 м³ на одного жителя (Eurostat, 2013)

Таблица 1.3. Водные ресурсы – долгосрочный среднегодовой показатель, км³
(Eurostat, 2013)

Страна	Осадки	Суммарное испарение	Внутренний поток	Внешний приток	Отток	Запасы пресной воды
Бельгия	28,9	16,6	12,3	7,6	15,6	19,9
Болгария	68,6	50,5	18,1	89,1	108,5	107,2
Чешская Республика	54,7	39,4	15,2	0,7	16,0	16,0
Дания	38,5	22,1	16,3	0,0	1,9	16,3
Германия	307,0	190,0	117,0	75,0	182,0	188,0
Эстония	29,0	–	–	–	–	–
Ирландия	80,0	32,5	47,5	3,5	–	51,0
Греция	115,0	55,0	60,0	12,0	–	72,0
Испания	346,5	235,4	111,1	0,0	111,1	111,1
Франция	485,7	310,4	175,3	11,0	168,0	186,3
Италия	296,0	129,0	167,0	8,0	155,0	175,0
Кипр	3,0	2,7	0,3	–	0,1	0,3
Латвия	42,7	25,8	16,9	16,8	32,9	33,7
Литва	44,0	28,5	15,5	9,0	25,9	24,5
Люксембург	2,0	1,1	0,9	0,7	1,6	1,6
Венгрия	55,7	48,2	7,5	108,9	115,7	116,4
Мальта	0,2	0,1	0,1	–	–	0,1
Нидерланды	29,8	21,3	8,5	81,2	86,3	89,7
Австрия	98,0	43,0	55,0	29,0	84,0	84,0
Польша	193,1	138,3	54,8	8,3	63,1	63,1
Португалия	82,2	43,6	38,6	35,0	34,0	73,6
Румыния	154,0	114,6	39,4	2,9	17,9	42,3
Словения	31,7	13,2	18,6	13,5	32,3	32,1
Словакия	37,4	24,3	13,1	67,3	81,7	80,3
Финляндия	222,0	115,0	107,0	3,2	110,0	110,0
Швеция	337,5	169,4	172,5	13,7	186,2	186,2
Соединенное Королевство	275,0	117,2	157,9	6,4	164,3	164,3
Исландия	200,0	30,0	170,0	–	170,0	170,0
Норвегия	470,7	112,0	371,8	12,2	384,0	384,0
Швейцария	61,6	21,6	40,7	12,8	53,5	53,5
Хорватия	63,1	40,1	23,0	–	–	–
Республика Македония	19,5	–	–	1,0	6,3	–
Сербия	56,1	43,3	12,8	162,6	175,4	175,4
Турция	501,0	273,6	227,4	6,9	178,0	234,3

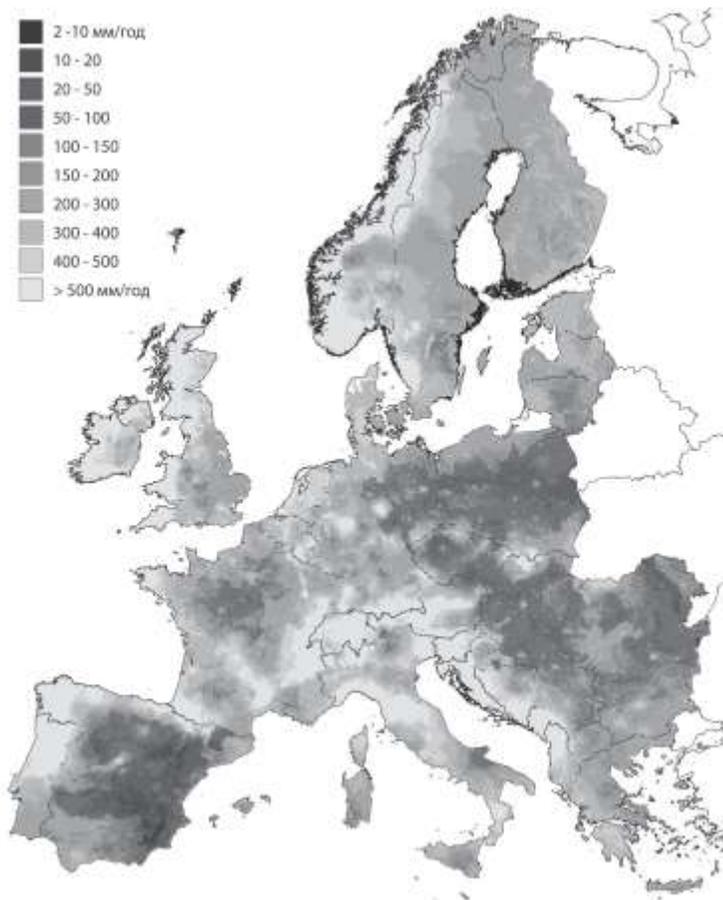
Примечание. Минимальный период, принятый во внимание при подсчете долгосрочных ежегодных средних значений, – 20 лет.

населения в некоторых европейских странах, которые можно сравнивать между собой по водообеспечению, исходя из данных табл. 1.2.

На рис. 1.12 представлено годовое обеспечение пресной водой в Европе. Показаны ежегодные изменения в природном пополнении ресурсов пресной воды (от 10 до 500 и более миллиметров). В то время

Рисунок 1.12.

годовая обеспеченность пресной водой (мм/год), средняя за 1990–2010 гг. в Западной Европе (JRC, 2012)



как наличие воды в Испании и Южной Европе составляет 200 мм/год, ежегодная потребность – в 3–10 раз больше (JRC, 2012), что показывает неравномерность доступа к воде в Европе.

1.2.1.3. Водные ресурсы в Норвегии

Водные ресурсы пресной воды, доступные в Норвегии, в среднем составляют около 378 млрд м³, 97% из них поступает в виде осадков, а остальные – по рекам из трех соседних стран. Около 79% годовых поступлений пресной воды в виде канализационных стоков отводится в море и в соседние страны, остальное испаряется (рис. 1.13).

Ледники в Норвегии охватывают 2595 км² ее территории. В Норвегии 1624 ледника, включающих 164 км³ пресной воды. Только 0,3% от запасов пресной воды в Норвегии, или около 1,134 млрд м³, легкодоступны в озерах и реках. Норвегия – страна озер: в ней 450 000 озер, но только 400 из них имеют площадь более 5 км². Общий объем воды в озерах составляет 1200 км³, в то время как они занимают площадь 17 000 км² (4,4%). Самое глубокое озеро – Хорниндальсватнет – 514 м в глубину, а наибольшую площадь занимает озеро Мьеса – 365 км². Около 6,5% имеющихся запасов пресной воды в Норвегии – подземные воды.

Таблица 1.4. Распределение пресной воды в Норвегии по регионам (Statistics Norway, 2012)

Округ	Всего, км ²	Соотношение воды и суши	
		Суша, км ²	Пресная вода, озера, км ²
Королевство Норвегия	385 186	365 246	19 940
Шпицберген	61 022	60 627	395
Ян-Майен	377	371	6
Материковая часть	323 787	304 248	19 539
Эстфолл	4 182	3 888	295
Акерсхус	4 918	4 579	339
Осло	454	426	28
Хедмарк	27 398	26 084	1 314
Оппланн	25 192	23 784	1 408
Бускеруд	14 911	13 796	1 115
Вестфолл	2 224	2 147	77
Телемарк	15 298	13 854	1 444
Эуст-Агдер	9 157	8 314	844
Вест-Агдер	7 277	6 677	600
Ругаланн	9 376	8 589	787
Хордаланн	15 440	14 525	915
Согн-ог-Фьюране	18 623	17 676	947
Мёре-ог-Ромсдал	15 115	14 583	532
Сёр-Трёнделаг	18 856	17 840	1 016
Нур-Трёнделаг	22 415	20 778	1 637
Нурланн	38 462	36 079	2 382
Тромс	25 870	24 866	1 003
Финнмарк	48 617	45 762	2 855



Рисунок 1.13.

годовой запас пресной воды в Норвегии¹. Средние значения по всей стране за период с 1971 по 2000 год, млн м³ (Statistics Norway, 2009)

¹ Учет количества осадков не дает возможности рассчитать значение поступления воды с такой же точностью, как значение стока. Как следствие, несоответствие между общим притоком и общим стоком на рисунке. Основываясь на нормальных значениях количества осадков и испарений в период 1961–1990 годов.

1.2.1.4. Водные ресурсы Украины

Водными ресурсами принято считать объемы поверхностных, подземных и морских вод соответствующей территории. Водные ресурсы Украины – один из главных факторов развития и размещения продуктивных сил. Они определяют уровень жизни и здоровья населения.

Средние многолетние водные ресурсы Украины составляют 87,1 км³/год. В этот объем не входит сток Дуная по Килийскому рукаву (123 км³ /год). Местные водные ресурсы, формирующиеся в пределах Украины, составляют 52,4 км³ в средний по водности год. В маловодные годы 75 и 95%-й обеспеченности атмосферными осадками этот показатель соответственно равен 40,9 и 49,8 км³.

Основные элементы водного баланса Украины приведены в табл. 1.5.

На территории Украины насчитывается 73 тыс. рек. Из них:

- малых: 68796 (до 10 км), 3020 (от 10 до 25 км), 968 (от 25 до 100 км);
- средних: 123 (от 100 до 500 км);
- больших: 14 (более 500 км).

Кроме того, по территории Украины протекает третья по величине река Европы Днепр. Днепр протекает по территории трех государств – России (берет свое начало), Беларуси и Украины. Его длина 2201 км, на территории Украины – 981 км, площадь водосборного бассейна в пределах Украины 291,4 тыс. км². В него впадает 32 тыс. водотоков, из которых 89 – реки длиной более 100 км.

Всего в Украине насчитывается 31 тыс. км² водной поверхности рек, 6 тыс. км² лиманов и 1 тыс. км² поверхности озер. Помимо существующих рек, в Украине создано 6,8 тыс. км² искусственных водоемов. А всего в Украине насчитывается 22 тыс. прудов и 420 водоемов, расположенных вблизи малых и больших рек.

Для обеспечения населения и народного хозяйства необходимым количеством воды в Украине построено 1122 (объем 56 км³) искусственных водоемов, 7 каналов общей длиной около 2000 км, 10 крупных водоводов (например, самый длинный в Европе водовод Днепр – Северное Приазовье протяженностью 175 км).

Украина характеризуется неравномерным распределением водных ресурсов по территории страны. Величина среднего слоя осадков изме-

Таблица 1.5. Основные элементы водного баланса Украины за многолетний период

Элементы водного баланса	Единицы измерения	
	мм	км ³
Осадки	625	
Сток:		
– поверхностный	65,2	39,4
– подземный	21,6	13,0
Испарение,	538	325
в том числе поверхностное	203	123
Инфильтрация	357	216

няется в пределах от 5–10 мм (Херсонская область) до 625 мм (Закарпатская область).

Кроме того, Украина имеет значительные запасы подземных вод. Общая величина прогнозируемых эксплуатационных ресурсов подземных вод на территории Украины составляет 27,2 млн м³/сут. Территориальное распределение подземных вод также характеризуется неравномерностью. Наибольшая их величина 8402 тыс. м³/сут характерна для Черниговской области, а наименьшая – в пределах от 1000 до 3000 тыс. м³/сут – в Автономной Республике Крым, Волынской, Тернопольской, Запорожской, Закарпатской и Днепропетровской областях.

Следует отметить, что для Украины характерно сосредоточение крупных водопотребителей в регионах с наименьшими запасами водных ресурсов (Донбасс, Кривбасс, Автономная Республика Крым, южные области).

Для того чтобы восполнить дефицит воды в регионах Украины, сооружены каналы:

- Северо-Крымский – 402 км;
- Днепр–Донбасс – 263 км;
- Донец–Донбасс – 131,6 км;
- Днепр–Кривой Рог – 35,4 км;
- Каховский канал – 130 км.

Основными направлениями водопользования являются обеспечение водой населения (коммунальное хозяйство) – 25,8%, сельское и рыбное хозяйство – 24,6% и промышленность – 49,6%. Основные показатели водообеспечения и водопотребления представлены в табл. 1.6.

В последние годы наблюдается увеличение водопотребления на нужды промышленности и коммунального хозяйства. Поэтому основным направлением улучшения состояния водного хозяйства является внедрение ресурсоэффективных технологий в промышленности, ресурсоэкономический принцип управления водным хозяйством в целях выполнения комплекса мероприятий, направленных на уменьшение водопотребления и загрязнения рек и водоемов.

Таблица 1.6. Основные показатели водопотребления и водообеспечения в Украине, км³/год

Показатели		км ³ /год
Использование свежей воды		12,2
в том числе:	для производства	16,1
	для хозяйственных нужд	3,3
Отведено сточных вод (сброс в водоемы)		10,5
в том числе:	загрязненных	3,3
	из них без очистки	0,8
	нормативно очищенных	2,1
Объем воды в оборотном и повторном водоснабжении		41,5
Производительность очистных сооружений		8,0

1.2.1.5. Водные ресурсы Республики Беларусь

Возобновляемые ресурсы пресных вод Республики Беларусь представлены речным стоком и подземными водами, объем которых формируется в естественных условиях за счет выпадения осадков на территории страны (внутренний сток), а также притока речных и подземных вод из сопредельных стран. Величина инфильтрационного питания водоносных горизонтов зоны активного водообмена составляет 10–20% средней многолетней величины атмосферных осадков. В общем стоке рек Беларуси на долю подземных вод приходится 27%.

Основным источником поверхностных водных ресурсов Беларуси являются средние и крупные реки, объем водного стока которых в среднем по водности годы, как правило, не превышает 57 900 млн м³ в год. По территории страны протекают семь крупных рек длиной более 500 км: Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Березина, Сож и Припять, шесть из них (за исключением Березины) являются трансграничными. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92 400 млн м³ в год, а в маловодные (95% обеспеченности) снижается до 37 200 млн м³ в год. Большая часть речного стока (34 000 млн м³, или 59%) формируется в пределах страны (местный сток). Приток воды с территорий соседних государств (России и Украины) составляет 41%, или 23 900 млн м³ в год.

В Беларуси созданы 153 водохранилища, полный объем воды в которых – 3100 млн м³, полезный – около 1240 млн м³, что составляет несколько больше 3% стока, формирующегося на территории страны. На территории Беларуси находится около 10,8 тыс. озер, абсолютное большинство из которых (75%) относится к числу малых, имеющих площадь зеркала до 0,1 км². Ресурсное значение имеют озера площадью более 1,0 км², общий объем которых составляет 6000–7000 млн м³ воды.

По величине водных ресурсов рек Беларусь занимает четвертое место в Европе после Норвегии (378 000 млн м³/год), Великобритании (152 000 млн м³/год) и Польши (85 400 млн м³/год). Естественные ресурсы пресных подземных вод составляют 15 900 млн м³ в год, прогнозные – 18 100 млн м³ в год.

Обеспеченность водными ресурсами на душу населения в Беларуси (6,1 тыс./чел. в год) близка к средневропейской, но при этом значительно выше, чем в соседних странах – Польше (1,7 тыс. м³/чел.) и Украине (4,1 тыс. м³/чел.). Суммарный объем забора поверхностных и подземных вод составляет около 1600 млн м³.

Индекс эксплуатации водных ресурсов (ИЭВР), который рассчитывается как отношение общего годового объема водозабора к средне-многолетнему годовому объему возобновляемых ресурсов пресных вод для Беларуси составляет 2,8–3,0%, что значительно ниже порогового значения ИЭВР, являющегося основой для сопоставления различных стран и регионов с ненапряженным и напряженным водным режимом (около 20%). Высокая напряженность отмечается в тех случаях, когда ИЭВР превышает 40%.

Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды в среднем на каждого жителя Беларуси находится в пределах 145–150 л/(чел. сут). Население Беларуси обеспечивается питьевой водой в основном из

подземных источников, санитарно-гигиеническое состояние которых на действующих водозаборах, как правило, отвечает установленным требованиям, за исключением повышенного содержания в воде железа и марганца, в отдельных случаях – бора, фтора и некоторых других компонентов, что является следствием гидрогеологических особенностей территории страны.

В настоящее время нецентрализованными источниками водоснабжения (шахтными колодцами) пользуются 1,4 млн человек, в том числе сельское население – 1,1 млн человек.

1.2.1.6. Водные ресурсы Республики Казахстан

Водный фонд Республики Казахстан включает реки, озера, болота, пруды, водохранилища, другие поверхностные водные ресурсы, а также воды каналов и магистральных водоводов; подземные воды, ледники; воды Каспийского и Аральского морей в пределах государственной границы Республики Казахстан.

Поверхностные водные ресурсы. Ресурсы поверхностных вод Казахстана в средний по водности год составляют 100,5 км³, из которых только 56,5 км³ формируется на территории республики. Остальной объем (44,0 км³) поступает из сопредельных государств: Китая – 18,9; Узбекистана – 14,6; Кыргызстана – 3,0; России – 7,5 км³.

Средняя величина водообеспеченности территории Казахстана за счет стока, формирующегося в его пределах, составляет в удельном выражении 25,5 тыс. м³ в год на 1 км². Для сравнения: водообеспеченность территорий России – 237 тыс. м³ в год на 1 км²; Узбекистана – 24,7; Киргизии – 266.

На одного жителя в Казахстане приходится 4,3 тыс. м³/год местных водных ресурсов; в Киргизии – 12,7; Узбекистане – 0,5; России – 27,8.

Из-за различия в природных условиях распределение водных ресурсов крайне неравномерно. Наиболее обеспеченными суммарными ресурсами поверхностных вод являются Восточно-Казахстанская область (121,3 м³/сут на 1 чел), Павлодарская (93,6), Кызылординская (79,7), Атырауская (63,7). Наименее обеспеченными – Мангистауская с отсутствием поверхностного стока, Карагандинская (4,7), Северо-Казахстанская (10,8), Акмолинская (11,3) области (рис. 1.14).

В пределах Казахстана расположены крупные водоемы: Каспийское, Аральское моря и озеро Балхаш. Насчитывается около 39 тыс. рек и временных водотоков, более 48 тыс. озер, около 4 тыс. прудов и 204 водохранилища. Наиболее значительными водными артериями являются реки Иртыш, Или, Сырдарья, Ишим, Тобол, Урал, Тургай, Шу.

В силу климатических особенностей различных зон республики, до 90% стока поверхностных источников проходит в весенний период.

Наиболее обеспечена водой Восточно-Казахстанская область – 290 тыс. м³ на 1 км². Испытывают дефицит в воде Атырауская, Кызылординская и в особенности Мангистауская области, где практически отсутствуют пресные воды.

Полностью использовать ресурсы речного стока для нужд отраслей экономики в силу разных причин не представляется возможным. В част-

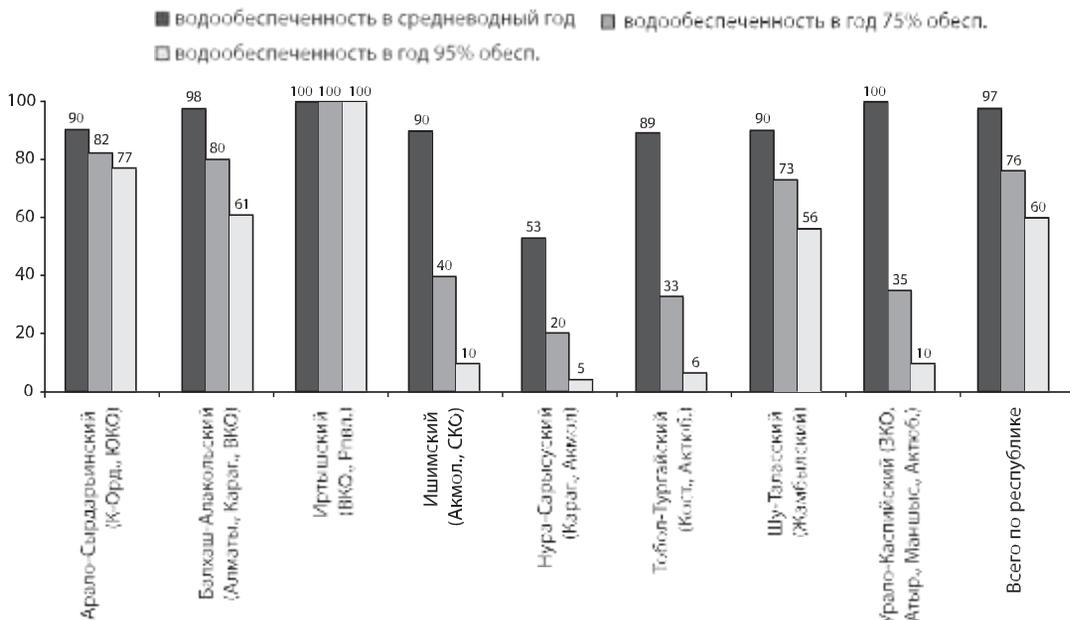


Рисунок 1.14.

Водообеспеченность основных бассейнов Казахстана, %

ности, суммарный объем обязательных попусков воды для удовлетворения экологических, рыбохозяйственных и санитарных требований по рекам Сырдарья, Урал, Или, Тобол, Иртыш, Ишим, Тургай, Шу составляет около 29 км^3 в год (табл. 1.7).

Транспортно-энергетические затраты стока по Иртышу вместе с долей России составляют 9 км^3 . Потери речного стока на испарение и фильтрацию в водохранилищах и руслах рек оцениваются в 12 км^3 , также теряется и рассеивается весенний половодный сток равнинных рек Центрального Казахстана в объеме $4,5 \text{ км}^3$, который невозможно зарегулировать для использования. Таким образом, при сумме указанных необходимых затрат воды в объеме $54,5 \text{ км}^3$, объем водных ресурсов, возможных к использованию в экономике республики в средневодный год, не превышает 46 км^3 .

В среднemaловодные (75%) и маловодные (95%) годы общий объем водных ресурсов снижается до 76 км^3 и 58 км^3 , а возможных к использованию – соответственно до $32\text{--}33 \text{ км}^3$ и $25\text{--}26 \text{ км}^3$.

Реки. В стране насчитывается около 39 тыс. рек и временных водотоков, в том числе более 7 тыс. из них длиной свыше 10 км. Густота речной сети распределена неравномерно. На севере республики она находится в пределах $0,03\text{--}0,5 \text{ км}/\text{км}^2$, в районах Алтая, Джунгарского и Заилийского Алатау составляет $0,4\text{--}1,8 \text{ км}/\text{км}^2$.

Сток многих крупных рек формируется за пределами Республики. Истоки рек Или и Иртыш находятся в КНР, основная часть водосбора реки Сырдарья расположена в Узбекистане, Кыргызстане, реки Шу, Талас – в Кыргызстане, реки Урал – в Российской Федерации.

Таблица 1.7. Поверхностные водные ресурсы Республики Казахстан, км³

Бассейны рек, морей, озер	Средне-многолетний сток		в том числе							Сток при обеспеченности		Имеющиеся ресурсы в маловодный год	
	Всего	в том числе поступает из сопредельных государств	обязательные затраты стока					Итого затрат	Имеющийся сток	75%	95%	75%	95%
			Экол. рыбохоз. сан. попуски	Транспортно-энергетич. попуски в Россию	Потери на испарение и фильтрацию	Нерегулированный сток, потери	Итого затрат						
Арало-Сырдарьинский	17,9	14,6	3,1	–	2,8	–	5,9	12,0	14,7	14,2	9,8	9,3	
Балхаш-Алакольский	27,8	11,4	14,6	–	1,1	1,8	17,5	10,3	22,8	17,8	7,0	5,4	
Иртышский	33,5	7,5	4,3	8,8	4,9	0,8	18,8	14,7	26,6	19,7	10,8	8,0	
Ишимский	2,6	–	–	–	0,5	0,7	1,2	1,4	1,1	0,3	0,4	0,1	
Нура-Сарысуыйский	1,3	–	0,1	–	0,4	0,1	0,6	0,7	0,4	0,1	0,3	–	
Тобол-Тургайский	2,0	–	0,1	–	0,1	1,0	1,2	0,8	0,8	0,3	0,3	–	
Шу-Таласский	4,2	3,0	0,1	–	0,1	–	0,2	4,0	3,5	2,8	3,0	2,3	
Урало-Каспийский	11,2	7,5	6,5	–	2,2	0,4	9,1	2,1	6,2	3,0	1,0	0,3	
Всего по республике	100,5	44,0	28,1	8,8	12,1	4,8	54,5	46,0	76,1	58,2	32,6	25,4	

Реки равнинного Казахстана, находящиеся в условиях недостаточного увлажнения, питаются в основном весенними тальми водами. Большая часть стока здесь проходит за весенний период и составляет 80–90% годового стока. Наибольшие расходы проходят в апреле – мае. Воды равнинных вод относятся к сульфатному или хлоридному классу. У транзитных вод пустынь и полупустынь минерализация в верховьях составляет 100–200 мг/дм³, а в низовьях – 5000 мг/дм³. На территории равнинного Казахстана имеется также множество временных водотоков, где сток наблюдается в течение очень короткого времени. Осадки летнего периода (незначительные) в питании рек существенной роли не играют.

В горных районах основным источником питания водотоков служат талые воды горных снегов и ледников. Кроме того, водность увеличивается за счет летне-осенних дождей. Половодье на реках этого типа начинается в конце марта – начале апреля и заканчивается в августе – сентябре. Объем стока за половодье на горных реках по мере увеличения высоты водосборов составляет от 50 до 80% годового стока. По гидрохимическому составу воды горных рек относятся к гидрокарбонатному классу, их минерализация изменяется от 200–300 мг/дм³, до 500–600 мг/дм³ в половодье.

Озера. Озера Казахстана весьма многочисленны. Без Каспийского и Аральского морей, прудов, водохранилищ и плесовых озер насчитывается 48 262 озера с общей площадью водной поверхности 45 002 км². По численности малые озера (менее 1 км²) составляют 94%, а по площади – 10%.

Крупных озер ($> 1 \text{ км}^2$) насчитывается 3014 с площадью $40\,769 \text{ км}^2$ (90%). В их числе озера размером более 100 км^2 и площадью $26\,886 \text{ км}^2$ (59%).

На Северный Казахстан приходится 45% всех озер, на Центральный и Южный – 36%, на Восточный и Западный – 19%.

Самыми крупными озерами Казахстана являются Каспийское и Аральское моря, озера Балхаш, Тенгиз, Алаколь, Сасыкколь, Зайсан и Маркаколь. Большое количество озер находится в лесостепи и северной части степной зоны, наиболее крупными из которых являются Кургальджин, Челкар-Тенгиз, Большое Чебачье, Щучье, Селеты-Тенгиз.

Общий объем воды, находящейся в естественных водоемах, составляет 190 км^3 .

Минерализация воды в озерах Казахстана колеблется от $0,075$ до 335 г/дм^3 . В пресных озерах аккумулируется преимущественно мягкая или умеренно жесткая нейтральная вода, а в солоноватых и соленых озерах – очень жесткая, слабощелочная.

В пресных и солоноватых озерах можно разводить водоплавающую птицу и ондатру, создавать охотничьи хозяйства и заповедники. Они могут служить местами лечения и отдыха.

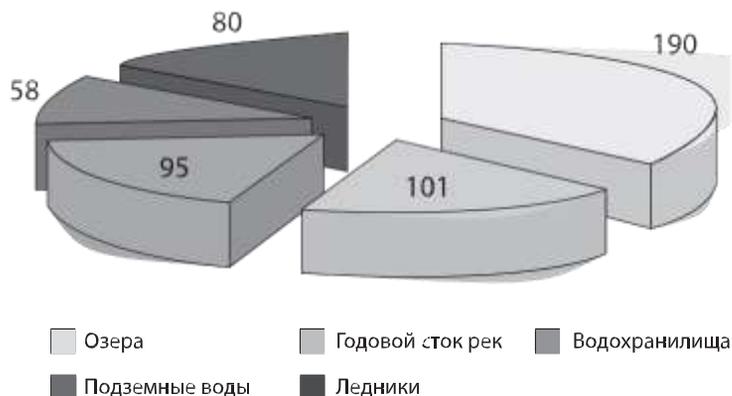
Водохранилища. В Казахстане насчитывается свыше 200 водохранилищ с общей емкостью более $95,5 \text{ км}^3$ (без учета прудов и малых водохранилищ). Более 50% водохранилищ имеют объем $1\text{--}5 \text{ млн м}^3$ воды. Наиболее крупные: Бухтарминское (на реке Иртыш) с полным объемом $49,0 \text{ км}^3$, Капшагайское (на реке Или) – $28,1 \text{ км}^3$, Шардаринское (на реке Сырдарья) – $5,2 \text{ км}^3$, Верхне-Тобольское и Каратомарское (на реке Тобол) – $0,82$ и $0,59 \text{ км}^3$ соответственно, Вячеславское и Сергеевское (на реке Ишим) – $0,4$ и $0,7 \text{ км}^3$ соответственно.

Суммарное воздействие всех регулирующих емкостей увеличивает годовой сток рек Казахстана в годы нормальной водности на 8 км^3 воды, а в маловодные годы – на 16 км^3 .

Наибольший объем обязательных попусков должен осуществляться по реке Иртыш, единственной судоходной реке в Казахстане. Для поддержания гарантированных глубин, необходимых для водного транспорта в навигационный период, осуществляется специальный транс-

Рисунок 1.15.

Запасы пресной воды
в Республике Казахстан.
Всего 524 км^3
(UNDP, 2004)



портный попуск в объеме 8,75 км³, а также санитарный попуск – 4,3 км³. В реке Тобол по санитарным условиям необходимо поддерживать расход не ниже 0,25 м³/с или 8 млн м³/год.

Ледники. Основная масса ледников Казахстана в виде огромного ледяного пояса располагается на юге и востоке республики, где на высоту более 4 тыс. м над уровнем моря поднимаются горные хребты Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и Казахстанского Алтая.

На территории Казахстана насчитывается 2720 ледников, в том числе 1975 ледников с площадью 0,6 км² и более. Общая площадь оледенения в Республике Казахстан составляет 2033,3 км², общий объем ледников – 80 км³, что близко к величине годового стока рек.

Практически половина площади оледенения Республики Казахстан приходится на Джунгарский Алатау (1000 км²), Заилийский и Кунгей Алатау (660,7 км²), Терской Алатау (144,9 км²), Казахстанский Алтай с Сауrom (106,2 км²) и хребты Киргизского и Таласского Алатау (101,5 км²).

Период таяния на ледниках составляет 2–2,5 месяца и приходится на тот период, когда для сельскохозяйственных культур требуется максимальное количество влаги. Таяние ледников Заилийского и Джунгарского Алатау дает до 1,5 км³ воды в год.

Являясь в решающей мере продуктом климата, оледенение чутко реагирует на изменение последнего. Глобальное потепление обусловило значительное уменьшение масштабов оледенения на территории республики. Последние 45–50 лет площадь оледенения, например, на северном склоне Заилийского Алатау уменьшалась более чем на 30%. Если темпы сокращения объемов ледников сохранятся, то общий объем ледников на территории республики вскоре снизится до 63–65 км³.

Каспийское море – крупнейший внутриматериковый бессточный водоем нашей планеты. Его водная поверхность занимает более 390 тыс. км². Общая протяженность береговой линии – 7 тыс. км, в том числе в пределах территории Казахстана около 1600 км. В море впадают реки Волга, Кура, Урал, Терек, Сулак, Самур и ряд мелких притоков, расположенных на территории России, Азербайджана, Казахстана, Туркменистана, Ирана или на границах этих государств.

Для Каспийского моря характерны циклические колебания уровня, которые обусловлены, как правило, климатическими факторами. Амплитуда этих колебаний за последние 450–500 лет составляет около 7 м. Повышение уровня в основном обусловлено увеличением речного стока и осадков, выпадающих на его поверхность, уменьшением слоя испарения морской воды, а также в определенной мере и ограничением поступления морской воды в мелководный залив Кара – Богаз – Гол, где вода интенсивно испаряется.

Изменение уровня моря создает значительные социально-экономические проблемы для прикаспийских государств, в том числе и для Казахстана. Поэтому большое значение имеет всестороннее изучение гидрометеорологического режима Каспийского моря и прилегающей к нему территории.

Аральское море имело в 1950-е и 1960-е годы объем 1000–1100 км³. В него впадают две крупнейшие реки региона Амударья и Сырдарья,

приток которых до 1960 года составлял 55–60 км³. Однако в связи с увеличением в последующие 20–30 лет безвозвратного изъятия вод рек на ирригационные цели оно значительно уменьшилось в объеме. В результате объем водной массы Аральского моря в 1987 году уменьшился до 400 км³ и море разделилось на Малое и Большое, а перепад уровней достигает 4 м. Малое море стало проточным водоемом, а Большое – замкнутым. Величина перетока воды из Малого Арала в Большой является результирующим балансом Малого Арала. В многоводные годы объем этого перетока составляет до 66% объема стока реки Сырдарья в море. Водный баланс Большого Арала остается отрицательным, в связи с чем его уровень постоянно понижается (приблизительно на 20 см в год).

Озеро Балхаш. Общая длина озера от юго-западной оконечности до восточного побережья составляет 600 км, максимальная ширина западного плеса около 70 км, восточного – 45 км. При отметке озера ~ 341 м площадь зеркала воды составила 17,2 тыс. км², объем – 94,7 км³. Площадь водосбора озера – 413 тыс. км², большая его часть находится на территории Казахстана, а верховья реки Или расположены на территории Китая. В озеро Балхаш в настоящее время впадает 5 постоянных водотоков: реки Или, Каратаал, Аксу, Лепсы и Аягуз. Они формируют свой сток в горных областях Тянь-Шаня и частично (река Аягуз) в горах Тарбагатай и Чингиз-Тау. Река Или впадает в Западный Балхаш, остальные притоки – в Восточный Балхаш.

Водный баланс озера поддерживается стоком рек в объеме 23,8 км³, большую часть которого – 17,4 км³ – составлял сток реки Или и 6,4 км³ приходится на сток остальных рек. Из этого объема только 14,9 км³ достигает озера Балхаш. Остальная часть стока в объеме 8,9 км³ расходуется в естественной гидрографической сети.

Подземные воды. Подземные воды – это наиболее комплексное полезное ископаемое, играющее исключительно важную роль в развитии производительных сил страны и особенно в жизни людей. Они используются для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, орошения сельскохозяйственных угодий и водопоя скота, лечебных целей, в качестве сырья для извлечения ряда ценных компонентов, как источник тепла и т.д.

В целом Республика Казахстан достаточно богата подземными водами, за счет которых возможно полностью обеспечить республику хозяйственно-питьевыми, техническими и другими водами в соответствии с потребностью населения, промышленности и сельского хозяйства. Однако распространение подземных вод, так же как и поверхностных, по площади весьма неравномерно. Ресурсы подземных вод Южного и Восточного Казахстана во много раз превышают потребность в воде регионов, в то время как Северные, Западные и Центральные области испытывают острый дефицит в подземных водах невысокой минерализации.

Особенностями подземных вод являются возобновление своих запасов и обладание временной качественной и количественной характеристиками, в зависимости от влияния на них природных и искусственных факторов.

На территории Республики Казахстан разведано 623 месторождения и участка подземных вод с суммарными запасами 43 383,5 тыс. м³/сут, в том числе по целевому назначению, тыс. м³/сут:

- хозяйственно-питьевое водоснабжение 16838,4;
- производственно-техническое водоснабжение 2602,1;
- орошение земель 23913,2;
- бальнеологические (минеральные воды) 29,8.

В зависимости от содержания растворенных минеральных веществ в Казахстане распространены пресные (с сухим остатком до 1 г/дм³), слабосоленоватые (от 1 до 3 г/дм³), соленоватые (от 3 до 5 г/дм³), сильносолоноватые (от 5 до 10 г/дм³), соленые (от 10 до 50 г/дм³) и рассолы (> 50 г/дм³).

По температуре подземные воды подразделяются на исключительно холодные (<0 °С), весьма холодные (0–4 °С), холодные (4–20 °С), теплые (20–37 °С), горячие (37–42 °С), весьма горячие (42–100 °С), исключительно горячие (> 100 °С).

Разведанные запасы представляют сравнительно небольшую часть прогнозных ресурсов подземных вод – около 27%, что свидетельствует о хорошей перспективе дальнейшего наращивания эксплуатационных запасов при продолжении поисково-разведочных работ на перспективных площадях.

Республика Казахстан богата минеральными водами. На ее территории разведано 45 месторождений, которые по химическому составу, бальнеологическим свойствам и лечебному значению подразделяются на: йодо-бромные (5 месторождений), кремнистые (4), радоновые (7), железистые (2) и без специфических компонентов (27). Кроме того, выявлено еще 251 перспективное проявление минеральных вод, из них: железистых – 7, радоновых – 27, кремнистых – 15, йодо-бромных – 68, радоново-кремнистых – 1, сероводородных – 1, мышьяковистых – 1, без специфических компонентов и свойств – 132.

Казахстан располагает значительными гидротермальными ресурсами, получившими распространение в пределах глубоких депрессий, сложенных осадочными образованиями. К ним относятся артезианские бассейны: Прикаспийский, Мангышлак-Устюртский, Тобольский, Иртышский, Торгайский, Сырдарьинский, Шу-Сарысуйский, Зайсанский, Илийский и Балхаш-Алакольский с подземными водами, температура которых превышает 30–40°С (табл. 1.8). В отдельных депрессиях температура воды достигает 100 и более градусов. Естественные запасы гидротермальных ресурсов Казахстана оцениваются следующими величинами – 10 275 млрд м³ по воде, 679 820 млн Гкал по теплу и 97 115 млн т условного топлива.

Промышленные воды с высоким содержанием щелочных металлов и галогенов выявлены в Прикаспийском, Мангышлак-Устюртском, Шу-Сарысуйском и Южно-Тургайском артезианских бассейнах. Слабая гидрогеологическая изученность водоносных комплексов, содержащих промышленные воды, не позволяет пока что точно оценить величину их ресурсов. Прогнозные запасы подземных вод с минерализацией

Таблица 1.8. Утвержденные запасы подземных вод в разрезе бассейнов, км³

Всего, км ³	в том числе по бассейнам:							
	Арало-Сырдарьинский	Балхаш-Алакольский	Иртышский	Ишимский	Нура-Сарьсуйский	Тобол-Тургайский	Шу-Таласский	Урало-Каспийский
15,1	1,6	6,0	3,5	0,2	1,1	0,5	1,6	0,6

до 10 г/дм³ оцениваются в республике в объеме около 42 км³, из них пресных, с минерализацией до 1 г/дм³ – 10,5 км³.

Объем утвержденных, т.е. возможных к эксплуатации на современном этапе, пресных подземных водных ресурсов, составляет 15,1 км³. Уровень использования подземных вод пока невысок и составляет 11,3%, или 1,7 км³/год.

1.2.1.7. Водные ресурсы республики Таджикистан

Таджикистан – страна гор, они занимают 93% его территории (рис. 1.16). Горные системы Тянь-Шаня, Гиссаро-Алая и Памира разделены межгорными котловинами и долинами (Ферганская, Зарафшанская, Гиссарская, Вахшская и др.). Основным источником формирования водных ресурсов являются атмосферные осадки. Количество среднегодовых атмосферных осадков в стране составляет 691 мм и варьируется от менее 100 мм на юго-востоке до 2400 мм на леднике Федченко в центральной части страны.

Значительные запасы пресной воды в Таджикистане сосредоточены в ледниках и снежниках. Общая площадь ледников составляет около

Рисунок 1.16.

горы и ледники
в Республике
Таджикистан



11 тыс. км², или 8% территории страны. Ледники с площадью до 1 км² составляют ~ 80%, а площадью более 1 км² – около 20% их общего количества.

Современные запасы пресной воды в горных ледниках оцениваются в 845 км³, т.е. в объеме, в 8 раз превышающем средний годовой суммарный сток всех рек страны.

Крупнейшей областью современного оледенения в регионе является Памир, площадь оледенения которого почти 7900 км², что в 3,5 раза превышает оледенение всего Кавказа. При одинаковой высоте снеговой линии – около 4,4–4,5 км над уровнем моря – оледенение Западного Памира (около 6400 км²) по площади в четыре раза превосходит оледенение Восточного Памира, что подтверждает крайне низкое увлажнение последнего. На Памире насчитывается 16 ледников протяженностью более 15 км и 7 ледников протяженностью свыше 20 км. Самый крупный ледник, – один из наиболее длинных ледников земного шара – ледник Федченко – имеет длину около 77 км и его площадь составляет 156 км².

Вторым по длине ледником Памира считается ледник Грумм-Гржимайло (длина 36,7 км), стекающий с Язгулемского хребта, восточнее хребта Академии наук и ледника Федченко. Он образует самостоятельную систему ледяных рек, дающих начало реке Танымас и другим притокам реки Бартанг.

Другой обширной ледниковой зоной является Гиссаро-Алай и Зеравшан. Общая площадь многочисленных ледников этой зоны вместе с фирновыми¹ полями составляет около 1500 км². Самый большой ледник здесь – Зеравшанский, длина которого 24,7 км. Его область питания лежит на высоте от 4200 до 5000 м, а язык спускается до 2780 м.

Высокогорный, резко пересеченный рельеф как фактор климато-гидрологических процессов и в первую очередь мощный конденсатор влаги обуславливает развитие на территории Таджикистана густой гидрографической сети. Здесь насчитывается 947 рек длиной более 10 км, из них 4 имеют протяженность более 500 км, 16 – длиной 100–500 км и более 10 тыс. малых рек имеют длину менее 10 км (всего в стране более 25 000 рек).

Все реки Таджикистана относятся к водным бассейнам рек Сырдарья, Амударья и Зеравшан.

По абсолютной водоносности самыми крупными реками Таджикистана являются реки Вахш, Зеравшан, Кафарниган и Пяндж (воды последней в пределах протекания в пограничной зоне Таджикистан–Афганистан относятся к территории обоих государств). Наиболее крупными трансграничными реками являются также Амударья, Сырдарья, Бартанг и Зеравшан.

Возобновляемый среднегодовой сток реки Амударья составляет около 78,5 км³. Крупными притоками Амударья являются реки Вахш, Пяндж и Кафарниган, доля которых в общем объеме водных ресурсов

¹ Фирн (нем. *Firn* – прошлогодний, старый) – крупнозернистый уплотненный снег, состоящий из связанных между собой ледяных зерен. Является переходной стадией между снегом и льдом. Образуется в горных областях, расположенных выше снеговой границы, и в полярных странах.

этого бассейна составляет 82,5%. На северо-западе страны расположен другой приток, река Зеравшан, ее средний многолетний сток составляет 5,14 км³. В пределах Таджикистана используется только около 3% ее стока, остальной сток протекает на территорию Узбекистана и полностью разбирается на орошение и другие нужды экономики. Уже многие десятилетия Зеравшан не доходит до Амударьи.

Формируясь слиянием рек Вахш и Пяндж, река Амударья продолжает границу между Таджикистаном и Афганистаном вниз по течению, далее отделяет Узбекистан от Афганистана, затем протекает через Узбекистан и попадает на территорию Туркменистана и вновь, протекая по территории Узбекистана, впадает в Аральское море. Около 8% речного стока бассейна Амударьи формируется на территории Афганистана и около 3,5% – на территории Ирана и Туркменистана. На территории Узбекистана формируется около 6% речного стока бассейна Амударьи (табл. 1.9).

Возобновляемый среднегодовой сток реки Сырдарья составляет чуть более 37 км³. Основной сток рек бассейна Сырдарьи формируется на территории Кыргызстана – около 78%, далее Сырдарья протекает по территории Узбекистана и Таджикистана и оканчивается на территории Казахстана впадением в Северный Арал. На территории Узбекистана формируется около 15% речного стока Сырдарьи, в Казахстане – около 6% и в Таджикистане – около 1%.

Суммарный годовой сток рек в различные по водности года колеблется от 25 до 68 км³; из этого объема в пределах Таджикистана формируется в лучшие годы 52–53 км³ (в бассейнах рек Амударьи – 50,5 км³, Сырдарьи – 0,7 км³). При этом объем водозаборов составляет 13 км³, т.е. только четверть речного стока используется для национального водопотребления, остальная его часть поступает на территории сопредельных государств.

Кроме богатых речных ресурсов, на территории Таджикистана сосредоточено около 72% всех озер бассейна Амударьи. В Таджикистане

Таблица 1.9. Основные характеристики главных рек Таджикистана (ММИВР РТ, Душанбе 2010)

Название реки	Протяженность, км	Среднемноголетний сток, км ³ /год
Пяндж	Ствол	921
	С притоками	11 503
Вахш	Ствол	524
	С притоками	23,7
Кофарниган	Ствол	387
	С притоками	1757
Зарафшан	Ствол	877
	С притоками	6080
Сырдарья	Ствол	2212
	На территории Таджикистана	192
Всего	На территории Таджикистана	28 500
		64,0

имеется свыше 1300 озер, в которых сосредоточено 46,3 км³ воды, в том числе более 20 км³ пресной. Водная поверхность озер занимает 1005 км², что составляет порядка 1% территории республики. Генезис озер имеет в основном тектонический, ледниковый, карстовый характер. Наибольшее распространение имеют озера ледникового и обвального происхождения. Озера ледникового происхождения широко распространены на Северном и Восточном Памире. Среди них самые высокогорные озера – Чапдара (4529 м), Каракуль (3914 м), Зоркуль (4126 м), Турумтайкуль (4213 м) и др. Ледниковое происхождение имеют также Куликалонские озера, Хазор – Чашма и Искандаркуль. Завальные озера широко распространены в высокогорьях центральной и восточной части Таджикистана. К ним относятся Маргузорские озера, Сарезское озеро и Яшилькуль. Озера питаются в основном за счет таяния ледников и снежников.

Длина озера Сарез – 55,8 км, абсолютная высота зеркала озера над уровнем моря – 3263 м; максимальная ширина озера – 3,3 км; средняя ширина – 1,44 км; максимальная глубина – 505,6 м; средняя глубина – 201,8 м; периметр берегов озера – 161,9 км; площадь поверхности озера – 79,64 км²; величина притока – 47,1 м³/сек; максимальное сезонное колебание уровня поверхности озера – 12 м; начало фильтрации – апрель 1914 года; достижение максимального уровня – 1978 и 1994 годы (около 3270 м); испарение с поверхности озера – 2,1 м³/сек; максимальное увеличение уровня – 20 см/год; максимальный объем воды – 16,74 км³.

Озера Таджикистана размещены неравномерно. Условия для их образования наиболее благоприятны в высокогорных районах, характеризующихся замедленным стоком, наличием многолетней мерзлоты. В горах большинство озерных котловин возникло в результате тектонических процессов, деятельности ледников или обвалов. Наиболее крупные озера, особенно завального и тектонического происхождения (Сарезское,

Рисунок 1.17.

Озеро Сарез
в Республике
Таджикистан



Зоркуль, Каракуль, Яшилкуль и др.), распространены в основном на Восточном Памире в бассейнах рек Бартанга, Памира, Гунта. Общая площадь водного зеркала этих озер равна 634,42 км², т.е. 90,7% площади всех озер Памира и Памиро-Алтая.

Глубина озера Искандаркуль достигает 50 метров. Предполагается, что оно образовалось после обвала, произошедшего до XIII века, в результате чего была перегорожена река Аличур, что и послужило толчком к образованию озера. Подтверждением данной версии являются расшифрованные арабские надписи на скалах над озером.

Всего в Таджикистане насчитывается около 200 озер общей площадью зеркала 716 км² (0,5% территории республики) и общим объемом воды в 46,5 км³. В абсолютном большинстве (1730 единиц) озера представлены водоемами малых форм с площадью зеркала менее 0,11 км² каждое.

В горах на высоте свыше 1000 м насчитывается 1449 озер общей площадью 702,0 км². Больше всего озер, как по количеству (585), так и по занимаемой ими площади (640 км²), расположено на высоких плоскогорьях и в речных долинах Восточного Памира. Наиболее крупное из них – бессточное горько-соленое озеро Каракуль площадью 364 км² и глубиной до 236 м. По мнению специалистов, вода озера первоначально была пресной, а затем начала осолоняться за счет растворения соленостных пород. В ней содержатся соли NaCl, KCl, Na₂SO₄, MgSO₄ и др. Кроме Каракуля, к ледниковым озерам можно отнести многие озера Памира: Чапдара – на высоте 4529 м, Зоркуль – 4126 м, Турамтайкуль – 4213 м и т.д. На Шугнанском хребте имеется так называемое озерное плато, на котором на высоте 4100–4200 м находятся сотни мелких и средних по размеру глубоких озер, оставшихся в котловинах после ухода ледников. Широко известно своей красотой озеро Искандаркуль в бассейне реки Зеравшан имеет также ледниковое происхождение; оно расположено в лесистой местности среди гор на высоте 2200 м, его площадь составляет

Рисунок 1.18.

Искандаркуль –
горное озеро
в Республике
Таджикистан



Таблица 1.10. Водные ресурсы Таджикистана

Ледники	845 км ³ /год (объем), 11 146 км ² (площадь)
Речной сток	64 км ³ /год (55,4% стока бассейна Арала), 947 (количество), 30 000 км (общая длина)
Озера	46,3 км ³ /год (объем), 705 км ² (площадь), 1300 (количество)
Водохранилища	15,34 км ³ /год (объем), 7,63 км ³ — 13% стока бассейна Аральского моря (полезный), 664 км ² (площадь)
Подземные воды	18,7 км ³ /год (2,9 км ³ — эксплуатационные ресурсы)
Возвратные воды	3,5–4,0 км ³ /год (3,0 км ³ — коллекторно-дренажные, 0,5 км ³ — коммунально-бытовые)

около 3,5 км², а максимальная глубина – 72 м. Завальные озера широко распространены в высокогорьях Центральной и Восточной части Таджикистана. К этому типу относятся такие крупные озера Памира, как Сарезкое и Яшилкуль.

Таджикистан богат подземными водами, имеющими почти повсеместное распространение. Возобновляемые ресурсы подземных вод Таджикистана составляют 6 км³, из них 3 км³ гидравлически связаны с поверхностным стоком. В бассейне реки Сырдарья на территории Таджикистана 60% подземных вод участвуют в формировании стока рек, в бассейне реки Амударья – 20%. Общие ресурсы подземной пресной воды (минерализация менее 1 г/дм³) составляют более 51,2 млн м³ в сутки. Из них эксплуатационные запасы – 7,6 млн м³ в сутки, или 14,8%.

Из этого ресурса используется порядка 65% (1,93 млн м³ в год.) Однако, несмотря на обилие запасов питьевой воды, Таджикистан остается страной со слабо развитым водоснабжением населения, особенно в бассейне реки Сырдарья (Согдийская область) ощущается ее дефицит.

Среднемноголетние объемы возвратных вод составляют порядка 2,2 км³/год. Объемы коллекторно-дренажных вод оцениваются, как незначительные. Запасы пресных и слабозасоленных вод сосредоточены в 1300 озерах (46,3 км³).

В Таджикистане эксплуатируется 9 крупных водохранилищ с общим объемом аккумулирующих емкостей около 15,3 км³. Крупнейшим из них является Нурекское водохранилище. Максимальные показатели водозабора (около 14 км³/год) и использования воды (около 11 км³/год) были достигнуты в 1980–1990-х годах. Однако в последние годы объемы водозабора уменьшились до 9,5–10 км³/год.

Одной из основных задач водного хозяйства в республике является рациональное использование водных ресурсов по всем отраслям и природно-экономическим зонам.

На нужды сельского хозяйства ежегодно расходуется примерно 93% всего объема водопотребления и почти 24% объема речного стока республики. Доля промышленности и коммунального хозяйства республики сравнительно небольшая и составляет соответственно 3,1% и 1,8%. На долю орошаемого земледелия приходится почти 85% объема водопотребления в сельском хозяйстве и 70% полного водозабора в Республике Таджикистан.

1.2.1.8. Водные ресурсы Кыргызской Республики

Кыргызстан – типично горная страна, 94% территории которой расположена на отметках свыше 1000 м над уровнем моря. По удельным показателям запасов водных ресурсов на душу населения занимает второе место в Центральной Азии. Общая площадь ледников составляет более 8 тыс. км², или 4,2% территории страны. Современные запасы пресной воды в горных ледниках оцениваются в 650 км³ (рис. 1.19).

На территории Республики насчитывается более 3500 рек, принадлежащих к водным бассейнам рек Сырдарья, Амударья, Чу, Талас, Или, Тарим и озера Иссык-Куль. Наиболее крупными трансграничными реками являются Сырдарья, Нарын, Карадарья, Чу, Талас, Чаткал, Сарыджаз, Чон-Изен-Гибуш. Суммарный годовой сток рек в различные по водности годы колеблется в пределах от 44 до 50 км³ (с учетом возвратных вод) (табл. 1.11).

подавляющее большинство поверхностных вод формируется на территории страны, однако не более четверти речного стока ежегодно используется для нужд национального водопотребления, остальная его часть поступает на территории сопредельных государств. Объемы коллекторно-дренажных вод оцениваются как незначительные и составляют около 1,3 км³/год (рис. 1.20). Достоверные сведения о ежегодных

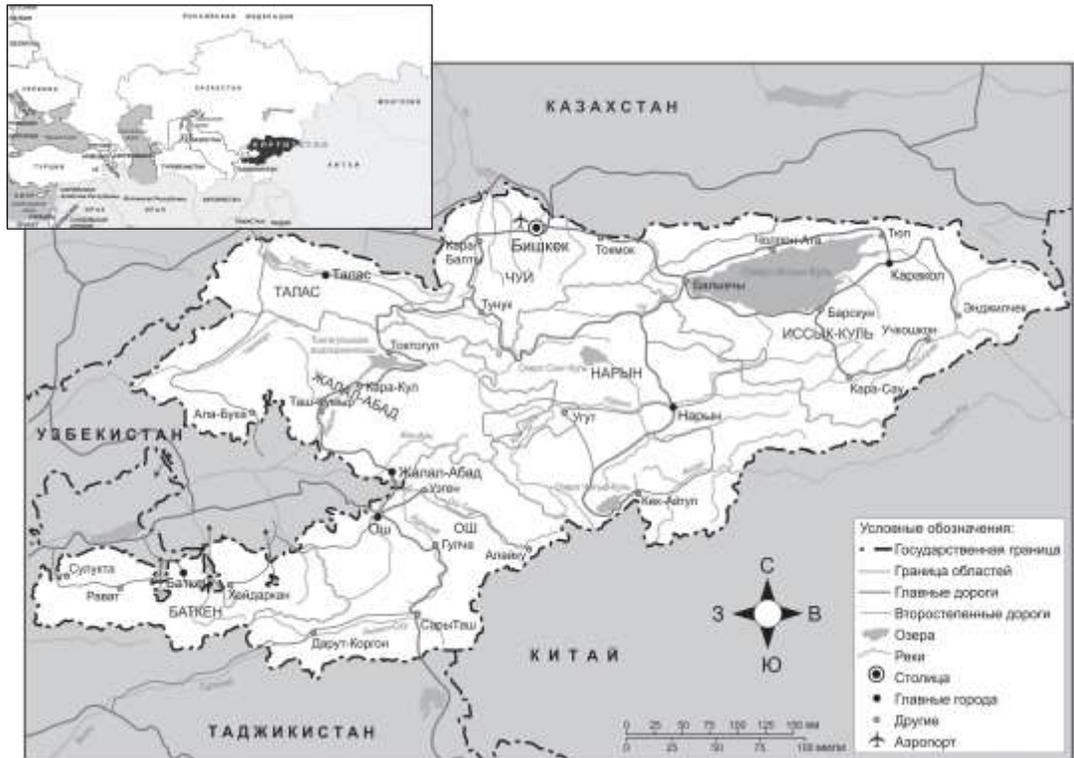


Рисунок 1.19.

Карта Кыргызстана (ООН, 2009)

Таблица 1.11. Расчетные показатели среднемноголетнего поверхностного стока, формирующегося на территории Кыргызской Республики в разрезе водных бассейнов

Наименование водных объектов (бассейнов)	Среднемноголетний сток воды по бассейну всего, км ³	Среднемноголетний сток воды по бассейну, формирующийся на территории Кыргызстана, км ³
р. Сырдарья	46,04	27,40
р. Амударья	93,42	1,93
р. Чу	6,64	5,00
р. Талас-Асса	1,84	1,74
р. Или-Кар-Кыра	0,36	0,36
оз. Иссык-Куль	4,65	4,65
р. Тарим	6,15	6,15
Итого	159,10	47,23

объемах возвратных вод в течение последних 20 лет в Кыргызстане отсутствуют. Запасы пресных и слабозасоленных водных ресурсов, сосредоточенных в озерах, преимущественно в озере Иссык-Куль, оцениваются в 1745 км³ и составляют около 71% запасов национальных водных ресурсов.

На территории страны выявлено 106 месторождений пресных подземных вод, из которых только 44 изучены. Эксплуатационные запасы этих вод оцениваются в 6,1 млн м³/сут, прогнозные запасы – примерно в 11–13 млн м³/сут. Общий потенциал подземных вод в Кыргызстане изучен недостаточно.

В Кыргызстане ныне эксплуатируются многочисленные водохранилища с общим объемом аккумулирующих емкостей свыше 22 км³. Крупнейшими из них является водохранилище Токтогульской ГЭС, а также Орто-Токойское, Кировское и Папанское водохранилища ирригационного назначения (табл. 1.12).

В целом, за исключением локальных зон в южных регионах, Кыргызская Республика обеспечена запасами питьевой воды на долгосрочную перспективу.

Рисунок 1.20.

Водный фонд Кыргызстана

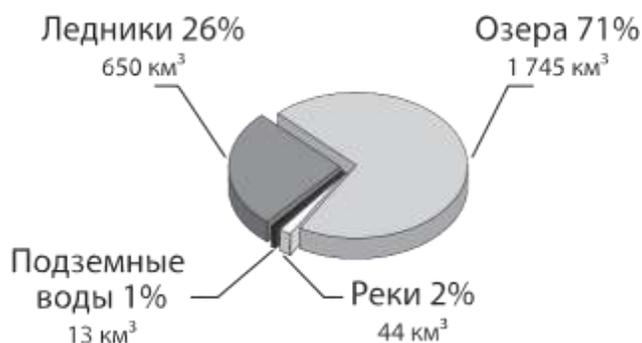


Таблица 1.12. Крупные гидротехнические сооружения Кыргызстана

Название гидроузла	Год завершения стр-ва	Река/ Бассейн	Назначение гидроузла	Наибол. высота плотины, м	Длина по гребню, м	Объем водохранилища, млн м ³	Установл. мощность эл. станции, тыс. кВт
Ала-Арчинский русловой	1986	Ала-Арча/Чу	Орошение	35	2 100	90	–
Ала-Арчинский наливной	1966	Ала-Арча/Чу	Орошение	24,5	6 000	51	–
Атбашинский	1970	Атбаши/ Нарын/ Сырдарья	Энергетика	79	55	9	40
Базар-Курганский	1962	Кара-Ункур/ Сырдарья	Орошение	25	2 400	22,5	–
Иссыккатынский	1979	Иссык-Ата/ Чу	Орошение	31	492	3	–
Кара-Бурунский	2005	Кара-Бура/ Талас	Орошение	49	250	17	–
Кассансайский	1968	Кассансай / Сырдарья	Орошение	64	210	165	–
Кировский (рис. 1.21)	1975	Талас	Орошение Водоснабжение	86	258,5	570	–
Курпсайский	1983	Нарын/ Сырдарья	Энергетика	113	364	370	800
Найманский	1966	Кыргыз-Ата	Орошение	40,5	265	39,5	–
Орто-Токойский	1962	Чу/Чу	Орошение	52	365	470	–
Папанский	1985	Акбура/ Сырдарья	Орошение Водоснабжение	100	90	260	–
Сокулукский	1968	Сокулук/Чу	Орошение	22,5	3 000	11,5	–
Спартак	1978	Ак-Суу/ Чу	Орошение	15	2 600	22,8	–
Ташкумырский	2001	Нарын/ Сырдарья	Энергетика	75	336	140	450
Токтогульский	1978	Нарын/ Сырдарья	Энергетика Орошение	215	292,5	19 500	1200
Торт-Гульский	1971	Исфара	Орошение	Зап 34 Вос 20	Зап 1090 Вос 540	90	–
Торт-Кульский водоем	1963	Тон	Орошение	19	380	1,4	–
Уч-Курганский	1962	Нарын/ Сырдарья	Орошение Энергетика	36 27	223,9 2 882	56,4	180
Шамалдысайский	2002	Нарын/ Сырдарья	Энергетика	37	238,5	39	240
Камбаратинский-1	Под-ка стр-ва	Нарын/ Сырдарья	Энергетика	275	280	4 650	1 900
Камбаратинский-2	Стадия стр-ва	Нарын/ Сырдарья	Энергетика	60	190	70	360

Рисунок 1.21.

Плотина Кировского водохранилища на реке Талас



1.2.1.9. Водные ресурсы Российской Федерации

Российская Федерация принадлежит к числу государств, наиболее обеспеченных водными ресурсами. Среднегодовое возобновляемое водные ресурсы России составляют 10% мирового речного стока (2-е место в мире после Бразилии) и оцениваются в 4,3 тыс. км³ в год.

В целом по стране обеспеченность водными ресурсами составляет 30,2 тыс. км³ на человека в год. Оценка запасов водных ресурсов в Российской Федерации приведена в табл. 1.13.

Большая часть возобновляемых водных ресурсов Российской Федерации (95,8%) формируется в пределах России, и часть (4,2%) воды поступает с территорий сопредельных государств. В табл. 1.14 приведены данные о ресурсах речного стока по отдельным речным бассейнам.

В табл. 1.15 показаны объемы воды в крупнейших озерах.

Водные ресурсы Российской Федерации характеризуются значительной неравномерностью распределения по территории страны. На освоенные районы европейской части страны, где сосредоточено более 70% населения и производственного потенциала, приходится не более 10% водных ресурсов.

Таблица 1.13. Оценка запасов водных ресурсов Российской Федерации (Минприрод РФ, 2013)

Ресурсы	Средний многолетний объем (возобновление), км ³ /год	Статические запасы, км ³
Речной сток	4270	–
Озера	532	26 600
Болота	1000	3000
Ледники	110	39 890
Подземные воды	869	28 000
Почвенная влага	3500	–
Всего	8384	>97 000

Таблица 1.14. Ресурсы речного стока по отдельным речным бассейнам Российской Федерации (Минприрод РФ, 2013)

Речной сток	Площадь бассейна, тыс. км ²	Среднее многолетнее значение водных ресурсов, км ³ /год	Водные ресурсы 2012 года, км ³ /год	Отклонение от среднемноголетнего значения, %
Северная Двина	357	101,0	120,0	18,8
Печора	322	129,0	142,2	10,2
Волга	1360	238,0	239,0	0,4
Дон	422	25,5	16,4	-35,7
Кубань	57,9	13,9	9,8	-29,5
Терек	43,2	10,5	10,7	1,9
Обь	2990	405,0	299,9	-26,0
Енисей	2580	635,0	497,1	-27,1
Лена	2490	537,0	677,4	26,1
Колыма	647	131,0	144,4	10,2
Амур	1855	378,0	376,2	-0,4

Таблица 1.15. Объемы воды в крупнейших озерах Российской Федерации, км³ в год (Росстат, 2013)

Озера	Объем воды на 1.01.2013 г.	Среднемноголетние запасы воды
Байкал	23 000	23 000
Ладожское	911	911
Онежское	293	292
Ханка	19,3	18,4

В маловодные годы дефицит воды наблюдается в районах интенсивной хозяйственной деятельности в бассейнах рек Дон, Урал, Кубань, Иртыш, а также на западном побережье Каспийского моря. Ресурсный потенциал подземных вод на территории Российской Федерации составляет почти 400 км³/год. Общее количество запасов подземных вод, пригодных для использования (питьевого и хозяйственно-бытового, производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ), составляет около 34 км³/год.

Обеспеченность территории Российской Федерации запасами подземных вод, которые могут использоваться для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, также неравномерна. Подземными водами, качество которых соответствует гигиеническим нормативам, недостаточно обеспечены Мурманская, Курганская, Омская, Новгородская, Ярославская области, отдельные районы Архангельской, Ростовской, Тюменской областей, Республики Калмыкия и Ставропольского края.

Забор воды из природных источников (включая морскую воду) составил в 2012 году 72,1 км³, или около 2% возобновляемых ресурсов, по ряду речных бассейнов он достигал 50% и более. Свыше 90% общего

Таблица 1.16. Показатели, характеризующие экоинтенсивность использования воды в Российской Федерации (Минприрод РФ, 2013)

Показатель	2010	2011	2012
Забор воды на душу населения, м ³ /чел.	446,61	421,84	410,19
Забор воды на единицу ВВП (ВВП в текущих ценах, млн руб.), м ³ /млн руб.	1693,0	1333,2	1298,99

Таблица 1.17. Показатели, характеризующие использование пресной воды на хозяйственные и хозяйственно-бытовые нужды в Российской Федерации (Минприрод РФ, 2013)

Показатель	2010	2011	2012
Объем пресной воды, используемой на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды, млн м ³	9572,2	9411,66	9023,67
Доля населения, использующего централизованное водоснабжение, %	67,58	67,99	67,7
Потребление воды на душу населения при централизованном водоснабжении, м ³ /чел.	103,75	96,76	92,99

объема использования водных ресурсов приходится на тепловую и атомную энергетику (37%), агропромышленный комплекс (24%), а также жилищно-коммунальное хозяйство (18%), добывающую и обрабатывающую промышленность (12%). В табл. 1.16 приведены некоторые показатели, характеризующие экоинтенсивность использования воды.

Как видно из табл. 1.16, потребление воды на единицу ВВП в последние годы снижается, что говорит об улучшении ситуации в области рационального водопользования. Вместе с тем водоемкость валового внутреннего продукта Российской Федерации составляет около 2,4 м³/тыс. рублей (2007 год), значительно превышая аналогичные показатели стран с развитой экономикой. Предполагается, что в результате осуществления Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года (принята в 2009 году) данный показатель в 2020 году снизится на 42% и составит 1,4 м³/тыс. рублей (в ценах 2007 года). В табл. 1.17 приведены некоторые показатели, характеризующие использование пресной воды на хозяйственные и хозяйственно-бытовые нужды.

1.2.1.10. Водные ресурсы республики Молдова

Молдова небогата поверхностными водами. Это объясняется тем, что осадков здесь выпадает сравнительно немного, а испарение сильное. Сказывается и влияние пересеченного рельефа: овраги и балки сильно дренируют местность. Проблема правильного использования и охраны водных ресурсов и изыскания новых источников является важной для густонаселенной Молдовы.

Естественные скопления воды занимают в республике всего 62,2 км² с объемом 200–220 млн м³. Во внутренних прудах и водохранилищах

содержится около 800 млн м³ воды. Вся водная площадь занимает около 1% территории.

Роль водных ресурсов в Молдове – это фактор обеспечения продовольственной безопасности и потребностей человека в воде, источник генерирования доходов и основа экономической деятельности, среда для отдыха и туризма, источник гидроэнергии, пути водного транспорта, среда для биоразнообразия и функционирования водных и околосводных экосистем. Наконец водоемы являются реципиентом и очистителем сточных вод и загрязнителей.

В Молдове мало крупных речных артерий, несущих большие массы воды, зато довольно много средних и мелких рек (табл. 1.18). Поэтому речная сеть напоминает дерево с густой и сложной системой ветвления. В составе речной сети 3085 постоянных и временных водотоков; из них только 240 имеют длину более 10 км и лишь восемь рек – Днестр, Прут, Реут, Икель, Бык, Ботна, Ялпуг и Когильник – более 100 км.

Кроме двух транзитных рек – Днестра и Прута, несущих свои воды с украинских Карпат, все реки Молдовы питаются за счет местного стока. Он составляет в среднем на юге республики 20–30 мм в год, в центре – 40–50 мм и на севере – 60–70 мм.

Все молдавские реки принадлежат к бассейну Черного моря и почти все, следуя общему уклону поверхности, текут с северо-запада на юго-восток. Мелкие притоки имеют различные направления, но все же рек, текущих на север и запад, почти нет.

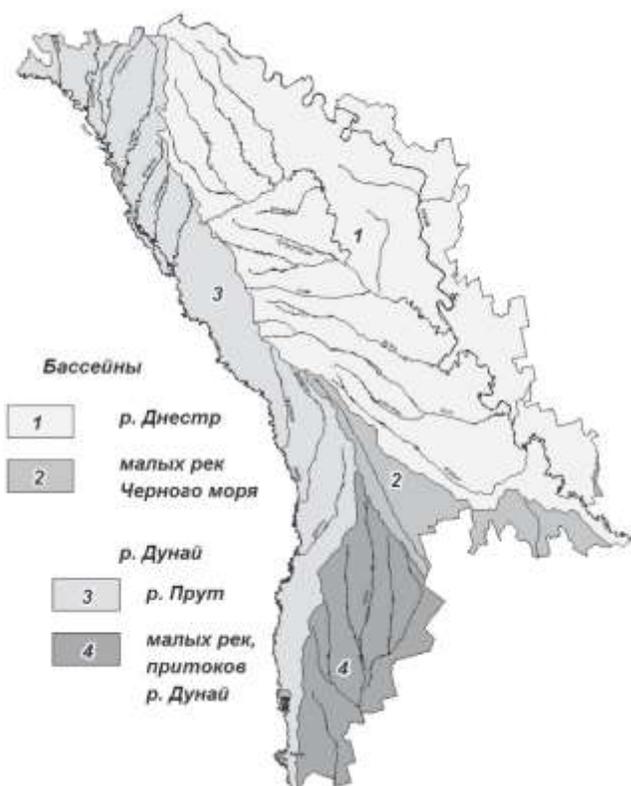
Все естественные водотоки Молдовы, принадлежа к бассейну Черного моря, относятся к трем бассейнам – рек Прут и Дунай; Днестра и рек, непосредственно впадающих в Черное море (рис. 1.22). В целях управления ими в рамках Агентства по водным ресурсам “Апеле Молдовой” созданы два бассейновых управления (Днестровское – на карте управляемая территория показана цифрой 1, и Прутско-Дунайское – территория указана цифрами 2–4). Помимо этого, постановлением Правительства Молдовы в 2014 году созданы бассейновые советы, куда вошли представители региональных властей, центральных ведомств и

Таблица 1.18. Основные реки Молдовы (длиной более 100 км)

Название реки	Длина, км		Площадь, км ²		Общее падение, м	Расход воды в низовьях, м ³ /с	Объем годового стока, км ³
	общая	в пределах страны	бассейна общая	в пределах страны			
Днестр	1352	657	72 100	19 070	759	318,00	10,000
Прут	989	695	27 500	7 990	2058	150,00	2,400
Реут	286	286	7 760	7 760	168	5,99	0,189
Икель	101	101	814	814	223	0,51	0,016
Бык	155	155	2 040	2 040	175	1,08	0,034
Ботна	152	152	1 540	1 540	220	0,47	0,015
Когильник	243	125	3 910	1 380	230	–	–
Ялпуг	142	135	3 280	3 223	153	–	–

Рисунок 1.22.

Деление Республики Молдова по речным бассейнам



профильных общественных объединений. Предполагается, что на малых реках будут созданы подбассейновые советы в составе местных властей, экологического инспектората и неправительственных организаций. На отдельных малых реках такие советы уже созданы и успешно действуют, опираясь на местные инициативы.

Из территории Молдовы на бассейн Днестра приходится 57%, а на бассейн Дуная, включая Прут, – 35% (сам Прут – 24% и бассейны рек Кагул и Ялпуг, текущих в Дунай, – 11%). К бассейнам рек, текущих непосредственно в Черное море через украинскую территорию, относится 6% территории Молдовы. При этом среди трансграничных рек (рис. 1.23), несущих воды в Молдову, Днестр приносит 78%, а Прут – 21%. Из них 3–5 км³ предназначены для Молдовы. Формирующиеся на территории страны водные ресурсы составляют менее 1 км³ (до 10%). Местные подземные ресурсы составляют 1,1–1,2 км³.

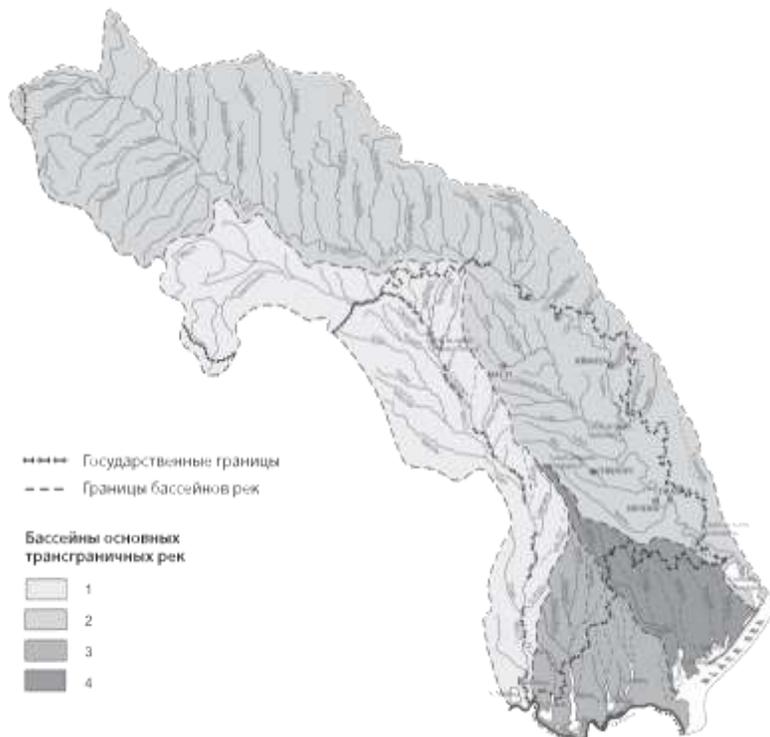
Естественные скопления воды занимают в республике всего 62,2 км² с объемом 200–220 млн м³. Еще примерно 250 км² приходится на искусственные пруды и водохранилища, в которых содержится около 800 млн м³ воды. Вся водная площадь занимает около 1% территории.

Годовой сток *Днестра* в среднем составляет 10 км³. Для Днестра характерны летние паводки. Поскольку в настоящее время на реке сооружены три плотины гидроэлектростанций с водохранилищами, при правильном управлении они способны сглаживать паводки, однако это

Рисунок 1.23.

Бассейны основных
трансграничных рек

- 1 – бассейн Прута;
- 2 – бассейн Днестра;
- 3 – молдавская часть
бассейна Дуная,
за исключением
бассейна Прута;
- 4 – бассейны рек,
впадающих
в Черное море



происходит не всегда и последние серьезные наводнения на Днестре наблюдались в 2008 и 2010 годах. Ущерб от наводнения 2008 года составил около 120 млн долларов.

Литература к разделу 1.2.1

- GRIDA-UNEP, 2012. GRID-Arendal. <http://www.grida.no/graphicslib>
http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/statistics_for_schoolers/05.pdf
http://minpriroda.gov.by/dfiles/000597_60789_part_4.pdf
<http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>
http://www.cawater-info.net/review/legal_kz.htm
 JRC, 2012: Joint Research Centre. <https://ec.europa.eu/jrc/en>
 Revenga, 2000 в фактах и тенденциях – Вода, Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию. Revenga, 2000 in Facts and Trends – Water, World Business Council of Sustainable Development, 2006.
 Shiklomanov I., 1993. World fresh water resources; Chapter in: Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources, Editor Peter H. Gleick, Oxford University Press, New York.
 Statistics Norway, 2009: Natural Resources and the Environment. Statistics Norway. <http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/sa109/sa109.pdf>
 Statistics Norway, 2012. <http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/sa109/sa109.pdf>
 UNDP, 2004: Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. http://www.undp.kz/library_of_publications/files/2496-24188.pdf
 UNECE, 2007. Безопасность плотин в Центральной Азии: создание потенциала и региональное сотрудничество, ООН, Женева. http://www.uncece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/documents/Water_Series_Publication5_r.pdf
 UNECE, 2010. Второй Обзор результативности экологической деятельности Кыргызстана, Женева. <http://www.uncece.org/?id=14802&L=2>

- UNEP, 2013. Национальный диалог по водной политике в Кыргызстане в сфере интегрированного управления водными ресурсами, 2013. Процесс и результаты за 2008–2013 годы. Бишкек. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/NPD_meetings/2013/Kyrgyzstan/pb_rus.pdf
- Бабаев А.Г.*, 2009. Трансграничные проблемы в бассейне Амударьи // Трансграничные проблемы стран СНГ. Москва.
- Бояркина О.А.*, 2011. Управления водными ресурсами в центральноазиатском регионе. Институт водных проблем РАН.
- Брошюра Министерства мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан, Душанбе, 2010.
- Евростат, 2013: Water statistics. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics
- Издание Министерства мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан, Душанбе, 2010.
- Картографическая секция ООН, 2009.
- Кыргызстан-2025, 2013. Стратегии и сценарии развития. Институт стратегических исследований при президенте Кыргызской Республики, Бишкек.
- Минприрод РФ, 2013: Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году”. Москва, с. 15. <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cef/gosdoklad%20za%202012%20god.pdf>
- Росстат, 2013. Российский статистический ежегодник. Стат. сб. Москва, с. 64.
- Состояние окружающей среды Республики Беларусь: нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, 2010, гос. науч. учр-е “Ин-т природопользования Нац. Академ. наук Беларуси”. Минск: Белтаможсервис, 150 с. http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/000597_79443_part_0.pdf
- Справочные материалы Гидрометеослужбы Республики Таджикистан, 2012.
- Шакиржанов Р.*, 2010. Вода в Центральной Азии – геополитический кризис в перспективе?

1.2.2. КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ

Три четверти поверхности земного шара покрыто водой. Водную оболочку Земли называют гидросферой. Гидросфера представляет собой совокупность всех вод земного шара – поверхностных, подземных, вод ледников и снегового покрова. В состав гидросферы входит вода, содержащаяся в атмосфере, которая играет важную роль в общем круговороте вод. Основными элементами гидросферы являются объекты, где сосредоточена вода (океан, море, озеро, река, водохранилище, пруд, болото, канал, водоносный горизонт).

Круговорот воды в природе представляет собой непрерывный процесс перемещения воды на Земле (в атмосфере, гидросфере и земной коре), сопровождающийся ее фазовыми превращениями и имеющий более или менее выраженный циклический характер. Он является самым значительным по переносимым массам и по затратам энергии круговоротом на Земле и включает испарение воды с водной поверхности мирового океана и суши, перенос водяных паров воздушными течениями, конденсацию и возврат воды в виде атмосферных осадков в океан (малый, или океанический, круговорот) или на сушу, где часть ее стекает через реки обратно в океан (большой круговорот).

Различают местный, или внутриматериковый, круговорот, при котором принимается во внимание вода, испарившаяся с поверхности суши и вновь выпавшая на сушу в виде атмосферных осадков. Совокупность

взаимосвязанных процессов, которая составляет замкнутый кругооборот воды в течение определенного промежутка времени, называют гидрологическим циклом.

Движущей силой глобального круговорота воды на Земле является солнечная энергия и сила тяжести. Около трети всей поступающей на Землю солнечной энергии затрачивается на приведение в движение круговорота воды. С поглощением (выделением) тепла происходит испарение, конденсация водяных паров, таяние, замерзание и другие фазовые переходы воды. Под влиянием силы тяжести происходит выпадение атмосферных осадков, движение поверхностных и подземных вод, которое может использоваться для выработки энергии (гидроэнергетика).

Круговорот воды, особенно поверхностный и подземный сток на суше, определяет гидрогенную миграцию веществ, которая помимо переноса сопровождается процессами растворения, кристаллизации, осаждения и ионного обмена, окислительно-восстановительными реакциями. Таким образом, с круговоротом воды, вызываемым потоком солнечной энергии, связаны круговороты многих химических элементов и их соединений. В большом круговороте воды заметное участие принимают живые организмы, экосистемы. Растения перехватывают часть осадков и способствуют испарению влаги до того, как она попадет на землю. Почвенная влага всасывается корнями растений, участвует в обмене веществ и затем испаряется из листьев (транспирация). Вместе с испарением с поверхности почвы транспирация составляет суммарное испарение, или эвапотранспирацию. Уровень перехвата и транспирации составляет более 40% объема испарения на суше.

Круговорот воды характеризуется водным балансом. Количественные оценки содержания воды в “резервуарах” (океаны, ледники и др.), а также потоков воды, вовлеченных в глобальный круговорот воды, представленные в различных источниках, отличаются (в табл. 1.19 приведены средние значения запасов воды в природных объектах).

На рис. 1.24 приведена характеристика потоков глобального круговорота воды. Сопоставляя количественную оценку потоков воды, включенных в круговорот, можно отметить несколько его особенностей.

Океан теряет из-за испарения больше воды, чем получает с осадками. Баланс воды в Мировом океане поддерживается за счет ее поступления с речным стоком. Разница в величинах испарения и осадков на поверхности Мирового океана составляет 47 тыс. км³ воды в год. Этот же объем воды ежегодно возвращается в океан с речным (41,7 тыс. км³), подземным, не дренируемым (2,2 тыс. км³) стоком и в виде ледникового стока (3,0 тыс. км³) в виде айсбергов и талых вод. На суше наблюдается противоположная ситуация. Значительная часть осадков, поддерживающих экосистемы суши, в том числе большинство агроэкосистем, производящих пищу для человека, состоит из воды, испаренной с поверхности океана. В материковом звене ежегодно участвует 72 тыс. км³ воды, равные величине испарения с поверхности вод суши. Из которых около 30 тыс. км³ (42%) приходится на транспирацию растительным покровом.

Разность между годовым количеством осадков и поверхностным стоком составляет поступление воды в подземные воды. Во многих об-

Таблица 1.19. Средние значения запасов воды в природных объектах

Водный ресурс	Объем воды, км ³	Доля от запасов пресной воды, %	Доля от общих запасов воды, %
Океаны, моря и заливы	1 338 000 000	–	96,5
Ледники и постоянный снеговой покров	24 064 000	68,7	1,74
Грунтовые воды, всего	23 400 000	–	1,69
Из них: пресные	10 530 000	30,1	0,76
солёные	12 870 000	–	0,93
Почвенная влага	16 500	0,05	0,001
Первый лед и вечная мерзлота	300 000	0,86	0,022
Озера, всего	176 400	–	0,013
Из них: пресные	91 000	0,26	0,007
солёные	85 400	–	0,006
Атмосфера	12 900	0,04	0,001
Болота	11 470	0,03	0,0008
Реки	2 120	0,006	0,0002
Биологическая вода	1 120	0,003	0,0001

ластях запасы подземных вод истощаются за счет превышения забора воды на хозяйственную деятельность над ее поступлением.

Поступление пресных вод с речным стоком в Мировой океан с Азиатского континента составляет 30,8%, Южной Америки – 25,1, Северной Америки – 17,5, Африки – 9,8, Европы – 6,9 и Австралии – 5,1%. Европа, на территории которой расположены индустриально развитые страны,

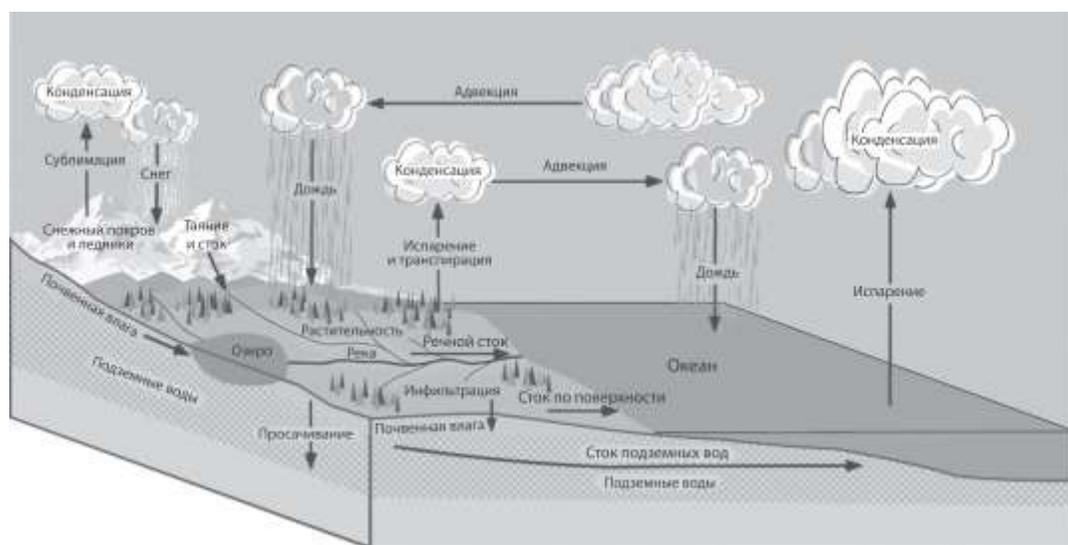


Рисунок 1.24.

Круговорот воды в природе (PhysioGeography, 2012)

не относится к континентам, где формируется наибольший объем мирового баланса пресноводного стока. Значительная часть Европы – это районы с осадками менее 400 мм/год. На величину поверхностного стока Европы, кроме естественных факторов, существенное влияние оказывает безвозвратное изъятие воды на нужды производства – около 500 км³/год, или почти 20% поверхностного стока. На крупнейших реках Европы созданы водохранилища, в которых задерживается до 10% ее водных ресурсов. Суммарный речной сток с ее территории в разные по водности годы колеблется в пределах 2410–3800 км³.

Важную роль в круговороте воды играют ледники, которые дают около 7% общего стока, поступающего в Мировой океан с территории суши.

Участие оледенелых горных массивов в круговороте менее выражено. Они аккумулируют атмосферные осадки в виде ледяного и снежного покровов, который формирует сток горных рек.

Как уже отмечалось, круговорот воды сопровождается сложными и многообразными физико-химическими процессами. С поверхности океана испаряется ежегодно огромное количество воды, что является причиной изменения ее изотопного состава: она становится беднее тяжелым водородом (дейтерием и тритием) по сравнению с океанической водой (в результате фракционирования изотопов водорода при испарении). Между поверхностным слоем воды океана и массой воды более глубоких его зон существует свой регулярный, установившийся обмен. Между парами воды и водой атмосферы и водоемов устанавливаются локальные временные равновесия. Пары воды в атмосфере конденсируются, захватывая газы и примеси, содержащиеся в атмосфере, а затем в виде атмосферных осадков выпадают на сушу. Часть воды при этом входит в химические соединения, другая в виде кристаллогидратной, сорбированной и других форм связывается рыхлыми осадками земной коры и надолго оставляет основной цикл.

Осадочные породы в процессе перемещения в глубь Земли под влиянием давления и температуры теряют воду, которая поднимается вверх и появляется в виде горячих источников или пластовых вод на поверхности Земли или выбрасывается с парами при вулканической деятельности вместе с некоторым количеством ювенильных (подземные воды, образующиеся из кислорода и водорода, выделяющегося из магмы, и впервые вступающие в круговорот воды) вод. Другая же, основная масса воды, извлекая растворимые соединения из пород литосферы, разрушая их, стекает реками обратно в океан. В результате этого процесса солевой состав океана постепенно изменяется. Химические элементы, образующие легкорастворимые соединения, накапливаются в морской воде. Труднорастворимые соединения химических элементов осаждаются на дно океана.

Таким образом, отдельные циклические процессы, слагающие общий круговорот воды на Земле, не являются полностью обратимыми. Часть вещества в повторяющихся циклических процессах рассеивается (разбавляется) и включается в локальные круговороты или задерживается (фиксируется).

Продолжительность гидрологического цикла можно условно оценить по тому времени, которое необходимо для того, чтобы вся масса воды могла полностью заместиться (обновиться). Для определения этого времени необходимо располагать информацией о количестве воды, содержащейся в “резервуарах”, и расходе (потоке) воды, вовлеченной в круговорот.

Так как скорость переноса отдельных видов природных вод неодинакова, то и время расходования и возобновления различно.

Средние периоды возобновления запасов природных вод (продолжительность гидрологического цикла) для разных видов природных вод и водных объектов составляют:

- подземные льды зоны многолетней мерзлоты – 10000 лет;
- полярные ледники и постоянно залегающий снежный покров – 9700 лет;
- Мировой океан – 2500 лет;
- ледники горных районов – 1600 лет;
- подземные воды – 100–1400 лет;
- вода в озерах – 10–100 лет;
- вода болот – 5 лет;
- почвенная влага – 1 год;
- воды в руслах рек – 2–6 месяцев;
- атмосферная влага – 8–9 дней;
- биологическая вода – несколько часов.

Вода играет важную роль в поддержании теплового баланса Земли. В процессе круговорота воды осуществляется перераспределение тепла. Тепло, затрачиваемое на испарение в одном месте, высвобождается при конденсации влаги в другом. Скрытая энергия, поступившая в атмосферу с водяными парами с поверхности земли, частично преобразуется в механическую энергию, обеспечивающую перемещение воздушных масс.

Количественная характеристика локального, регионального круговорота воды, гидрологического цикла водных объектов является основой для составления водохозяйственных балансов, планирования деятельности по защите водных объектов от истощения, рациональному использованию водных ресурсов.

Литература к разделу 1.2.2

Gleick P.H., 1996: Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S.H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp. 817–823.

<http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

<https://spark.ucar.edu/longcontent/water-cycle>

PhysioGeography, 2012. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>

Pidwimny M., 2006. “The Hydrologic Cycle”. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. 1974. Л.: Гидрометеоздат. 636 с.

Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. 1991. *Общая гидрология*. – М.: Высш. шк. 368 с.

1.2.3. ХИМИЯ ГИДРОСФЕРЫ

1.2.3.1. Характеристика процессов, протекающих в природных водах

Характерным для процессов, протекающих в гидросфере, является то, что природные водные объекты представляют собой системы открытого типа, обменивающиеся веществом и энергией с сопредельными средами: атмосферой, литосферой и биологической составляющей окружающей среды. Это определяет физико-химические и физические процессы, являющиеся основой формирования состава и свойств природных подземных и открытых водоемов.

Природная вода, соприкасаясь с минералами и горными породами, атмосферным воздухом и органическим веществом почвы, постоянно изменяет свой химический состав. Такого рода изменения связаны не только с физико-химическими процессами, переводящими вещество в раствор или выводящими его из раствора. Они могут быть вызваны процессами испарения, вымораживания, жизнедеятельностью организмов и др.

К основным процессам, формирующим состав природных вод, относятся:

- перенос вещества, осуществляемый по механизму молекулярной и турбулентной диффузии, а также диффузионно-конвективного массопереноса;
- процессы, переводящие вещество в раствор;
- процессы, выводящие вещество из раствора;
- обменные процессы;
- превращение вещества.

К таким процессам прежде всего относятся: растворение газов и твердых тел, гидролиз солей слабых кислот и слабых оснований, осаждение аморфных и кристаллических твердых веществ, образующихся из ионов, присутствующих в природной воде, при изменении ее физико-химических характеристик, осаждение (отстаивание) твердых частиц, присутствующих в воде за счет активизации гидродинамических условий стока воды при выпадении дождя, в паводковый период и др., а также являющихся продуктами метаболизма биологической составляющей водных объектов.

Некоторые из перечисленных процессов протекают на границе “твердая фаза – жидкость (газ)”, что обуславливает важную роль молекулярной диффузии, определяющей скорость процессов при формировании характеристик и состава природных вод.

Процессы, переводящие вещество в раствор. Эти процессы протекают в основном в подвижной среде, когда вода находится в состоянии, удаленном от насыщения солями и газами, и соприкасается с вмещающими породами и атмосферой.

Химический состав большей части поверхностных и подземных вод является результатом взаимодействия дождевых вод с породами близ поверхности земли и особенно в почвенной зоне. Воды, просачивающиеся через почву, содержат обычно в 10–100 раз больше растворен-

ного диоксида углерода, чем дождевые воды. Этот диоксид углерода является источником кислотности для большинства реакций выветривания.

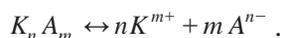
В результате выветривания горных пород образуются остаточные продукты и растворимые соли, которые и формируют разнообразный ионный состав природных вод. Воздействие агентов выветривания прежде всего приводит к разрушению горных пород вследствие гидролиза, выщелачивания или растворения. Под выветриванием понимают совокупность процессов физического разрушения и химического (биохимического) разложения горных пород и минералов на поверхности Земли под действием внешних агентов. Главные агенты выветривания – вода во всех ее проявлениях, перепады температур (солнечная энергия), кислород и углекислый газ, а также живые организмы.

Растворимость газов в воде. При сравнительно невысоком давлении и отсутствии химического взаимодействия с водой и ее компонентами растворимость газов в воде подчиняется закону Генри:

$$C = K \cdot P_i \quad \text{или} \quad P_i = K' \cdot N_i,$$

где C – растворимость газа; P_i – парциальное давление газа (пара) в смеси; N_i – молярная доля компонентов в растворе; K, K' – коэффициенты Генри в различном концентрационном выражении, определяемые опытным путем.

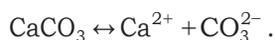
Растворимость твердых веществ в воде. Применительно к природной воде рассматривается обычно растворимость труднорастворимых веществ. Количественной характеристикой труднорастворимых веществ является произведение растворимости (ПР). Для труднорастворимой соли типа $K_n A_m$, процесс электролитической диссоциации при растворении описывается уравнением



Формула произведения растворимости имеет вид

$$\text{ПР}(K_n A_m) = [K^{m+}]^n \cdot [A^{n-}]^m.$$

Расчет растворимости твердого вещества с использованием справочного значения произведения растворимости можно провести следующим образом. Рассмотрим, например, растворимость кальция карбоната, которая существенным образом определяет состав природных вод, в частности, ее жесткость. Электролитическая диссоциация CaCO_3 при его растворении в воде описывается уравнением



Произведение растворимости указанного вещества, значение которого приводится в справочных данных, имеет вид

$$\text{ПР} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}].$$

Кроме того, в равновесном состоянии с твердой фазой в растворе существуют также другие процессы (тоже равновесного характера), определяемые присутствием аниона слабой угольной кислоты H_2CO_3 ,

которые количественно описываются константами ионизации угольной кислоты:

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]};$$

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]};$$

Условие материального баланса растворимости (S) карбоната кальция представляется следующим образом, учитывая, что Ca^{2+} является катионом сильного основания:

$$S_k = [Ca^{2+}] + [CaCO_3] + [CaHCO_3^+].$$

Выражения для равновесных концентраций карбонатсодержащих частиц с использованием констант ионизации угольной кислоты и произведения растворимости представим следующим образом:

$$[CO_3^{2-}] = PR/S;$$

$$[HCO_3^-] = PR \cdot [H^+] / K_1 S;$$

$$[H_2CO_3] = PR \cdot [H^+]^2 / K_1 \cdot K_2 \cdot S.$$

В результате уравнение материального баланса растворимости кальция карбоната приобретает вид

$$S_k^2 = PR \left(1 + \frac{[H^+]}{K_2} + \frac{[H^+]^2}{K_1 \cdot K_2} \right) = PR_k \frac{[H^+]^2 + K_1[H^+] + K_1 K_2}{K_1 \cdot K_2}.$$

Полученное выражение позволяет вычислить растворимость карбоната кальция при значениях кислотности воды, которая определяется растворимостью CO_2 из воздуха или другими факторами, обуславливающими активность реакции среды, т.е. $[H^+]$ или pH воды.

Процессы, выводящие вещество из раствора. К основным процессам, обеспечивающим удаление растворенных веществ из природных вод, относятся осаждение, сорбция, соосаждение, кристаллизация солей.

Ионы и молекулы растворенных веществ могут удаляться из насыщенных солями природных вод вследствие сорбции. К хорошим сорбентам в природных водах относятся глины, органическое вещество, входящее в состав горных пород, почв и илов (гумус, торф и др.), коллоидные формы кремнезема, гидроксиды Mn, Fe, Al и др.

Осаждение (кристаллизация) соли из раствора происходит при превышении концентраций ионов значений, соответствующих произведению растворимости (ПР).

Соосаждение – включение растворенных элементов в качестве второстепенного компонента в твердую фазу в момент ее осаждения. В природных водах, содержащих гидроксиды марганца и железа, практически невозможно провести различие между сорбцией и соосаждением.

Кристаллизация солей из воды способствуют изменения геохимической обстановки. К таким изменениям относятся концентрирование,

выделение газов, сдвиг термодинамического, кислотно-щелочного и окислительно-восстановительного равновесия, смешение водных масс различного состава.

При испарении или вымораживании океанических, морских, озерных и других видов вод происходит концентрирование, приводящее к выпадению солей. С увеличением концентрации выпадение солей происходит в следующей последовательности: карбонатные, сульфатные, хлоридные.

Выпадение карбонатов большей частью связано с дегазацией природных вод, изменением температуры, увеличением степени испарения.

Общий эффект испарения состоит в удалении из раствора чистой воды, поэтому концентрации всех растворенных компонентов при испарении возрастают. Хотя испарение происходит во всех климатических зонах, однако только в относительно аридных условиях концентрирование растворенных веществ становится главным фактором, контролирующим состав воды.

Кристаллизация солей в процессе концентрирования природных вод аридной зоны сопровождается выпадением не только карбонатов и сульфатов, но и хлоридов кальция, магния, натрия, что приводит к образованию солончаков.

Важным фактором формирования состава природных вод является растворимость карбонатсодержащих пород в присутствии одноименного иона. Этот процесс наблюдается при контакте воды, насыщенной карбонатом кальция, с породами, содержащими сульфат кальция, который имеет произведение растворимости большее, чем у карбоната кальция: $PP_c = PP_c(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 1,3 \cdot 10^{-4}$; $PP_k = PP(\text{CaCO}_3) = 9,3 \cdot 10^{-9}$. В этом случае в воде устанавливается равновесная концентрация ионов кальция, определяемая растворимостью сульфата кальция S_c и карбоната кальция (в присутствии сульфата кальция S_{KC}). Следовательно, материальный баланс растворения карбоната кальция представляется следующим образом:

$$S_{KC} + S_c = [\text{Ca}^{2+}]$$

$$S_{KC} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{H}_2\text{CO}_3],$$

а выражение PP_k примет вид

$$PP_k = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] - (S_{KC} + S_c) \cdot [\text{CO}_3^{2-}].$$

Равновесную концентрацию $[\text{CO}_3^{2-}]$, используя константы диссоциации угольной кислоты, можно определить следующим образом:

$$S_{KC} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{H}_2\text{CO}_3].$$

Используя выражение константы диссоциации угольной кислоты, $[\text{HCO}_3^-]$ и H_2CO_3 можно выразить через равновесную концентрацию $[\text{CO}_3^{2-}]$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{K_2}, \quad [\text{H}_2\text{CO}_3] = \frac{[\text{H}^+]^2 [\text{CO}_3^{2-}]}{K_1 \cdot K_2}.$$

Преобразуя выражение для $S_{\text{КС}}$ с использованием вышеприведенных формул, получим:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{S_{\text{КС}} K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2 + K_1 [\text{H}^+] + K_1 K_2}.$$

В итоге $\text{PP}_\text{К}$ можно представить в виде

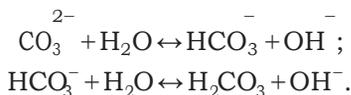
$$\text{PP}_\text{К} = \frac{(S_{\text{КС}} + S_{\text{С}}) \cdot S_{\text{КС}} \cdot K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2 + K_1 [\text{H}^+] + K_1 K_2}.$$

После вычисления $S_{\text{С}}$, с использованием значения $\text{PP}_\text{С}$, по уравнению, аналогичному для $S_{\text{К}}^2$, решение вышеприведенного уравнения относительно $S_{\text{КС}}$ не представляет проблем. Следует отметить, что $S_{\text{КС}} < S_{\text{К}}$; поэтому при контакте воды, насыщенной карбонатом кальция, с породами, содержащими сульфат кальция, карбонат кальция будет кристаллизоваться и выводиться из воды.

Гидролиз в природной воде и в процессах водоочистки.

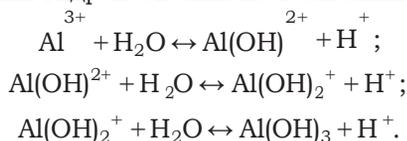
Гидролиз – это равновесные реакции обменного взаимодействия различных веществ с водой. Для природных вод, а также в процессах водоочистки важнейшим является гидролиз солей в водных растворах. Гидролизу подвержены соли, в состав которых входят катионы слабых оснований ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и др.). При гидролизе солей сильных оснований и слабых кислот анион слабой кислоты связывает ионы водорода (из гидроксония); для многоосновной кислоты связывание ионов водорода проходит ступенчато.

Например, гидролиз соли сильного основания и слабой кислоты Na_2CO_3 описывается ступенчато обратимыми сокращенными ионными реакциями



При этом происходит подщелачивание раствора.

Гидролиз соли слабого основания и сильной кислоты (AlCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 и др.) протекает за счет связывания гидроксид-ионов катионом металла (например, алюминия), постадийно реализуя реакции образования гидроксокомплексов алюминия:



Концентрация солей в растворе оказывает существенное влияние на степень гидролиза солей. С уменьшением концентрации солей в воде равновесная концентрация $[\text{OH}^-]$ и $[\text{H}^+]$ также уменьшается, что приводит к сдвигу равновесия реакций гидролиза вправо, т.е. к увеличению степени гидролиза солей.

В растворах средней концентрации степень гидролиза $\alpha = C_\Gamma / C_0$ составляет лишь несколько процентов, преимущественно по первой стадии. Уменьшение концентрации соли приводит к увеличению степени гидро-

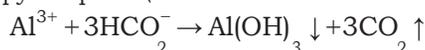
лиза; при этом существенным становится вклад последующих стадий гидролиза. В растворах солей алюминия $C(\text{Al } X_3) = (0,1 \div 0,001)$ ммоль/дм³ гидролиз может достичь предельной третьей стадии. Однако осадка $\text{Al}(\text{OH})_3$ в дистиллированной воде не наблюдается, потому что концентрация растворенного $\text{Al}(\text{OH})_3$ не достигает концентрации осадкообразования, обусловленной произведением растворимости $\text{PP}(\text{Al}(\text{OH})_3) = 5,1 \cdot 10^{-33}$.

В природной воде, обладающей щелочностью до 10 ммоль/дм³, в основном за счет растворенного гидрокарбонат-иона, происходит нейтрализация $[\text{H}^+]$ -иона (из иона гидроксония) по реакции

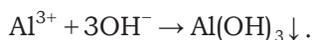


Эта реакция сдвигает равновесие реакции гидролиза вправо даже в сравнительно концентрированных растворах солей алюминия, применяемых для коагуляционной очистки воды.

В итоге в природной воде формирование хлопьев $\text{Al}(\text{OH})_3$ осуществляется согласно брутто-реакции



или при известковании воды гидроксидом кальция (сильное основание) по реакции



Диффузионные процессы в природной воде. Диффузия – это миграция вещества, вызываемая градиентом его концентрации. Результатом диффузии является самопроизвольный процесс переноса вещества. В природной воде диффузия осуществляется в основном в гетерофазных условиях. Это растворение компонентов воздуха в воде, растворение солей при контакте воды с почвой и минералами, проникновение ионов и растворенных газов в донные водонасыщенные отложения.

Все сказанное выше относится к процессу *молекулярной диффузии*, когда молекулы или ионы диффундируют в неподвижной среде.

Диффузионно-конвективный массоперенос. В широком смысле под конвекцией понимают тепло- и массоперенос в движущемся потоке. Если диффузия происходит в покоящейся среде, то необходимым условием конвекции является подвижность самой среды, с которой вещество перемещается.

В зависимости от движущей силы различают естественную (или свободную) и вынужденную конвекцию. В случае естественной конвекции перемещение вещества происходит под влиянием градиента температуры и градиента концентрации и вызванного им различия плотностей среды. При вынужденной конвекции массоперенос обусловлен главным образом внешним побудителем и сочетает механическое и диффузионное перемещение вещества.

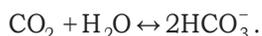
Такого рода диффузионно-конвективный массоперенос наблюдается там, где имеются градиент напора и градиенты концентрации растворенных веществ, благодаря которым возникают молекулярные потоки.

Поверхностные воды всегда находятся в движении, в основном в виде турбулентных потоков. Если в такой водной массе существует градиент концентрации некоторых веществ, то процесс смешения, связанный с турбулентным течением, приводит к переносу растворенного вещества. Этот процесс называется *турбулентной диффузией*. Коэффициент турбулентной диффузии на несколько порядков превышает коэффициент молекулярной диффузии.

Итогом конвективной диффузии является смешение вод различного состава и минерализации. В зависимости от объема смешивающихся водных масс, а также влияния некоторых других факторов смешение их сопровождается активизацией процессов массопереноса, переводом солей в раствор или выводом вещества из раствора. В итоге нарушается динамическое равновесие, установившееся между водным раствором, вмещающей породой и растворенными газами.

Рассмотренные процессы являются в основном внутриводоемными, происходящими в водном объекте с участием веществ, присутствующих в нем.

Диффузия в системе “газ–жидкость” в природных водах осуществляется в основном: при растворении кислорода в воде с его последующим использованием в биохимических реакциях; при растворении оксида углерода (IV) с использованием его в реакциях нейтрализации при контакте воды с карбонатсодержащими минералами:



Наиболее распространенным в системе “газ–жидкость” является двухпленочный механизм диффузии при протекании реакции $A_{\text{г}} + B_{\text{ж}} \rightarrow R_{\text{ж}}$, схема которого приведена на рис. 1.25.

На рис. 1.25 представлено (в случае быстрой химической реакции) значение парциального давления газового компонента P_{A_0} в ядре газового потока (например, кислорода или CO_2 в воздухе). Значение P_{A_0}

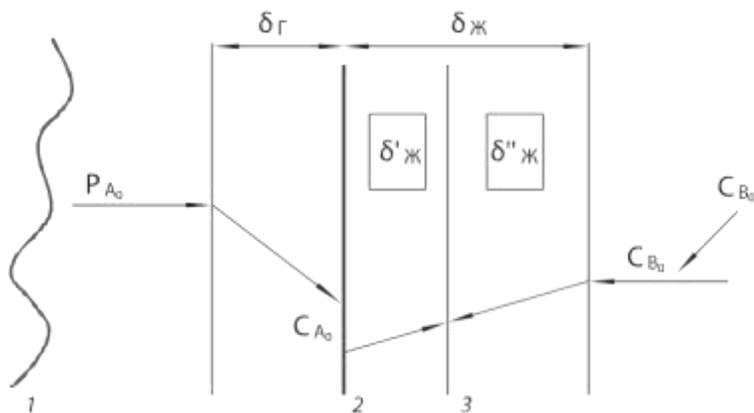


Рисунок 1.25.

Схема двухпленочной модели процесса диффузии в системе “газ–жидкость”:

1 – ядро потока газа; 2 – граница раздела фаз; 3 – зона реакции; $\delta_г$ – толщина пограничной пленки со стороны газа; $\delta_ж$ – толщина пограничной пленки со стороны жидкости; $\delta'_ж$ – часть пленки со стороны жидкости, которую проходит растворенный газ до реакции; $\delta''_ж$ – часть пленки со стороны жидкости, которую проходит компонент B, находящийся в жидкости

не изменяется до поверхности пограничной пленки со стороны газа вследствие того, что конвективный массоперенос существенно выше диффузионного массопереноса в пограничной пленке. На границе раздела двух фаз происходит растворение газа в жидкости согласно закону Генри $C_{A_0} = KP_{A_0}$ и устанавливается концентрация газа в воде C_{A_0} . Учитывая, что газ в жидкости реагирует с компонентом B , концентрация его в пленке жидкости будет меньше C_{A_0} и профиль концентрации C_A будет ниспадающий до момента встречи с компонентом B и быстрого протекания реакции.

Диффузионный перенос компонента A через $\delta'_ж$ определяется скоростью массопереноса

$$W' = \beta_{ж} (C_{A_0} - C_A),$$

где $\beta_{ж}$ – коэффициент массоотдачи A в жидкости.

Учитывая, что на уровне зоны реакции $3 C_A = 0$, получим

$$W' = \beta_{ж} C_{A_0} = \frac{D_A}{\delta'_ж} C_{A_0},$$

где D_A – коэффициент диффузии A . Скорость массопереноса B через $\delta''_ж$ аналогично определяется выражением

$$W'' = \beta_B C_{B_0} = \frac{D_B}{\delta''_ж} C_{B_0},$$

где β_B – коэффициент массопередачи B в жидкости; D_B – коэффициент диффузии B в жидкости.

В стационарном режиме $W' = W''$, поэтому

$$W = \frac{D_A}{\delta'_ж} C_{A_0} = \frac{D_B}{\delta''_ж} C_{B_0}$$

или
$$\delta'_ж = \frac{D_A C_{A_0}}{W}, \quad \delta''_ж = \frac{D_B C_{B_0}}{W}.$$

Так как толщина диффузионной пленки со стороны жидкости $\delta_ж = \delta'_ж + \delta''_ж$, то стационарная скорость массопереноса определится как

$$W = \frac{1}{\delta_ж} (D_A C_{A_0} + D_B C_{B_0}) = \frac{D_A C_{A_0}}{\delta_ж} \left(1 + \frac{D_B C_{B_0}}{D_A C_{A_0}} \right).$$

Второй сомножитель принято называть коэффициентом ускорения.

Скорость массопереноса без химической реакции или при медленной химической реакции определяется в основном скоростью диффузии A через пленку со стороны жидкости, т.е. соответствует процессу физической абсорбции.

Обменные процессы. Для элементов, используемых организмами в относительно больших количествах (азот, фосфор, иногда углерод, калий, кальций, кремний), биологическое поглощение (сорбция) часто является доминирующим фактором, регулирующим содержание их в природных водах в широком диапазоне концентраций. То же самое можно наблюдать для микроэлементов (марганца, меди, никеля, молибдена, селена), присутствующих в водных объектах в незначительных концентрациях.

Химический состав воды во многом зависит от обменных процессов, протекающих на поверхности раздела жидкой и твердой фаз (ионный обмен, окислительно-восстановительные и биогеохимические реакции).

Ионный обмен – процесс поглощения твердым веществом из воды одних ионов и замены их другими, находящимися в твердом веществе (глинистые минералы, органическое вещество природных вод). Реакции ионного обмена обратимы. Их движущей силой является стремление к установлению химического равновесия между взаимодействующими фазами.

Обменные ионы, сосредоточенные на поверхности сорбента, называются поглощающим комплексом. Степень дисперсности твердой фазы увеличивает ее способность к обмену. Немалую роль играет в этом и состав сорбента, в частности минералогический состав пород. Например, большой обменной способностью обладает монтмориллонит, минимальной – каолинит.

Степень поглощения ионов зависит от валентности катионов. Хорошо поглощаются многовалентные ионы, слабее – одновалентные. Среди ионов одинаковой валентности энергия поглощения падает с уменьшением относительной атомной массы и радиуса иона: $K^+ > Na^+ > Li^+$; $Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$.

Адсорбция на твердом органическом веществе. Растворенное органическое вещество природных вод включает широкий круг соединений – от относительно небольших молекул до олигомеров и полимеров. Концентрация растворенного органического вещества в почвенных растворах обычно много больше, чем в реках и озерах. Основное количество органического вещества природных вод представлено гумусовыми веществами, которые состоят из гуминовых и фульвокислот.

Гуминовые кислоты представляют собой высокомолекулярные полимеры, содержащие карбоксильные и фенольные гидроксидные функциональные группы. При подкислении гуминовые кислоты теряют растворимость и выделяются из раствора в виде дисперсной фазы.

Гумусовые вещества в растворе активно взаимодействуют с ионами металлов, образуя комплексы хелатного типа. Это является причиной формирования высоких концентраций металлов в растворе. Сорбция на твердой фазе гуминовых кислот способствует удалению металлов из раствора.

Присутствие в растворе органических лигандов также вносит изменения в адсорбцию металлов на оксидах и поверхности глинистых минералов.

Если ион металла в растворе находится в комплексной форме, его адсорбция может быть подавлена, но в некоторых системах она в действительности даже увеличивается за счет образования тройных металл-лиганд-поверхностных комплексов.

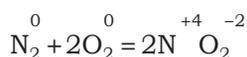
Химические и физико-химические процессы. В природных водах протекают различные химические и физико-химические процессы, оказывающие существенное влияние на их состав.

Химические реакции в природных водах в основном ионообменные и окислительно-восстановительные. Суммарное относительное содержа-

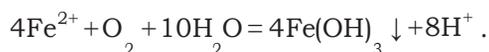
ние окислительно-восстановительных реагентов характеризует величина окислительно-восстановительного (редокс) потенциала. Поскольку в природной воде присутствует растворенный кислород, то среда имеет окислительный характер. Отрицательное значение редокс-потенциал наблюдается в анаэробных условиях – среда имеет восстановительный характер.

Окислительно-восстановительными реакциями (ОВР) называются реакции, сопровождающиеся переходом электронов между участвующими в реакции частицами (атомами, ионами, молекулами). Различают три типа ОВР: межмолекулярные, межионные, внутримолекулярные, самоокисления-самовосстановления.

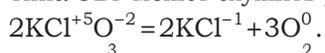
Примером первого типа может служить реакция, происходящая в атмосфере



или в воде



Примером второго типа ОВР может служить реакция



Примером третьего типа ОВР – реакция, протекающая при обезжелезивании воды,

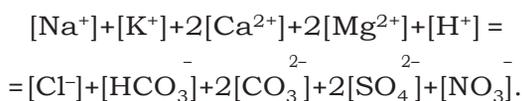


где хлор выступает в качестве окислителя и восстановителя (реакция самоокисления-самовосстановления).

Фотолит – фотохимические превращения, протекающие в природных водах под воздействием УФ-излучения Солнца при участии свободных радикалов и возбужденных частиц. Толщина слоя воды, в котором осуществляется фотолит, может достигать до нескольких метров. Фотолит протекает с участием кислорода и свободных радикалов, играя важную роль в процессах самоочищения неглубоких водоемов, рек, прудов, прибрежных зон морей, озер, водохранилищ от загрязняющих веществ.

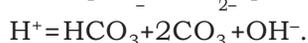
1.2.3.2. Кислотно-основное равновесие в природных водах

Влияние карбонатной системы на рН природных вод. Важной характеристикой природных вод является водородный показатель – рН. Электронейтральность растворов в природных поверхностных водах соблюдается за счет равенства между содержанием катионов натрия, калия, магния, кальция, водорода и количеством анионов – хлорид-, гидрокарбонат-, карбонат-, сульфат-, нитрат-ионов:



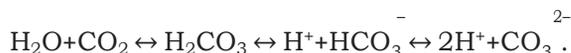
При отсутствии процессов растворения и образования новых фаз ионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- не будут оказывать влияние на рН образующихся растворов. Кислотно-основное равновесие будет опреде-

ляться присутствием HCO_3^- и CO_3^{2-} ионов. Поэтому для большинства природных вод концентрация ионов водорода определяется содержанием гидрокарбонат и карбонат-ионов. В данных растворах при pH равном 7 будет соблюдаться равенство между содержанием ионов водорода и количеством гидрокарбонат-, карбонат- и гидроксидных ионов:



В этой связи изучению равновесий, возникающих в карбонатной системе, уделяют особое внимание.

Установлено, что выделение CO_2 в результате дыхания и разложения органических остатков вызывает понижение pH в природных водах, потому что при абсорбции CO_2 водой образуется слабая угольная кислота:



С другой стороны, поглощение CO_2 в процессе фотосинтеза приводит к уменьшению количества H_2CO_3 и H^+ , т.е. к росту pH. Можно предположить, что pH регулируется равновесием CO_2 и карбоната кальция. Таким образом, повышение количества CO_2 увеличивает содержание H_2CO_3 , что, в свою очередь, вызывает уменьшение содержания карбоната кальция, а уменьшение содержания CO_2 приводит к осаждению карбоната кальция. Вода, содержащая H_2CO_3 и HCO_3^- , обладает буферными свойствами, поэтому достаточно большие изменения концентрации H^+ могут не приводить к сильному изменению pH.

Результирующие соотношения между молекулами и ионами, атмосферным CO_2 и твердым карбонатом кальция приводят к формированию буферного раствора с pH 8,0–8,4. При этом не исключено, что активность органического вещества или другие локальные причины могут образовать на некоторое время более низкие (до 6) и более высокие (до 10) значения pH.

Если известна суммарная активность карбонатов и pH раствора, всегда можно вычислить активность каждого из компонентов карбонатной системы. Для ориентировочных расчетов удобно использовать распределительную диаграмму (рис. 1.26), которая представляет собой зависимость содержания (в долях) компонентов карбонатной системы от величины pH раствора.

Диаграмма включает две зависимости: первая зависимость показывает изменение содержания гидрокарбонат-ионов в системе от pH воды, вторая – изменение содержания оксида углерода (IV) (преимущественно в кислой среде) и карбонат-ионов (преимущественно в щелочной среде) от pH воды.

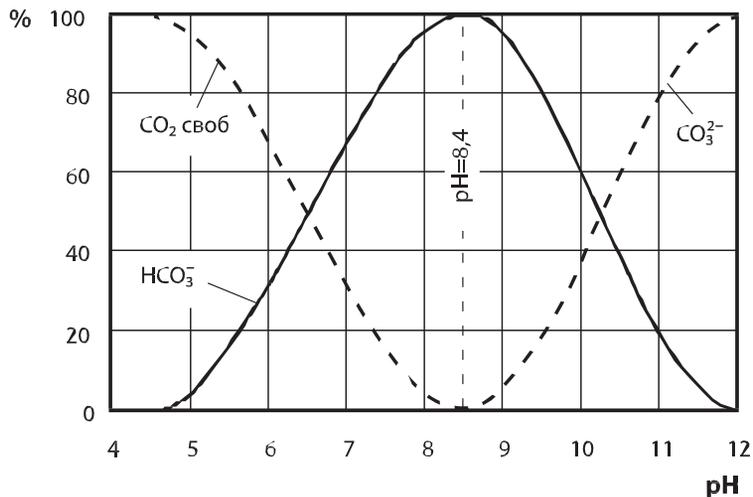
Установлена зависимость pH раствора от содержания оксида углерода (IV) в воздухе:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg\left(K_1 \cdot K_{\Gamma(\text{CO}_2)} P_{\text{CO}_2}\right)^{1/2}, \quad (1.1)$$

где K_1 – константа диссоциации угольной кислоты по первой ступени, моль/дм³; $K_{\Gamma(\text{CO}_2)}$ – константа Генри для оксида углерода (IV), моль/(дм³ Па) или моль/(дм³ атм); P_{CO_2} – парциальное давление оксида углерода (IV) в воздухе (Па или атм).

Рисунок 1.26.

Зависимость содержания отдельных компонентов карбонатной системы от pH



Необходимо отметить, что подходы к оценке значения pH при равновесии для процессов растворения таких газов, как, например, оксид углерода (IV), оксид серы (IV), аммиак, в воде, не содержащей других примесей, являются общими. Поэтому формула (1.1) может быть использована для оценки pH атмосферных осадков, когда в воздухе присутствуют оксиды углерода (IV), серы (IV), аммиак или другие газы и их смеси, поскольку в этом случае в растворе практически отсутствуют источники примесей, способных повлиять на рассмотренные равновесия.

Активность ионов водорода (a_{H^+}) в растворе карбоната кальция в зависимости от парциального давления углекислого газа над раствором определяется по формуле

$$a_{\text{H}^+}^3 = P_{\text{CO}_2}^2 \cdot \frac{K_1^2 \cdot K_{\Gamma(\text{CO}_2)}^2 \cdot K_2}{2K_{\text{CaCO}_3}} \cdot \frac{\gamma_{\text{Ca}^{2+}}}{\gamma_{\text{HCO}_3^-}}, \quad (1.2)$$

где K_1 и K_2 – константы диссоциации H_2CO_3 по первой и второй ступени; $K_{\Gamma(\text{CO}_2)}$ – константа Генри для CO_2 , $\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$, $\gamma_{\text{HCO}_3^-}$ – коэффициенты активности ионов Ca^{2+} и HCO_3^- .

Характеристика карбонатной системы природных вод. Карбонатная система представляет собой один из сложных комплексов природных равновесий и определяет характер ряда процессов и явлений, протекающих в природных водах.

Основными компонентами карбонатной системы природных вод являются оксид углерода (IV), гидрокарбонат- и карбонат-ионы. В растворе между ними существует подвижное равновесие:



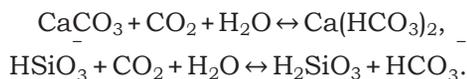
Соотношение между компонентами карбонатной системы в значительной мере определяется величиной pH среды. Так, при $\text{pH} \leq 4,5$ из всех компонентов карбонатного равновесия в воде присутствует только свободная угольная кислота. В интервале pH от 6 до 10 гидрокарбонат-ионы являются основной формой производных угольной кислоты (макси-

мальное их содержание наблюдается при pH 8,3–8,4). При pH > 10,5 главной формой существования производных угольной кислоты являются карбонат-ионы.

Охарактеризуем основные компоненты карбонатной системы природных водоемов. Главными источниками поступления оксида углерода (IV) в природные воды являются процессы биохимического распада органических остатков, окисления органических веществ, дыхания водных организмов. Оксид углерода (IV) содержится в воде в основном в виде растворенных молекул CO₂, и лишь малая часть его (около 1%) при взаимодействии с водой образует угольную кислоту:



Одновременно с процессами поступления CO₂ в водоем значительная часть оксида углерода (IV) потребляется при фотосинтезе, а также расходуется на растворение карбонатов и химическое выветривание алюмосиликатов, присутствующих в воде:



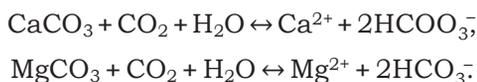
Уменьшение содержания оксида углерода (IV) в воде происходит также в результате его выделения в атмосферу.

Концентрация оксида углерода (IV) в природных водах колеблется от нескольких десятых долей единицы до 3–4 мг/дм³, изредка достигая величины 10–20 мг/дм³. Обычно весной и летом содержание оксида углерода (IV) в водоеме понижается, а в осенне-зимний период увеличивается, достигая максимума в конце зимы. Оксид углерода (IV) имеет исключительно важное значение для растительных организмов (как источник углерода). В то же время повышенные концентрации CO₂ угнетающе действуют на живые организмы. При высоких концентрациях CO₂ вода становится агрессивной по отношению к металлам и бетону в результате образования растворимых гидрокарбонатов, нарушающих структуру этих материалов.

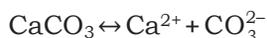
Другой компонент карбонатной системы – карбонаты – широко распространены как в донных отложениях морей и океанов, так и на поверхности материков. Мощные толщи известняков, мергелей, доломитов и других карбонатных пород встречаются практически повсеместно.

Карбонат кальция в природе встречается преимущественно в виде двух кристаллических форм – кальцита и арагонита. Кальцит распространен значительно шире и наиболее характерен для осадков, образующихся в холодной среде. Арагонит, образующийся в тропических морях, относится к метастабильной форме карбоната кальция и постепенно переходит в кальцит.

Основным источником гидрокарбонатных и карбонатных ионов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород типа известняков, мергелей:



Необходимо отметить, что процесс непосредственного растворения карбоната кальция по уравнению



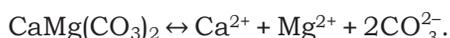
практически не играет роли при переходе малорастворимых карбонатов в раствор.

Образующиеся в ходе этих процессов анионы включаются в общую систему карбонатного равновесия, существующую в природных водах, и оказывают существенное влияние на pH растворов.

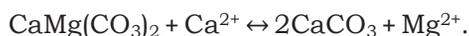
Некоторая часть гидрокарбонат-ионов поступает с атмосферными осадками и подземными водами. Гидрокарбонатные и карбонатные ионы поступают в водоемы со сточными водами предприятий химической, силикатной, содовой промышленности и др.

Помимо кальцита и арагонита, в литосфере достаточно широко распространены карбонатные породы, содержащие кальций и магний, – это доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и высокомагнезиальные кальциты. Магнезиальные кальциты, образующиеся в районах морского мелководья, обычно содержат от 11 до 19 % (мол.) MgCO_3 и относятся к высокомагнезиальным кальцитам. Кальцит, содержащий менее 5 % (мол.) MgCO_3 , называют низкомагнезиальным.

Процесс растворения доломита можно представить уравнением

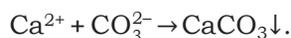


В природе возможны взаимные преобразования (переходы) кальцита в доломит и обратно:



Для большинства поверхностных вод кальцит – менее устойчивая форма карбонатных пород по сравнению с доломитом.

По мере накопления гидрокарбонат- и особенно карбонат-ионов последние могут выпадать в осадок:



В речных водах содержание гидрокарбонатных и карбонатных ионов колеблется от 30 до 400 мг $\text{HCO}_3^-/\text{дм}^3$, в озерах – от 1 до 500 мг $\text{HCO}_3^-/\text{дм}^3$, в морской воде – от 100 до 200 мг/дм³, в атмосферных осадках – от 30 до 100 мг/дм³, в грунтовых водах – от 150 до 300 мг/дм³, в подземных водах – от 150 до 900 мг/дм³.

Карбонатное равновесие в морской воде. Неорганические соединения углерода в морской воде представлены, как и в случае пресных поверхностных и подземных вод, оксидом углерода (IV) и ионами HCO_3^- и CO_3^{2-} . Вода океанов представляет собой многокомпонентный раствор электролитов средней концентрации, который характеризуется высокими значениями ионной силы. Растворение и гидролиз карбонатов обуславливают появление в растворе всех производных угольной кислоты.

Схема обмена углерода между его соединениями в океане приведена на рис. 1.27.

Основным фактором, от которого зависит состояние карбонатных равновесий, является содержание CO_2 . С удалением CO_2 из воды, например при фотосинтезе, растет рН, увеличивается концентрация карбонатных и уменьшается концентрация гидрокарбонатных ионов. Поступление CO_2 в морскую воду ведет к падению рН, уменьшению концентрации карбонатных и увеличению концентрации гидрокарбонатных ионов. Нагревание морской воды сдвигает равновесие в сторону уменьшения концентрации гидрокарбонатных и увеличения концентрации карбонатных ионов.

Протекание процессов растворения или осаждения CaCO_3 в рассматриваемой карбонатной системе океана зависит от парциального давления CO_2 , температуры, солёности воды и величины гидростатического давления. В океанах создается весьма неоднородное распределение границы насыщенности воды карбонатом кальция. С глубиной обычно выделяют четыре зоны с различной степенью насыщения воды карбонатами.

Первая зона – поверхностный слой воды до глубины 300–800 м, значительно перенасыщена. Этому способствуют сравнительно высокие температуры и низкие парциальные давления оксида углерода (IV).

Вторая зона охватывает слой глубиной до 1500–2000 м. В связи с интенсификацией процесса окисления органического вещества в этой зоне происходит увеличение давления CO_2 и может возникнуть недонасыщение карбонатом кальция.

Третья зона – до 3500–4500 м отличается состоянием, близким к равновесному.

Четвертая зона – от 3500–4500 м – до дна характеризуется хорошо выраженным недонасыщением воды карбонатом кальция, связанным с ростом гидростатического давления.

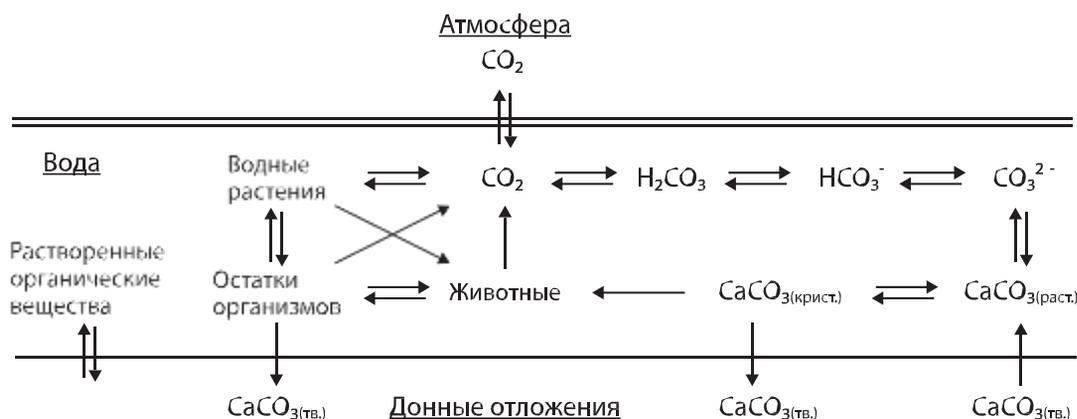


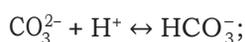
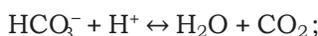
Рисунок 1.27.

Схема обмена углерода между его соединениями в океане

Щелочность природных вод. Одной из важнейших особенностей большинства природных вод является способность нейтрализовать ионы водорода. Эта способность называется щелочностью воды.

Основными компонентами, ответственными за процессы связывания ионов водорода, в большинстве природных вод являются ионы HCO_3^- , CO_3^{2-} и OH^- . Другие ионы (производные органических кислот, фосфаты, бораты и т.д.) вносят лишь незначительный вклад в процессы нейтрализации ионов водорода и начинают играть определенную роль лишь после связывания гидрокарбонат-ионов.

Основные химические реакции, протекающие в водоеме при нейтрализации ионов водорода, можно представить следующими уравнениями:



Таким образом, щелочность можно определить как сумму концентраций ионов гидрокарбоната, гидроксида и удвоенной концентрации карбонат-ионов

$$\text{Щ}_0 = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-],$$

где Щ_0 – общая щелочность воды, моль/дм³.

Величина щелочности природных вод имеет большое значение для фотосинтеза, протекающего в водоемах: при связывании углерода и синтезе органических соединений, в случае отсутствия дополнительного поступления CO_2 , в растворе неизбежно поднимется рН, а количество синтезируемых органических соединений зависит от содержания CO_2 и HCO_3^- в растворе. Поэтому часто щелочность природных водоемов используют в качестве сравнительной характеристики при оценке продуктивности водоемов.

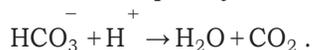
Иногда в природных водоемах в связи с бурным протеканием процессов фотосинтеза и недостаточной скоростью поступления CO_2 рН поднимается до 10 и выше. Такие высокие значения рН, так же как и закисление, отрицательно сказываются на развитии водных экосистем.

Для поверхностных водоемов, находящихся в равновесии с карбонатом кальция и оксидом углерода (IV), содержащимся в атмосферном воздухе, рН воды должен составлять 7,3–8,4. В этом случае значение щелочности в этих водоемах будет определяться лишь концентрацией гидрокарбонат-ионов. Концентрация HCO_3^- в таких водоемах, а следовательно, и щелочность будут равны примерно 1 ммоль/дм³.

Следует отметить, что при отсутствии процессов растворения или осаждения веществ щелочность воды остается неизменной. При изменении рН среды происходят лишь взаимные трансформации компонентов карбонатной системы. Поэтому щелочность часто называют “консервативной величиной”.

Процессы закисления поверхностных водоемов. Одной из причин уменьшения рН природных поверхностных вод является закисление водоемов в результате выпадения кислотных дождей.

В водоеме можно выделить несколько этапов процесса их закисления. На первом, несмотря на поступление кислых осадков, рН практически не меняется. Гидрокарбонат-ионы, присутствующие во всех поверхностных водоемах, полностью нейтрализуют поступающие ионы H^+ :



При воздействии кислотных дождей кислотность воды в водоеме не будет возрастать до тех пор, пока щелочность воды не уменьшится в 10–15 раз до величины менее 0,1 моль/дм³. В этом случае в период наиболее интенсивного поступления кислых вод в водоем (осень – обильные дожди и особенно весна – таяние снега) возможны значительные отклонения в величине рН поверхностных водоемов. Эти отклонения носят временный характер и с прекращением интенсивного поступления кислых осадков водоем переходит в обычное состояние, рН поднимается до первоначальных значений. Даже эти кратковременные изменения чрезвычайно опасны для водных экосистем, поскольку их сроки совпадают с периодами размножения отдельных видов водных организмов.

На второй стадии закисления водоема рН воды обычно не поднимается выше 5,5 в течение всего года. О таких водоемах обычно говорят как об умеренно кислых. На этом этапе закисления происходят значительные изменения в видовом составе живых организмов.

На третьем этапе закисления рН водоемов стабилизируется на значениях $pH < 5$ (обычно $pH 4,5$), даже если атмосферные осадки имеют более высокие значения рН. Это связано с присутствием гумусовых веществ и соединений алюминия в водоемах и почвенном слое. Гумусовые соединения в основном представлены в водоемах растворами слабых органических кислот. Связывая или выделяя ионы H^+ , эти кислоты стабилизируют значение рН в водоеме. Этому способствуют и соединения алюминия, практически всегда присутствующие в почве. При растворении или осаждении соединений алюминия также происходит связывание или выделение ионов водорода.

Изменение видового состава водных экологических систем при закислении водоемов во многом связано с увеличением содержания ионов Al^{3+} в растворе, который, переходя в нерастворимые соединения в организме рыб, является причиной их гибели.

1.2.3.3. Окислительно-восстановительные процессы в гидросфере

Окислительно-восстановительные реакции лежат в основе распространенных процессов обезвреживания и обеззараживания сточных вод, разнообразных превращений загрязняющих веществ в воде водных объектов.

В окислительно-восстановительных реакциях, сопровождающихся изменением степени окисления участвующих в них частиц (атомов, ионов), необходимо одновременное присутствие и окислителей, и восстановителей, которые обмениваются электронами.

Принципиальная возможность протекания окислительно-восстановительных реакций, а также их направленность могут быть определены

по величине окислительно-восстановительного потенциала (редокс-потенциал, от английского RedOx – Reduction/Oxidation). На практике для измерения окислительно-восстановительного потенциала в водных растворах используются милливольтметры (рН-метры, иономеры) с платиновым и водородным электродами, значение электродвижущей силы между которыми приравнивается к значению окислительно-восстановительного потенциала E и выражается уравнением Нернста

$$E = E_0 + \frac{0,0591}{n} \lg \frac{a_{ок}}{a_{вс}},$$

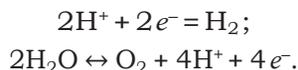
где E_0 – стандартный (нормальный) окислительно-восстановительный потенциал редокс-процесса при активностях участвующих компонентов, равных единице, и зависит от природы редокс-процесса и от температуры, В; n – число электронов, участвующих в реакции; $a_{ок}$, $a_{вс}$ – активности вещества в окисленной и неокисленной (восстановительной) формах соответственно.

Величины E_0 сведены в таблицы, и с их помощью можно решать вопрос о направлении и полноте протекания тех или иных редокс-процессов (Справочник химика, 2012).

К сильным окислителям относятся фтор, кислород, хлор и другие вещества, обладающие большими значениями окислительно-восстановительного потенциала E_0 . Вещества с промежуточной степенью окисления в зависимости от обстоятельств могут выступать и в роли окислителей, и в роли восстановителей.

Состояние окислительно-восстановительной редокс-системы может быть охарактеризовано значениями двух показателей – E и рН. Для характеристики окислительно-восстановительных процессов, протекающих в водной среде, используется диаграмма Пурбе. Она наглядно отображает термодинамически устойчивые формы существования элементов (ионов, молекул и др.) в растворах при различных значениях рН и окислительно-восстановительного потенциала E . Диаграмма в сжатой и наглядной форме показывает, какие химические частицы (ионы, молекулы) термодинамически устойчивы к окислению-восстановлению и кислотно-основным реакциям в зависимости от рН и E . Диаграмма Пурбе для воды приведена на рис. 1.28.

В редокс-системе, образованной химически чистой водой в определенных условиях, происходит восстановление молекул водорода и окисление молекул воды согласно уравнениям

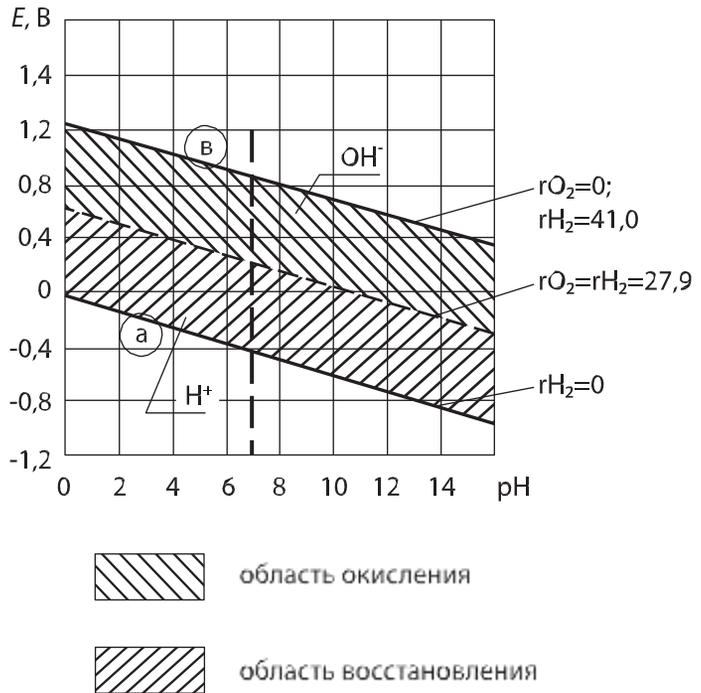


В результате вода насыщается молекулярным водородом или кислородом до тех пор, пока давление этих газов не достигнет равновесного. Степень насыщения воды кислородом или водородом оценивается соотношением фактического и равновесного (парциального) давлений.

Эти условия выражают также через показатель r_{H_2} , представляющий собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Так как окислительно-восстановительные условия в значитель-

Рисунок 1.28.

Диаграмма
стабильности воды



ной мере зависят от активной концентрации ионов водорода в среде, то связь между ними выражается уравнением: $rH_2 = E_0 / 0,029 + 2pH$ (при температуре 20 °С и атмосферном давлении 106 315 Па).

В среде, сильные окислительные свойства которой соответствуют условиям, создаваемым путем насыщения ее кислородом (при избыточном давлении 98,01 кПа), $rH_2 = 41$; при сильно восстановительных условиях, соответствующих насыщению среды молекулярным водородом (при таком же избыточном давлении), $rH_2 = 0$. При равновесии окислительно-восстановительных процессов в среде $rH_2 = 27,9$. Значения rH_2 ниже этой величины указывают на большую или меньшую восстановительную способность среды, а выше – на окислительную ее способность. Присутствие в среде свободного кислорода определяет преобладание окислительных процессов.

Область термодинамической устойчивости воды на диаграмме ограничена прямыми “а”, для которой $rH_2 = 0$ и “в” – для $rO_2 = 0$. Уравнение прямой “а”

$$E = -0,0591 pH - 0,02951gP_{H_2};$$

прямой “в” $E = 1,228 - 0,0591 pH + 0,01471gP_{O_2}.$

Линия, построенная для значений $rH_2 = rO_2$, делит диаграмму на две зоны: ниже расположена зона восстановления, выше – окисления.

В области, расположенной ниже линии “а”, происходит разложение воды с выделением водорода, а выше линии “в” – с выделением кислорода. Хотя рассмотренная диаграмма справедлива для химически чистой

воды, ее можно использовать для оценки состояния водных разбавленных растворов.

Окислительно-восстановительные реакции играют исключительно важную роль в описании процессов, протекающих в природных водах. Формирование качества природных вод в значительной степени определяется окислительно-восстановительными реакциями, их кинетическими характеристиками, которые, в свою очередь, зависят от величины окислительно-восстановительного потенциала воды природного водного объекта (редокс-потенциал, определенный для воды, будем обозначать E_h), находящегося в состоянии равновесия.

Для окислительно-восстановительных реакций, протекающих в природных водоемах, характерны две особенности:

1) большинство реакций катализируется ферментами микроорганизмов (например, окисление органического вещества молекулярным кислородом, восстановление Fe (III) в Fe (II) и т.д.);

2) процессы окисления идут с участием таких окислителей, как свободные радикалы, пероксид водорода, озон и др.

В природной воде значение E_h колеблется от -400 до $+700$ мВ, что определяется всей совокупностью происходящих в ней окислительных и восстановительных процессов.

В зависимости от значения E_h выделяют несколько основных условий, встречающихся в природных водах.

Окислительные – характеризуются значениями $E_h > +(100-150)$ мВ, присутствием в воде свободного кислорода, а также ряда элементов в высшей степени окисления (Fe^{3+} , Mo^{6+} , As^{5+} , V^{5+} , U^{6+} , Sr^{4+} , Cu^{2+} , Pb^{2+}). Ситуация, наиболее часто встречающаяся в поверхностных водах.

Переходные окислительно-восстановительные – характеризуются величинами E_h от 0 до $+100$ мВ, неустойчивым геохимическим режимом и переменным содержанием сероводорода и кислорода. В этих условиях возможно протекание процессов как окисления, так и восстановления металлов.

Восстановительные – характеризуются значениями $E_h < 0$. Типичны для подземных вод, где присутствуют металлы низких степеней окисления (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mo^{4+} , V^{4+} , U^{4+}), а также сероводород.

Определение редокс-потенциала позволяет прогнозировать формы, в которых возможно существование химических элементов с переменной валентностью в природных водах, а также оценить условия, при которых возможно перераспределение (растворение, осаждение, сорбция, биоаккумуляция и пр.) металлов между компонентами водных объектов. Часто (например, при обработке воды в бассейнах) ОВП является одним из основных параметров контроля качества воды, так как позволяет оценить эффективность процессов обеззараживания воды.

В природных водах, как правило, не достигается термодинамическое равновесие, а наблюдается динамическое окислительно-восстановительное равновесие, так как в них постоянно протекают окислительно-восстановительные реакции. При этом можно выделить две основные редокс-подсистемы, основанные на участии в окислительно-восстановительных процессах молекулярного кислорода (медленно устанавливаю-

щееся равновесие) и пероксида водорода (быстрореагирующая подсистема). Измеряемое значение E_h при этом определяется процессами, протекающими главным образом в “медленной” подсистеме.

Пероксид водорода (H_2O_2) присутствует в природных водах при аэробных условиях. Значительное количество H_2O_2 находится в атмосферных осадках. Пероксид водорода образуется в природных водах и в результате внутриводоемных процессов (превращение гидроксидного радикала под воздействием солнечного света – УФ-часть спектра; каталитические процессы окисления легкоокисляемых органических веществ; выделение в процессе фотосинтеза некоторыми видами водорослей и др.).

Следует отметить, что вещества, обладающие восстановительными свойствами, продуцируемые биотой, более эффективно окисляются пероксидом водорода, чем растворенным кислородом. При взаимодействии с кислородом они служат дополнительным источником H_2O_2 в водной среде.

Перенос электрона в редокс-процессе сопровождается переносом протона, обуславливая тем самым для реакций, протекающих в водном растворе, жесткую взаимосвязь между окислительно-восстановительным и кислотно-основным равновесием. Например, если ион Fe (II) отдает электрон, то выделяются три иона водорода, что приводит в конечном результате к образованию труднорастворимого гидроксида железа (III) и увеличению концентрации ионов водорода в растворе:



Протеканием этой реакции объясняется кислый характер шахтных вод и образование характерного осадка “ржавчины” в местах выхода на поверхность подземных вод, содержащих ионы двухвалентного железа.

Таким образом, окислительно-восстановительный потенциал взаимосвязан со значением рН. Величины рН и E_h относятся к важнейшим показателям свойств природных и сточных вод, они позволяют оценить окислительно-восстановительный режим воды в водных объектах, степень загрязнения ее продуктами распада органических соединений и сточными водами промышленных предприятий, состояние жидкой и твердой фаз на очистных сооружениях и т.д. Например, низкие значения E_h бытовых и производственных сточных вод свидетельствует о присутствии восстановителей (аммиака, нитритов, органических веществ и т.д.); высокие – окислителей, например хрома (VI), газообразного хлора или продуктов его взаимодействия с водой (табл. 1.20). Управляя E_h , можно направленно влиять на процессы, происходящие в природных водах и на сооружениях очистки сточных вод.

Величины рН и E_h влияют на различные физико-химические и биохимические процессы, лежащие в основе удаления из воды загрязняющих веществ. В связи с этим важно знать основные способы изменения величины рН и E_h водных растворов (рис. 1.29).

С другой стороны, величина окислительно-восстановительного потенциала реакций, протекающих с участием ионов водорода или гид-

Таблица 1.20. Значения pH и E_h некоторых видов сточных вод

Наименование	pH	E_h , В
Неочищенные бытовые сточные воды	7,2–7,6	-0,20...+0,01
Очищенные бытовые сточные воды	7,2–8,3	+0,015...-0,125
Сброженный осадок бытовых сточных вод	7,2–7,5	-0,20...+0,07
Сточные воды мясокомбинатов	7,3	+0,005
Промывочные хромсодержащие сточные воды гальванических цехов	3,2–7,8	+0,35...+0,80
Сточные воды кожевенных заводов	6,0–13,0	-0,1...-0,4
Сточные воды меховых фабрик	4,0–7,0	+0,01...+0,2

роксида, зависит от pH среды. Рассмотрим взаимосвязь между этими показателями.

В общем виде окислительно-восстановительный процесс можно представить следующим уравнением:



где $n\bar{e}$ – количество (n) электронов (\bar{e}), принимающих участие в данной окислительно-восстановительной реакции.

Константа равновесия этого процесса (K) может быть записана в виде

$$K = \frac{ПВ_{a_i}}{ПО_{a_i} \cdot (O_{\bar{e}})^n}, \quad (1.4)$$

где $ПВ_{a_i}$ и $ПО_{a_i}$ – произведения активности восстановленных и окисленных форм веществ соответственно; n – количество электронов, участвующих в процессе; $a_{\bar{e}}$ – активность электронов.

Под активностью электронов понимается способность системы поставлять электроны для окислительно-восстановительных процессов. Необходимо понимать, что раствор свободных электронов в воде, так же как и раствор свободных несольватированных протонов, – это не более чем абстракция, которую используют при описании кислотно-основных равновесий в природных водах. Так, например, активность ионов водо-



Рисунок 1.29.

Способы изменения величины pH и E_h водных растворов

рода может характеризовать кислотно-основные свойства воды. Поэтому воду шахтных выработок с большой величиной активности ионов водорода называют кислой. По аналогии: вода с высокой активностью свободных электронов называется восстановительной (например, сероводородные воды Черного моря, “мертвая” вода из народных сказок), а с низкой – окислительной (например, хлорированная или озонированная вода, “живая” вода).

Устойчивые водные системы, как будет показано ниже, могут характеризоваться величинами a_e , различающимися на 20 порядков, поэтому удобным путем выражения активности свободных электронов является шкала $p\bar{e}$. По аналогии с величиной pH величина $p\bar{e}$ определяется соотношением

$$p\bar{e} = -\lg(a_e). \quad (1.5)$$

Величина активности электронов и значение $p\bar{e}$ удобны для выражения окислительно-восстановительного потенциала системы. Связь между двумя этими выражениями окислительно-восстановительного потенциала системы можно представить в виде

$$p\bar{e} = F \square E_h / (2,3 \square R \square T), \quad (1.6)$$

где F – число Фарадея (96 485,3383 Кл/моль); R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль \square К)); T – температура, К.

При подстановке соответствующих величин получим

$$p\bar{e} = 10^4 \square E_h / (1,98 \square T). \quad (1.7)$$

Для стандартных условий это выражение примет следующий вид:

$$(p\bar{e})^\circ = 16,9 \square E_h^\circ, \quad (1.8)$$

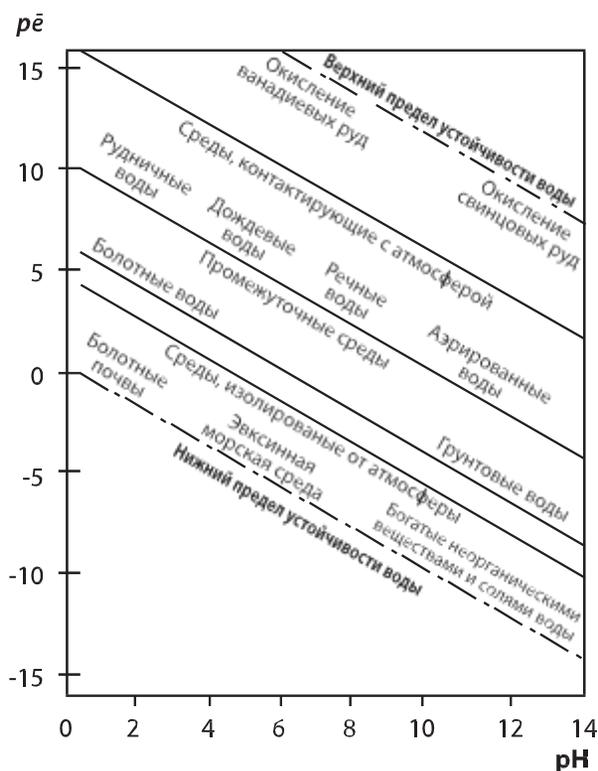
где E_h° – окислительно-восстановительный потенциал, измеренный в стандартных условиях относительно стандартного водородного электрода (стандартный электродный потенциал), В.

Необходимо отметить, что E_h° и $p\bar{e}$ являются вполне определенными величинами, когда оба члена данной редокс-пары присутствуют вместе в растворе или в контакте с ним. В то же время в реальных природных водах практически всегда содержится более одной редокс-пары. Каждая пара будет определять присущее ей значение $p\bar{e}$ (или E_h), однако для разных пар эти две величины могут оказаться неодинаковыми, поскольку для природных объектов характерно скорее отсутствие равновесия каждой из форм со всеми другими формами, чем его наличие. Если не все редокс-пары находятся в равновесии, нельзя говорить о $p\bar{e}$ (или E_h) раствора. Можно говорить лишь о значении $p\bar{e}$ (или E_h), определяемом отдельной парой в растворе.

Зная представленные зависимости, можно составить диаграммы $p\bar{e}$ – pH или диаграммы E_h – pH. Диаграммы эти идентичны, за исключением шкалы оси ординат, масштаб которой изменяется в соответствии с уравнением (1.8). При температуре 298 К $E_h = 0,0591 p\bar{e}$. Недостаток использования E_h в качестве переменной состоит в том, что наклоны границ различных полей устойчивости зависят от температуры, чего удается избежать в случае, когда переменной является $p\bar{e}$.

Рисунок 1.30.

Зависимость окислительно-восстановительного потенциала (для различных природных вод) и пределов устойчивости воды от рН



Диаграммы $p\bar{e} - \text{pH}$ (или $E_h - \text{pH}$) являются удобным способом изображения областей устойчивости окисленных и восстановленных форм определенных окислительно-восстановительных систем. Каждый отрезок прямой на диаграмме отвечает зависимости $p\bar{e}$ от pH для определенной реакции.

На рис. 1.30 представлены зависимости величины $p\bar{e}$ от pH для различных природных вод, имеющих наибольшее распространение.

В природных водах окислительно-восстановительные процессы протекают при участии бактерий. В каждой из окислительно-восстановительных реакций участвует свой тип бактерий, и реакции протекают в строгой последовательности. Быстрее протекают реакции, для которых в данных условиях окислительно-восстановительный потенциал имеет наибольшее значение. Поэтому при построении обобщающих $p\bar{e} - \text{pH}$ и $E_h - \text{pH}$ диаграмм рассматриваются все возможные для данной системы окислительно-восстановительные процессы, но на диаграмму в итоге наносятся лишь те, которые отвечают более высоким редокс-уровням.

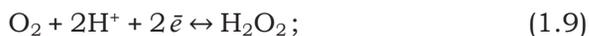
Редокс-буферность природных вод

Наряду с редокс-уровнем $p\bar{e}$ природные воды характеризуются понятием редокс-буферности (или редокс-емкости), аналогичным понятию кислотно-основной буферности. Говорят, что система является “забуференной” относительно редокс-процессов, если в ней присутствуют соеди-

нения, способные окисляться или восстанавливаться, что препятствует значительным изменениям $p\bar{e}$ при добавлении небольших количеств сильно окисляющих или восстанавливающих агентов.

Анализ зависимости величины окислительно-восстановительного потенциала от pH раствора и от парциального давления кислорода в равновесном воздухе показывает, что редокс-уровень системы слабо зависит от содержания кислорода в воздухе. Пока в системе есть свободный кислород, величина $p\bar{e}$ остается высокой. Поэтому в природных водах, контактирующих с атмосферным воздухом или с почвенным воздухом, содержащим кислород, значение $p\bar{e}$ практически всегда остается высоким. Природные воды обладают буферной редокс-емкостью, связанной с присутствием кислорода в равновесном с ними воздухе.

Однако необходимо отметить, что для природных вод, контактирующих с воздухом, содержащим кислород, не принято давать точной оценки величины $p\bar{e}$ системы даже при фиксированном значении pH. Это связано с тем, что полное восстановление кислорода по реакции, по существу, происходит не в виде одной ступени, а как две последовательные реакции:



Лимитирующей при этом является реакция (1.9). Значение $p\bar{e}$ этой реакции при pH 7 равно 4,5, в то время как $p\bar{e}$ реакции



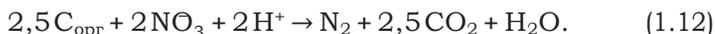
при pH 7 равно 13,8.

Некоторые природные редокс-системы ведут себя так, как будто величину $p\bar{e}$ определяет реакция (1.11), а другие – (1.9). Поэтому для вод, контактирующих с кислородом, лучше характеризовать значение $p\bar{e}$ термином “высокое” без точного числового значения.

Однако если контакт природных вод с воздухом, содержащим кислород, будет нарушен, достаточно быстро может резко измениться редокс-состояние воды. В случае отсутствия поступления кислорода при температуре 298 К в воде может быть окислено не более 7,9 мг/дм³ органических веществ, если их молекулярную формулу принять как {CH₂O}. При этом весь кислород будет израсходован.

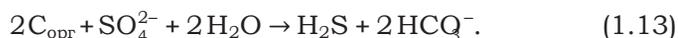
В случае, если восстановители, например органические соединения, продолжают поступать, в системе начинают происходить окислительно-восстановительные реакции без участия кислорода. При этом редокс-уровень системы снизится. Рассмотрим реакции, наиболее важные с точки зрения редокс-буферности и состояния вводимых экосистем в целом.

Денитрификация. Роль реакции состоит в превращении нитрата (важного компонента питания) в биологически инертный молекулярный азот. При этом бактерии используют для окисления органического вещества до CO₂ кислород нитратных ионов:



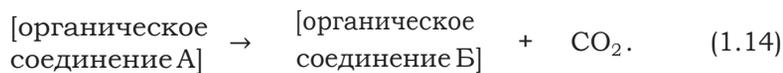
В процессе денитрификации помимо азота могут образоваться гемиксид, оксид и диоксид азота, которые играют важную роль в процессах, протекающих в тропосфере (оксид и диоксид азота) и стратосфере (гемиксид азота). В то же время, поскольку концентрация нитрат-ионов в природных водах достаточно низкая (исключение могут составлять лишь почвенные воды), эти ионы не оказывают влияния на редокс-буферность природных вод.

Восстановление сульфатов, или сульфат-редукция. Это реакции, в которых бактерии используют для окисления органического вещества кислород-сульфатных ионов, образуя в качестве продуктов жизнедеятельности сульфидные формы:



Если pH воды выше 7, образуется главным образом ион HS^- , а в присутствии любых способных к реакциям соединений железа сульфидные формы будут реагировать с ними, образуя осадки в виде сульфидов. Восстановление сульфатов оказывает существенное влияние на состояние экосистем водоемов. Для большинства компонентов флоры и фауны H_2S является высокотоксичным. Превращение оксидов железа в сульфиды обычно вызывает изменение цвета воды от красноватого или коричневатого до черного или серого. Вещества, сорбированные ранее на гидроксиде Fe (III) (например, ионы тяжелых металлов или фосфат-ионы), будут выделяться в раствор. При этом многие тяжелые металлы (например, Cu, Zn, Mo, Pb, Hg), которые в окисленных водах были представлены относительно растворимыми соединениями (при не очень высоких pH), образуют малорастворимые сульфиды. Поскольку сульфат-ионы относятся к главным ионам природных вод, имеют широкое распространение и содержатся в природных водах во многих случаях в достаточно больших концентрациях, они способны на некоторое время стабилизировать редокс-уровень системы, несмотря на возможное поступление восстановителей. При этом $p\bar{e}$ системы будет отрицательным, поскольку при pH 7 для реакции (1.13) $p\bar{e}$ равно минус 4,5.

Ферментация. Протекающий при участии микроорганизмов процесс разрушения органических веществ приводит к появлению новых, более простых органических соединений. Брутто-уравнение бактериальной ферментации выглядит следующим образом:



Самой простой и одной из наиболее важных реакций этого типа является образование метана:



Процессы ферментации протекают при значениях $p\bar{e} < -4,5$ вплоть до границы устойчивости воды.

На рис. 1.31 представлена зависимость изменения редокс-уровня системы в зависимости от количества поступающих в нее восстановителей ($C_{\text{орг}}$), которая наглядно демонстрирует уровни, отвечающие “забуферным” состояниям, характерным для большинства природных

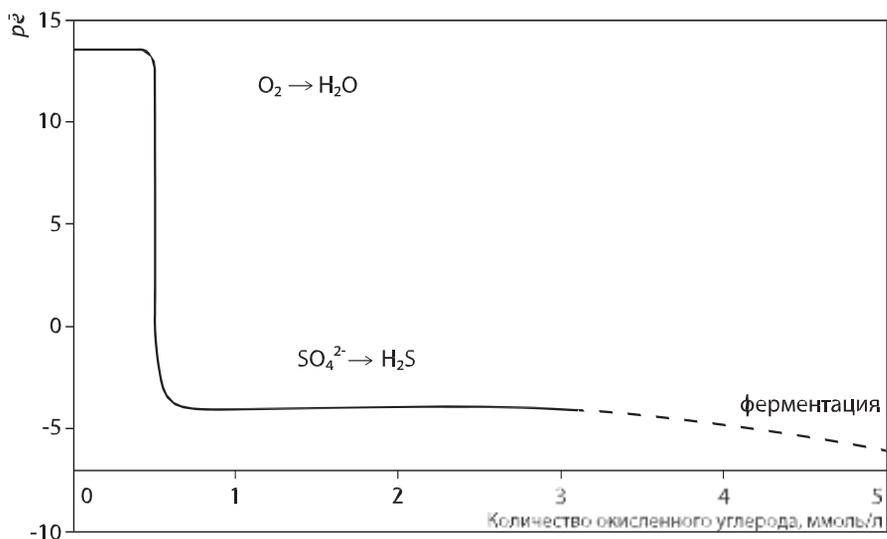


Рисунок 1.31.

Изменение $p\bar{e}$ пресной воды (исходные значения концентрации кислорода 10 мг/дм³, сульфат-ионов – 96 мг/дм³) в зависимости от концентрации разложившегося органического вещества (в пересчете на углерод) при pH 7

вод. Предполагается, что вода первоначально находилась в равновесии с атмосферным кислородом, но дополнительное поступление кислорода в процессе разложения органического вещества отсутствовало. Кроме того, реакции, включающие соединения азота, создают лишь небольшую буферность между уровнями O_2/H_2O и SO_4^{2-}/H_2S .

Обычно значения $p\bar{e}$ в природных водах в основном соответствуют “забуферным” состояниям, так как незабуференные состояния неустойчивы. Единственным местом, где можно ожидать сохранения “незабуференного” $p\bar{e}$, является область, в которой $p\bar{e}$ контролируется диффузией между анаэробной водой (например, поровой водой осадков) и аэробной (например, не насыщенной кислородом водой озера или океана).

В подземных водах, находящихся в контакте с осадками, редокс-реакции с участием твердой фазы могут также “забуферивать” $p\bar{e}$.

Хотя восстанавливающим агентом в природных водах обычно является органическое вещество, снижение $p\bar{e}$ может быть вызвано также окислением минералов, содержащих Fe (II) или восстановленные формы серы. Например, из воды некоторых источников, выходящих из ультраосновных пород (состоящих главным образом из силикатов магния и железа), выделяются пузырьки водорода, что является результатом восстановления воды минералами закисного железа.

Окислительно-восстановительные условия и миграция элементов

Некоторые рудные месторождения, особенно инфильтрационные месторождения урана с перемещающимся фронтом, являются следствием редокс-реакций в подземных водах. Интенсивность миграции эле-

ментов принято характеризовать коэффициентом водной миграции K_x , равным частному от деления количества элемента x в минеральном остатке природной воды на его содержание в горных породах, дренируемых этой водой:

$$K_x = m_x \cdot \frac{100}{a \cdot n_x},$$

где m_x – содержание элемента x в воде, мг/дм³; n_x – содержание элемента x в породах, %; a – минерализация воды, мг/дм³.

Чем больше величина K_x , тем больше миграционная способность данных элементов.

Очень подвижные активные мигранты имеют значение K_x свыше 20, подвижные – от 20 до 1. Коэффициент водной миграции таких слабоподвижных мигрантов, как железо, титан и алюминий, не превышает 0,1. Изменение интенсивности миграции в одних и тех же условиях среды в зависимости от формы, в которой элемент содержится в породе, характеризуется коэффициентом контрастности миграции. Например, в различных обстановках миграция ионов цинка в сульфидной форме и в форме оксида имеет коэффициент контрастности миграции около 100.

Одними из наиболее важных характеристик, существенным образом влияющих на миграцию элементов в ландшафтах, являются кислотно-основные и окислительно-восстановительные характеристики среды. Однако следует иметь в виду, что живые организмы способны в значительной степени трансформировать процесс миграции.

Геохимический барьер – это участок зоны гипергенеза, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции, что приводит к концентрированию химических элементов.

Физико-химические барьеры возникают при резких изменениях величины рН или соотношения рН/ E_h . Например, если кислородсодержащая вода начинает двигаться по водному горизонту, в котором первоначально существовали восстановительные условия, то между окислительной и восстановительной средами может образоваться редокс-фронт. Этот фронт будет перемещаться в направлении движения воды, но со значительно меньшей скоростью, чем вода. Скорость движения фронта определяется способностью водоносного горизонта (особенно содержащегося в нем органического вещества) потреблять кислород. Если типичный водоносный горизонт в осадочных породах содержал 1% реакционноспособного органического углерода, а подземная вода – 10 мг/дм³ растворенного кислорода, то, согласно расчету, фронт должен мигрировать в 13 000 раз медленнее, чем вода. Ряд элементов (особенно уран, селен, мышьяк, молибден) нерастворимы в восстановительных условиях и растворимы в окислительных. При продвижении фронта окисления эти элементы, присутствующие в водоносном горизонте, растворяются. Движущиеся подземные воды переносят их через фронт в восстановительную зону, где они сразу же осаждаются. Таким образом, элемент, содержащийся во всем водоносном горизонте до прохождения фронта или перенесенный из других областей системы подземных вод, концентрируется в непосредственной близости к фронту, что создает возможность экономически выгодной его добычи.

1.2.3.4. Свободные радикалы в природных водах

Свободные радикалы – химические частицы (молекулы или атомы), содержащие один или несколько неспаренных электронов на внешней электронной оболочке. Они обладают парамагнетизмом и высокой реакционной способностью.

Свободные радикалы могут быть короткоживущими (время жизни доли секунды) или долгоживущими (до нескольких лет), нейтральными или заряженными, иметь один или большее число неспаренных электронов (например, бирадикалы), быть твердыми, жидкими или газообразными веществами. Стабильность свободных радикалов определяется скоростями их рекомбинации или диспропорционирования.

Зарождение радикальной цепи можно инициировать действием на вещество жестких условий (высокие температуры, электромагнитное и ионизирующее излучение и др.).

Неспаренный электрон в радикалах принято обозначать точкой. Например, гидроксидный радикал обозначают как HO^\bullet , радикал пероксида водорода как HO_2^\bullet (HO_2^\bullet), супероксидный ион-радикал – $\text{O}_2^{\bullet-}$. Формулы радикалов этилового спирта: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^\bullet$; $\text{CH}_3^\bullet\text{CHOH}$.

Свободные радикалы играют важную роль в физико-химических превращениях веществ в природных водах, лежащих в основе процессов самоочищения водной среды. Рассмотрим пути образования, свойства и превращения свободных радикалов в природных водах.

Происхождение первичных свободных радикалов

Известно несколько путей появления свободных радикалов в природных водах:

- 1) каталитическое инициирование;
- 2) растворение газов из атмосферы;
- 3) радиационно-химическое инициирование;
- 4) биологическая эмиссия;
- 5) кавитационные эффекты;
- 6) фотохимическое инициирование.

Как правило, в природных водах каталитическое инициирование свободных радикалов связано с одноэлектронным восстановлением кислорода и пероксида водорода. В природных водах инициаторами реакций образования радикалов служат ионы меди, хелатные комплексы железа (II), которые образуются в природных водах в результате восстановления гидроксида железа (III). Восстановительная среда создается в том случае, если в воде присутствуют вещества-восстановители (например, сероводород, ионы металлов в низкой степени окисления).

Абсорбция водой активных газов из атмосферы приводит к появлению в природных водах радикалов HO^\bullet , HO_2^\bullet , CH_3^\bullet и др. Чем более реакционноспособны радикалы, тем меньше глубина проникновения их в толщу воды. Так, радикалы HO^\bullet , HO_2^\bullet будут реагировать лишь в поверхностном слое. По имеющимся оценкам, поток радикальных частиц из атмосферы крайне незначителен. Гораздо более важную роль играет растворение озона. В воде озон быстро переходит в O_2 , причем процесс этот протекает через промежуточное образование свободных радика-

лов HO^\bullet , O_2^\bullet по цепному механизму. Скорость образования радикалов при растворении озона будет определяться скоростью его поступления в водную среду. Эта скорость тем выше, чем выше содержание O_3 в атмосфере, которое может варьироваться в широких пределах.

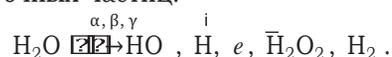
Из других газов в иницировании радикалов может принять участие NO_2 , способный отнимать электрон от доноров, в частности от H_2O_2 .

В обычных условиях (без принудительного увеличения потока O_3 , NO_2 в водную среду) скорость иницирования радикалов за счет растворения активных газов относительно мала.

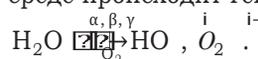
Радиационное иницирование в отсутствие радиационного загрязнения водной среды осуществляется под действием естественного радиоактивного фона (космических лучей, достигающих поверхности Земли, а также при распаде природных радиоактивных изотопов, в частности ^{40}K).

Скорость образования радикалов под действием естественных факторов очень мала. В то же время при радиационном загрязнении скорость иницирования свободных радикалов резко возрастает.

Воздействие радиоактивного излучения направлено в первую очередь на воду и приводит к образованию целого набора активных и стабильных промежуточных частиц:



В аэробных условиях частицы H , e взаимодействуют с O_2 с образованием радикалов HO_2^\bullet , O_2^\bullet . Фактически при радиолитическом окислении воды в нейтральной среде происходит генерация HO^\bullet и O_2^\bullet :



Скорость иницирования радикалов определяется поглощенной дозой и радиационным выходом: числом частиц на 100 эВ поглощенной энергии. Радиационный выход для HO^\bullet и O_2^\bullet радикалов равен 3.

Биологическая эмиссия свободных радикалов – малоизученное явление. Известны примеры образования радикала O_2^\bullet некоторыми видами организмов (макрофагами). Почвенные грибы выделяют одновременно H_2O_2 и катализатор, при взаимодействии с которым в среде образуются радикалы HO^\bullet . Такие грибы участвуют в разрушении лигнина, ДДТ и пр. Некоторые почвенные бактерии (нитрозомонасы) выделяют радикал NO^\bullet в ходе окисления NH_3 .

В природной водной среде образование радикалов за счет биологических процессов происходит опосредованно через процессы образования и разрушения пероксида водорода. Наряду с разложением H_2O_2 внутриводоемный круговорот пероксида водорода включает реакции окисления органических субстратов, а также абиотические каталитические и фотохимические процессы, сопровождающиеся образованием реакционноспособных частиц.

Абиотические процессы каталитического разложения пероксида водорода с образованием свободных радикалов в природных водах протекают крайне медленно. При этом распадается 10–50% пероксида водорода.

Установлено, что водоросли стимулируют радикальные процессы в природной водной среде. Они в процессе своей жизнедеятельности образуют вещества восстановительной природы, не только те, которые участвуют во внутриклеточных окислительно-восстановительных процессах, но и такие, которые выделяются во внешнюю среду, инициируя внеклеточные процессы радикального окисления растворенных в воде веществ. Это процесс косвенного биогенного инициирования свободных радикалов.

В природных водах водоросли продуцируют во внешнюю среду вещества-восстановители (DH_2), которые в присутствии H_2O_2 способствуют образованию свободных гидроксидных радикалов, взаимодействуя с ионами меди (катализаторы редокс-процессов).

Общая схема биогенного инициирования радикальных процессов самоочищения может быть представлена в виде



В этой схеме не учитывается, что продуцируемый биотой восстановитель DH_2 может участвовать в других процессах окисления, в частности окисляться кислородом. Не учитывается также, что пероксид водорода может взаимодействовать с другими компонентами среды, а также разрушаться по каталазному механизму.

В качестве катализаторов могут участвовать ионы металлов переменной валентности. Если в воде постоянно присутствует H_2O_2 (см. раздел 1.2.3.3), то скорость инициирования радикалов будет определяться скоростью выделения DH_2 во внешнюю среду. Восстановители могут образовываться и в качестве промежуточных продуктов трансформации веществ, которые сами восстановительными свойствами не обладают. Например, трансформация винной кислоты сопровождается образованием дигидроксифумаровой кислоты, которая обладает ярко выраженными восстановительными свойствами.

Кавитационные эффекты. В толще природных вод присутствуют своего рода “облака” из микропузырьков газовой фазы размером 1–10 мкм, поверхность которых покрыта тончайшей пленкой поверхностно-активных веществ.

В обычных условиях доля свободного газа в природных водах по сравнению с растворенным газом составляет всего 10^{-9} . Однако при изменении условий (температура, скорость движения, физические воздействия) эта доля может достигать 10^{-2} . При этом поверхность раздела газ–вода в водной среде за счет пузырьков газа может увеличиваться на много порядков. Вследствие большой скорости движения газовых пузырьков осуществляется интенсивный обмен газов между водной и газовой фазами.

Процессы “схлопывания” пузырьков (кавитации) характеризуются высокими энергетическими характеристиками (из-за большой поверхностной свободной энергии):



В момент “схлопывания” возникают большие импульсные давления, электрические разряды, происходят ионизации частиц и разрыв химических связей. Кратковременные перепады давления достигают десятков МПа, возникают большие градиенты электрического поля.

Наличием в природных водах электрически заряженных микропузырьков газа объясняются необычные свойства так называемой омагниченной воды. Дело в том, что движение природной воды, насыщенной микропузырьками, в электромагнитном поле приводит к интенсификации процессов “схлопывания” и разрыва пузырьков, сопровождающихся образованием свободных радикалов и других активных частиц. Наибольшие нарушения физико-химических свойств водных систем происходят в условиях турбулентного режима течения и наличия неоднородного магнитного поля. Динамичный, нестационарный характер природной воды приводит к непрерывной генерации электрических и магнитных полей, постоянному перераспределению объемных зарядов масс воды.

Образование свободных радикалов HO^{\bullet} в результате кавитационных эффектов было доказано при изучении причин свечения водной среды озера Байкал. С помощью чувствительных фотоумножителей было обнаружено свечение с максимумом на глубине 50–75 м. “Носителями” свечения оказались микропузырьки газа. При их схлопывании образуются радикалы HO^{\bullet} . Взаимодействие HO^{\bullet} с растворенными в воде органическими веществами приводит к образованию вторичных радикалов, часть из которых рекомбинирует с выделением кванта света.

Кавитационные эффекты и их роль в радикальном окислении различных загрязняющих веществ наиболее существенны в океанических и морских водах, для глубоководных пресных водоемов.

В природных водах наиболее широко представлены реакции **фотохимического инициирования** свободных радикалов под действием солнечного УФ-излучения.

Образование радикалов при этом происходит по нескольким механизмам.

1. **Гомогенное расщепление связи** является эффективным каналом инициирования радикалов, если квантовый выход при действии солнечного излучения превышает 0,1. Это реакции типа:

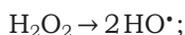
– отщепление молекул галогена в галогенированных углеводородах



– разрыв связи в нитроксильных соединениях



– разрыв связи в пероксидных соединениях



Особая роль в радикальных процессах окисления в водных средах принадлежит радикалам $O_2^{\bullet-}$, HO^{\bullet} .

Свойства радикалов $O_2^{\bullet-}$, HO^{\bullet}

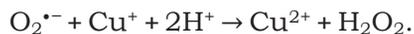
Радикал $O_2^{\bullet-}$, обладает двойственной реакционной способностью, т.е. как окислительными, так и восстановительными свойствами.

Наиболее характерные реакции $O_2^{\bullet-}$:

- 1) взаимодействие с ионами металлов переменной валентности;
- 2) как акцептора атома Н в реакциях с донорами водорода;
- 3) как донора электрона в реакциях с окислителями;
- 4) дисмутация (диспропорционирование);
- 5) образование гидроксидного радикала HO^{\bullet} .

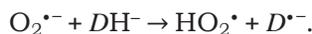
Совокупность процессов образования и гибели $O_2^{\bullet-}$ приводит к стационарной концентрации этого радикала в природных водах на уровне 10^{-8} – 10^{-9} моль/дм³.

Наиболее эффективно радикалы $O_2^{\bullet-}$ взаимодействуют в нейтральных водных растворах с ионами меди:



Константы скорости этих реакций близки к диффузионным. Фактически в этих реакциях ионы меди являются катализаторами диспропорционирования пероксидных радикалов.

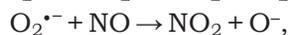
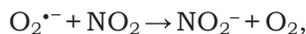
Как акцептор Н этот радикал эффективно взаимодействует с такими донорами, как соли аскорбиновой кислоты, гидрохинон, фенолы, некоторые амины:



В реакциях с окислителями А радикал $O_2^{\bullet-}$ участвует как донор электрона:



Наиболее характерны реакции с оксидами азота:



Наряду с последней реакцией к образованию HO^{\bullet} -радикалов приводит взаимодействие $O_2^{\bullet-}$ с H_2O_2 :



Константа скорости этой реакции невелика, однако она может катализироваться ионами металлов, в частности ионами меди.

Одна из основных реакций супероксидных ион-радикалов – их дисмутация:



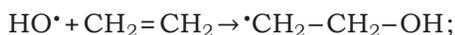
Эта реакция в отсутствие катализаторов вообще не идет. Эффективная константа скорости дисмутации $O_2^{\bullet-}$ зависит от рН среды. В биологических системах дисмутация радикалов $O_2^{\bullet-}$ катализируется ферментом супероксиддисмутазой.

Радикалы HO^\bullet – наиболее реакционноспособные окислители в природной водной среде. Время жизни радикала HO^\bullet в природных водах определяется участием его в реакциях с растворенными органическими и неорганическими веществами:

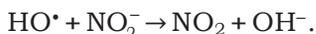
– отрыв H от органических соединений



– присоединение по кратной связи



– перенос электрона



В результате совокупности процессов образования и гибели радикалов HO^\bullet стационарная концентрация их в природных водах изменяется в пределах 10^{-15} – 10^{-17} моль/дм³.

В общем случае HO^\bullet взаимодействует со всеми растворенными в воде органическими и неорганическими веществами. При этом в среде образуются вторичные свободные радикалы, часть из которых может приводить к регенерации HO^\bullet за счет последующих превращений с участием ионов металлов (меди), O_3 , H_2O_2 и т.д.

Образование и свойства органических свободных радикалов

Органические свободные радикалы образуются в окружающей природной среде в основном в результате вторичных процессов. Органические свободные радикалы обладают широким спектром свойств и реакционной способностью, поэтому рассматривать их целесообразно в общем виде с иллюстрацией тех или иных особенностей на конкретных примерах.

Неспаренный электрон в органических свободных радикалах может быть локализован на атомах C, N, O либо делокализован по системе сопряженных связей. Чем в большей степени он делокализован по молекулярным орбиталям, тем менее реакционноспособен соответствующий радикал.

По реакционной способности органические радикалы можно подразделить на радикалы-окислители R_o^\bullet , восстановители R_r^\bullet , в том числе доноры электрона D^- , и на радикалы, обладающие и окислительными, и восстановительными свойствами, т.е. $R_{o/r}$. Такое разделение носит качественный характер, так как окислительные или восстановительные свойства той или иной частицы определяются природой партнера по реакции.

Перечислим наиболее характерные реакции органических свободных радикалов.

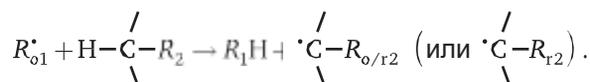
1. Рекомбинация и диспропорционирование:



В зависимости от природы R^\bullet константы скорости рекомбинации различаются на много порядков. Наибольшими константами скорости

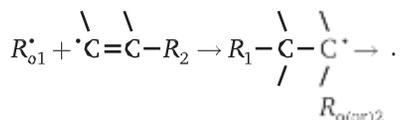
рекомбинации характеризуются алкильные радикалы R^\bullet , затем алкоксильные RO^\bullet и гидропероксидные RO_2^\bullet .

2. Отрыв атома Н радикалами-окислителями от других органических молекул с образованием, как правило, менее реакционноспособных радикалов:



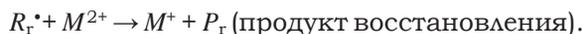
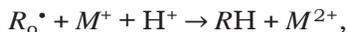
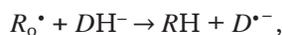
Последовательность такого рода реакций приводит к постепенному снижению реакционной способности вторичных радикалов вплоть до образования стабилизированных радикалов или их рекомбинации.

3. Присоединение по кратной связи:



Реакции такого типа наиболее распространены в процессах полимеризации виниловых мономеров.

4. Перенос протона:



Реакции такого типа наиболее характерны при наличии в водной среде ионов металлов переменной валентности, доноров электрона (атома Н) и окислителей (O_2 , H_2O_2).

5. Мономолекулярные превращения: изомеризация (Н-сдвиг); фрагментация (разрыв связи); внутримолекулярное перераспределение электронной плотности (как правило, делокализация электрона). В общем виде все эти превращения можно представить как переход более реакционноспособного состояния в менее реакционноспособное:



К этому же типу реакций относятся раскрытие или замыкание кольца, цис-транс-изомеризация, реакции декарбоксилирования радикалов и др.

В аэробной среде алкильные радикалы взаимодействуют с O_2 с образованием алкилпероксидных радикалов. Радикалы-окислители с локализацией неспаренного электрона на атомах N, O в результате дальнейших превращений образуют либо стабилизированные, либо алкильные радикалы, т.е. в конечном счете превращения вторичных органических свободных радикалов приводят к образованию либо стабилизированных радикалов, либо алкилпероксидных радикалов RO_2^\bullet .

Изучение процессов, протекающих в природных водах с участием свободных радикалов, позволило понять механизм некоторых процессов очистки сточных вод. Так, например, установлено, что распространение

интенсивных ультразвуковых волн в сточной воде вызывает явление кавитации, которая значительно повышает степень разложения молекул окислителя, стимулируя образование свободных радикалов. Кроме того, вследствие возникновения микротурбулентности, сопровождающей ультразвуковое излучение, ускоряется переход озона из газовой фазы в растворенное состояние.

При совместном озонировании и ультрафиолетовом облучении воды ускоряется образование радикалов HO^\bullet . При этом значительно возрастает скорость окисления спиртов, хлорпроизводных и других органических соединений. При дезинфекции сильнозагрязненных сточных вод совместное применение озонирования и ультрафиолетового облучения позволяет добиться эффективности, в 1000 раз превышающей эффективность применения одного озонирования.

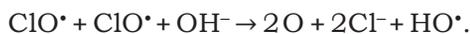
Одной из альтернатив хлорированию в технологической схеме очистки сточных вод является применение ультрафиолетовых лучей, так как не приводит к образованию вредных для здоровья химических соединений, вода после дезинфекции не оказывает токсичного влияния на водные организмы. При этом наряду с бактерицидным эффектом наблюдается эффект окислительного воздействия. Механизм такого воздействия заключается в образовании свободных радикалов и пероксида водорода при фотолизе. Распад пероксида водорода в сточной воде сопровождается образованием вторичных свободных радикалов, вовлечением кислорода и растворенных в воде ионов металлов в процессы окисления загрязняющих веществ.

Изучение механизма хлорирования воды, показало, что при участии катализаторов – металлов с переменной валентностью – происходит образование промежуточного активированного комплекса, который обеспечивает перераспределение энергии химических связей в молекулах хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона, одновременно присутствующих в воде:



где К – катализатор.

После распада комплекса и выхода из него катализатора взамен исходных форм активного хлора (HOCl , ClO^-) появляются реакционно-активные радикалы, которые участвуют в реакции образования наиболее сильного окислителя, атомарного кислорода и гидроксидного радикала. Реакция проходит в щелочной среде:



При взаимодействии гидроксидного радикала HO^\bullet с окисляемым веществом образуются нетоксичные продукты.

Механизм окисления загрязняющих веществ кислородом воздуха включает несколько последовательных ступеней с образованием химически активных кислородсодержащих радикалов. Рассмотрим в качестве примера окисление двухвалентного железа в трехвалентное.

Суммарное уравнение реакции имеет вид



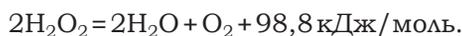
Но процесс окисления происходит поэтапно следующим образом:

- 1) $\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{O}_2^{\bullet-}$;
- 2) $\text{O}_2^{\bullet-} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{HO}_2^{\bullet}$;
- 3) $\text{Fe}^{2+} + \text{HO}_2^{\bullet} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}_2^-$;
- 4) $\text{HO}_2^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}_2$;
- 5) $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{HO}^{\bullet}$;
- 6) $\text{Fe}^{2+} + \text{HO}^{\bullet} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^-$;
- 7) $2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{OH}^-$.

Таким образом, процесс окисления двухвалентного железа молекулярным кислородом включает образование дополнительных окислителей (свободных радикалов HO_2^{\bullet} и HO^{\bullet} , а также пероксида водорода).

Одним из наиболее эффективных окислителей является пероксид водорода. Сегодня до 25% производимого в мире пероксида водорода расходуется на обработку воды.

При разложении пероксида водорода образуется кислород и выделяется тепло:



В условиях химической или физической активации разложение пероксида водорода сопровождается образованием свободных радикалов HO^{\bullet} и O^{\bullet} , обладающих высокой реакционной способностью. В роли катализаторов выступают металлы с переменной валентностью: марганец, медь, железо, кобальт.

Свободные радикалы способны трансформировать многие устойчивые соединения.

Сочетание пероксида водорода с фотолизом позволяет разложить гуминовые кислоты до диоксида углерода и воды, достичь глубокой деструкции синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), нефтепродуктов, пестицидов и ряда других загрязняющих веществ техногенного происхождения. При использовании пероксида водорода в качестве окислителя в очищенной воде не образуются токсичные продукты окисления.

Генерация свободных радикалов может осуществляться и при радиационном облучении (радиолизе) воды. В результате радиолиза вода насыщается такими свободными радикалами, как HO_2^{\bullet} , $\text{O}_2^{\bullet-}$. С помощью радиолиза можно создать оптимальную редокс-систему. В качестве источников радиации применяют Co^{60} и Cs^{137} . Радиационная обработка применяется для окисления фенолов, цианидов, некоторых СПАВ.

1.2.3.5. Тяжелые металлы в природных водах

Элементы, которые относят к металлам, входят в состав горных пород, почв, природных вод. Содержание их не превышает 0,14% общей массы земной коры. Металлы хотя и присутствуют в живых организмах в ничтожно малом количестве, но играют весьма важную роль, входя в состав биологически активных веществ, регулирующих нормальную жизнедеятельность организма. Но в то же время все без исключения металлы могут оказывать отрицательное воздействие на организмы, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы.

Термин “тяжелые металлы” (ТМ), характеризующий большую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение. В качестве критериев принадлежности элементов к тяжелым металлам используются разные характеристики: атомная масса; плотность; токсичность; распространенность в природной среде; степень вовлеченности в природные и техногенные циклы.

На сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 элементов периодической системы с атомной массой свыше 50: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. Практически все они (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна) активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов, витаминов и других биологически активных веществ. Они катализируют процессы синтеза органических соединений и необходимы организмам в небольших количествах (как микроэлементы). Поэтому один и тот же элемент, в зависимости от того, в каком контексте он упоминается, может характеризоваться как “тяжелый металл” или “микроэлемент”.

Известно, что токсичность ТМ возрастает с увеличением атомной массы, зависит от способности к диссоциации их комплексов с липидами, растворимости соединений в воде и липидах, ряда других физико-химических свойств. Помимо высокой токсичности, некоторые из них обладают эффектом отдаленных последствий. Это в первую очередь свинец, ртуть, кадмий, никель, кобальт, цинк, таллий, селен, бериллий и другие металлы, большинство из которых относятся к 1-му и 2-му классам опасности. Среди загрязняющих веществ по токсикологическим оценкам “стресс-индексов” тяжелые металлы занимают второе место, уступая только пестицидам. Подобно стойким органическим загрязнителям они способны накапливаться (аккумулироваться) в тканях живых организмов высших трофических уровней (включая человека) в концентрациях, которые могут вызвать их гибель.

В результате накопления во внешней среде тяжелые металлы представляют серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсичных свойств (табл. 1.21). Один из наиболее широко известных “рядов опасности” ионов металлов для биосферы следующий: Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn.

Причиной накопления в биосфере элементов, которые относят к тяжелым металлам, является все возрастающее их потребление. Считается, что если добыча элемента опережает его естественный перенос в геохимическом цикле в 10 раз, то его уже следует рассматривать как загрязняющее вещество. Этот показатель многократно превышен по отдельным ТМ.

Поступление тяжелых металлов в природные воды происходит вследствие:

- сброса производственных сточных вод гальванических цехов, предприятий горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов;
- фильтрации в подземные горизонты вод с повышенным содержанием тяжелых металлов, используемых для орошения земель;

Таблица 1.21. Биохимические свойства тяжелых металлов

Свойство	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Биохимическая активность	В	В	В	В	В	В	В
Токсичность	В	У	У	В	У	В	У
Канцерогенность	–	В	–	–	В	–	–
Обогащение аэрозолей	В	Н	В	В	Н	В	В
Минеральная форма распространения	В	В	Н	В	Н	В	Н
Органическая форма распространения	В	В	В	В	В	В	В
Подвижность	В	Н	У	В	Н	В	У
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	В	В	В	У
Эффективность накопления	В	У	В	В	У	В	В
Комплексообразующая способность	У	Н	В	У	Н	Н	В
Склонность к гидролизу	У	Н	В	У	У	У	В
Растворимость соединений	В	Н	В	В	Н	В	В
Время жизни	В	В	В	Н	В	Н	В

Примечание: В – высокая, У – умеренная, Н – низкая.

- миграции в подземные воды из осадков очистных сооружений канализации, вносимых в почвы в качестве удобрения;
- выщелачивания из отвалов рудников или металлургических предприятий;
- поступления с дождевыми сточными водами с сельскохозяйственных угодий, на которых применялись в высоких дозах органические и минеральные удобрения, пестициды, содержащие тяжелые металлы;
- закисления природных вод в результате выпадения кислотных осадков и, как следствие, перехода ТМ из связанного (нерастворимого) состояния в раствор.

Вода является основной средой миграции тяжелых металлов. Для миграционных процессов в природных водах особое значение имеют такие факторы, как формы существования ТМ, окислительно-восстановительный потенциал, кислотно-основные условия (рН) и ряд других. В отличие от органических соединений, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами водных экосистем. В природных водах они существуют в разных формах и различных степенях окисления и входят в состав органических и неорганических соединений, которые могут быть истинно растворенными, коллоидно-дисперсными или входить в состав грубодисперсных примесей.

При оценке способности экосистемы сопротивляться внешнему токсичному воздействию, связанному с поступлением загрязняющих веществ, принято говорить о буферной емкости экосистемы. Так, под буферной емкостью пресноводных экосистем по отношению к тяжелым металлам понимают такое количество металла, поступление которого существенно не нарушает естественного характера функционирования экосистемы. Буферная емкость зависит от наличия условий, способствующих связыванию (переходу) ТМ в менее активные и малоподвижные

формы, а также от аккумулирующей способности гидробионтов и от скорости процессов поглощения ионов металлов всеми компонентами экосистемы.

Различные поверхностные воды по-разному связывают ионы металлов, проявляя при этом различную буферную емкость. Воды южных рек и водоемов, имеющих большой набор природных компонентов (гумусовые вещества, гуминовые кислоты и фульвокислоты) в высокой концентрации, способны к более эффективной природной детоксикации по сравнению с водами водоемов Севера и умеренной полосы.

Попав в водоем или реку, ТМ распределяются между компонентами этой водной экосистемы на следующие составляющие:

- 1) металл в растворенной форме;
- 2) сорбированный и аккумулированный фитопланктоном, т.е. растительными микроорганизмами;
- 3) удерживаемый донными отложениями в результате седиментации взвешенных органических и минеральных частиц из водной среды;
- 4) адсорбированный на поверхности донных отложений непосредственно из водной среды в растворимой форме;
- 5) находящийся в адсорбированной форме на частицах взвеси.

Уравнение баланса водного объекта по металлу M_0 может быть представлено в виде

$$M_0 = \{M^{n+}\} + \sum ML + [MX],$$

где $\sum ML$ – совокупность комплексных форм металла в водной среде; $[MX]$ – труднорастворимая или нерастворимая форма металла; $\{M^{n+}\}$ – металл в ионной форме.

Растворимые формы ТМ могут встречаться в виде свободных и гидратированных ионов, неорганических и органических комплексов и хелатов, комплексов с высокомолекулярными соединениями – гуминовыми и фульвовыми кислотами (гумусовыми веществами), полисахаридами и др. Содержание растворенных форм металлов зависит от солевого состава, рН, наличия условий для протекания реакций гидролиза и комплексообразования.

Комплексообразующая способность зависит как от природы и концентрации присутствующих в воде лигандов, так и от рН водной среды. В природных поверхностных водах содержится множество органических веществ, около 80% которых составляют гумусовые вещества, поступающие в воду из почвы. Вследствие наличия в составе фульвокислот фенольных гидроксидных и карбоксильных групп эти вещества образуют с ионами металлов прочные хелатные комплексы и уменьшают тем самым токсичность вод. Имеются сведения, что различные гуминовые кислоты могут в течение нескольких дней полностью затормозить окисление железа (II).

В придонных водных массах, где концентрация растворенного кислорода в значительной степени понижена, функцию окислителя органических соединений и перевода низших окисленных степеней металла в высшие вместо кислорода могут выполнять соединения азота и серы в высшей степени окисления (нитраты и сульфаты), что вызывает понижение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) водной системы,

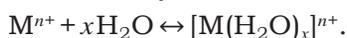
и сразу же сказывается на степени окисления металлов, способствуя их переводу и стабилизации в низшей степени окисления, и на равновесии процессов переходов ионов металла между донными отложениями и водной фазой.

Металлорганические комплексы, образуемые гумусовыми веществами с солями железа, алюминия, титана, урана, ванадия, меди, молибдена и других тяжелых металлов, относительно хорошо растворимы в условиях нейтральной, слабокислой и слабощелочной реакции среды и способны мигрировать в природных водах на весьма значительные расстояния.

Между общей концентрацией металла в природных поверхностных водах и их опасностью для гидробионтов нет однозначной зависимости. Принято считать, что наибольшей токсичностью обладают гидратированные ионы металлов, а связанные в комплексы опасны в меньшей мере либо даже почти безвредны. Поэтому образование комплексов с гумусовыми веществами рассматривается как одно из направлений снижения негативных последствий поступления ТМ в водные объекты.

Помимо органических веществ в роли комплексообразователей в природных водах могут выступать HCO_3^- (CO_3^{2-}), CH_3COOH , NH_4^+ (NH_3), $\text{Si}(\text{OH})_4$, H_2PO_4^- (HPO_4^{2-}), $\text{H}_2\text{S}(\text{SH}^-)$. Ряд комплексных ионов, например $[\text{Sn}(\text{OH})\text{F}]$ и др., хорошо мигрируют в воде и способствуют ее загрязнению. Многие комплексы хорошо растворимы в воде, например $[\text{BeF}(\text{H}_2\text{O})]^+$, $[\text{AlF}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$.

Ионы большинства металлов подвержены реакции гидратации, в которой лигандом являются молекулы воды:



Количественным выражением комплексообразующей способности служит максимальная концентрация форм ионов металла (в г-ион/дм³) в природной воде в виде комплексных соединений, форма которых различается для разных металлов и зависит от присутствия в воде конкурентных металлов, образующих комплексы с природными лигандами.

На формы нахождения металлов в водах оказывают влияние гидробионты (например, моллюски). Так, при изучении поведения меди в поверхностных водах наблюдают сезонные колебания ее концентрации: в зимний период они максимальны, а летом вследствие активного роста биомассы снижаются. При осаждении взвешенных органических частиц, которые обладают способностью адсорбировать ионы меди, последние переходят в донные отложения, что и приводит к наблюдаемому колебательному эффекту. Следует также отметить, что интенсивность этого процесса зависит от скорости седиментации взвесей, т.е. косвенно от таких факторов, как размеры и заряд адсорбирующих ионы меди частиц.

Факторы, определяющие миграцию тяжелых металлов в водных системах

Способность элементов к перемещениям в водной массе во многом определяется степенью их окисления. Чем выше заряд иона металла, тем прочнее он удерживается в виде соединений в составе минералов породы или твердых отходов, тем менее выражена его растворимость в природ-

ных водах и тем ниже его водная миграция. Например, растворимость соединений K^+ больше, чем соединений Ca^{2+} , а соединений Ca^{2+} больше, чем соединений Fe^{3+} , т.е. $K^+ > Ca^{2+} > Fe^{3+}$.

Водная миграция ионов металлов в степени окисления n^+ существенно зависит от их массы: чем больше масса иона Me^{n+} , тем прочнее он связан в соединении, входящем в минеральную породу, тем хуже переходит в водную фазу и тем интенсивнее выпадает в осадок из раствора природных вод.

Концентрация металла в природных водах зависит также от его ионного радиуса: чем больше радиус Me^{n+} , тем легче он переходит в водную фазу и тем сильнее его участие в процессах растворения.

Миграция ионов металлов в водной фазе определяется в значительной мере величиной ионного потенциала, под которым понимается величина отношения заряда иона к его радиусу.

Большое число ионов металлов с величиной заряда менее 3^+ : Li^+ , Rb^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ag^+ , Au^{2+} , – переходят в воду и хорошо ею переносятся. Элементы, ионы которых имеют заряд 3^+ и выше, слабо переходят в воду, т.е. их соединения обладают малой растворимостью в воде. К ним можно отнести такие многозарядные ионы металлов: Fe^{3+} , Ga^{3+} , Al^{3+} , U^{4+} , Zr^{4+} , Ti^{4+} , Nb^{5+} , Ta^{5+} , Mn^{4+} .

По интенсивности миграции в водной среде можно выделить три группы металлов и их соединений. Первая группа представлена наиболее легко растворимыми и подвижными галоидными, гидрокарбонатными и сульфатными соединениями Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} . Во вторую группу входят менее растворимые и менее подвижные соединения, такие как $SrCO_3$, $SrSO_4$, $BaCO_3$. Третью группу составляют наименее растворимые и наименее подвижные соединения металлов в высшей степени окисления: Fe^{3+} , Mn^{4+} , Ti^{4+} , Zr^{4+} , Th^{4+} .

Состав вод и состав твердых загрязнителей при их контакте предопределяет характер процессов растворения (выщелачивания) соединений тяжелых металлов. Наибольшее значение для распределения металлов между фазами играет фактор pH среды – водородный показатель, характеризующий кислотность среды. Большинство металлов (Cu^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) осаждаются при значениях pH , лежащих обычно в пределах 6–7. Причем осаждение идет в виде оксидов, гидроксидов, карбонатов, сульфидов, фосфатов. При снижении pH , а также недостатке кислорода и в присутствии хелатообразователей происходит переход металла из грунта в водную фазу.

Формы существования металлов в поверхностных водах

Токсичные формы – формы существования ионов металлов, негативно действующих на живой организм:

- гидратированные ионы металлов $[M \square (H_2O)_x]^{n+}$;
- простые комплексы с неорганическими анионами: MCl_x^{n-x} , $[M(HCO_3)]^{n-1}$ и т.д.

Формы пониженной токсичности вследствие образования комплексных соединений с органическими лигандами:

- комплексы с серосодержащими лигандами и аминокислотами: $M[S-R]^{n+}$, где R – органический радикал; $M[NH_2-CH_2-\dots-CH_2COOH]$ и т.д.;
- комплексы металлов с гуминовыми и фульвокислотами.

Коллоидные частицы – металлы, адсорбированные на поверхности взвешенных частиц: $M^{n+}[Fe_2O_3 \cdot xH_2O]$; $M^{n+}[MnO \cdot yH_2O]$ и т.д.

Рассмотрим характеристику наиболее распространенных в окружающей среде тяжелых металлов.

Железо. Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

Основной формой нахождения Fe(III) в поверхностных водах являются его комплексные соединения с растворенными неорганическими и органическими соединениями, главным образом гумусовыми веществами. При pH 8,0 основной формой является $Fe(OH)_3$.

Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям, что связано с осенне-весенним перемешиванием водных масс – гомотермия, которая сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде $Fe(OH)_3$.

В природных водах и источниках питьевого водоснабжения содержание железа колеблется в больших пределах – от 0,01 до 26,0 мг/дм³. Содержание железа в воде выше 1–2 мг/дм³ значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вязущий вкус, и делает воду малопригодной для использования в хозяйственно-питьевых и технических целях.

Малые концентрации железа, оставаясь в растворе при низком значении pH, оказывают токсичное действие на рыб и мелкие водные организмы. Механизм вредного действия железа на рыб сводится к тому, что железо, находящееся в воде в виде гидроксида, осаждаясь на слизистой оболочке жабр рыб, закупоривает их и разъедает. Хлорид железа в сточных водах в концентрации 5 мг/дм³ (в пересчете на ион железа) задерживает образование активного ила на очистных сооружениях и сбрасывание осадка в метантенках; при этой концентрации гибнет микрофлора биологических фильтров.

Кадмий. В природные воды он поступает при выщелачивании почв, полиметаллических и медных руд, в результате разложения водных организмов, способных его накапливать. Соединения кадмия выносятся в поверхностные воды со сточными водами свинцово-цинковых заводов, рудобогадительных фабрик, ряда химических предприятий (например, производства серной кислоты), гальванического производства, а также с шахтными водами. Растворенные формы кадмия в природных водах представляют собой главным образом минеральные и органо-минеральные комплексы. Понижение концентрации растворенных соединений кадмия происходит за счет процессов сорбции, выпадения в осадок гидроксида и карбоната кадмия и потребления их водными организмами. Значительная

часть кадмия может мигрировать в составе клеток гидробионтов. В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах кадмий содержится в субмикrogramмовых концентрациях, в загрязненных и сточных водах концентрация кадмия может достигать 10 мкг/дм³.

Медь – один из важнейших микроэлементов. Физиологическая активность меди связана главным образом с включением ее в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов. Недостаточное содержание меди в почвах отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов и способствует бесплодию растительных организмов. Медь участвует в процессе фотосинтеза и влияет на усвоение азота растениями. Вместе с тем избыточные концентрации меди оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы.

Основным источником поступления меди в природные воды являются сточные воды предприятий химической, металлургической промышленности, шахтные воды, альдегидные реагенты, используемые для уничтожения водорослей. Медь может появляться в результате коррозии медных трубопроводов и других сооружений, используемых в системах водоснабжения. В подземных водах присутствие меди обусловлено взаимодействием воды с медьсодержащими горными породами (халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит, хризаколла, бротантин).

Содержание меди в природных пресных водах колеблется от 2 до 30 мкг/дм³, в морских – от 0,5 до 3,5 мкг/дм³. Повышенные концентрации меди (до нескольких граммов в 1 дм³) характерны для кислых рудничных вод.

Медь придает воде неприятный привкус при концентрации 1,5 мг/дм³, окрашивает воду при концентрации 0,5 мг/дм³. При концентрации меди 0,01 мг/дм³ замедляются процессы самоочищения водоемов, а при концентрации 0,4–0,5 мг/дм³ медь губительно действует на микрофлору, задерживает размножение микроорганизмов. Поступая со сточными водами в почву при поливе, медь аккумулируется почвой и растениями, оказывает на них вредное действие, начиная с концентрации 0,1 мг/дм³. ОДК (ориентировочная допустимая концентрация меди в почве, установленная расчетным путем) с учетом фона: 33 мг/кг для песчаных и суперпесчаных почв, 66 мг/кг для кислых (суглинистых и глинистых) почв, 132 мг/кг для близких к нейтральным.

Свинец. Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения. Значительное повышение содержания свинца в окружающей среде (в том числе, и в поверхностных водах) связано со сжиганием углей, с применением тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе, с выносом в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т.д.

Свинец находится в природных водах в растворенном и взвешенном (сорбированном) состоянии. В растворенной форме встречается в виде минеральных и органоминеральных комплексов, а также простых ио-

нов, в нерастворимой – главным образом в виде сульфидов, сульфатов и карбонатов. В речных водах концентрация свинца колеблется в пределах 0,1–2 мкг/дм³. Даже в воде водных объектов, прилегающих к районам залегания полиметаллических руд, концентрация его редко достигает 10–20 мг/дм³.

Существенными факторами понижения концентрации свинца в воде является адсорбция его взвешенными веществами и осаждение с ними в донные отложения. В числе других металлов свинец извлекается и накапливается гидробионтами.

Свинец в организм человека проникает главным образом через органы дыхания и пищеварения. Он накапливается в костях и поверхностных тканях и относится к цитоплазматическим ядам. Соединения свинца не выводятся из организма и тем самым оказывают длительное токсичное воздействие.

Хром. В поверхностные воды соединения хрома (III) и (VI) попадают в результате выщелачивания из пород (хромит, крокоит, уваровит и др.). Некоторое их количество поступает из почв в процессе разложения организмов и растений. Значительные количества могут поступать в водоемы со сточными водами гальванических цехов, красильных цехов текстильных предприятий, кожевенных заводов и предприятий химической промышленности. Понижение концентрации ионов хрома может наблюдаться в результате потребления их водными организмами и процессов адсорбции.

В поверхностных водах соединения хрома находятся в растворенном и взвешенном состояниях, соотношение между которыми зависит от состава вод, температуры, pH раствора. Взвешенные соединения хрома представляют собой в основном сорбированные соединения хрома. Сорбентами могут быть глины, гидроксид железа, высокодисперсный оседающий карбонат кальция, остатки растительных и животных организмов. В растворенной форме хром может находиться в виде хроматов и бихроматов. Хром также аккумулируется в тканях растений.

В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах содержание хрома колеблется от 0,1 до 5 мкг/дм³, в загрязненных водоемах оно достигает 10–100 мкг/дм³. Средняя концентрация в морских водах – 0,05 мкг/дм³, в подземных водах – обычно в пределах 10–102 мкг/дм³. В водопроводной воде средняя концентрация составляет 2,3 мкг/дм³, максимальная – 79 мкг/дм³. Соединения хрома (VI) в водоемах очень стабильны; в анаэробных условиях хром (VI) переходит в хром (III), соединения которого выпадают в осадок. В щелочной среде осаждение происходит быстрее.

Хромат и бихромат калия в концентрации 1 мг/дм³ придают воде горький привкус, а запах не ощущается даже при концентрации 50 мг/дм³. В присутствии никеля вредное действие хрома проявляется при концентрации хрома 2 мг/дм³.

Соединения хрома (VI) оказывают на организм общетоксическое, раздражающее, канцерогенное, кумулятивное, аллергическое и мутагенное действие, губительно действуют на флору и фауну водоемов и тем самым замедляют процессы самоочищения.

Цинк попадает в природные воды в результате разрушения и растворения горных пород и минералов (сфалерит, цинкит, госларит, смитсонит, каламин), а также со сточными водами рудобогатительных фабрик и гальванических цехов, производств пергаментной бумаги, минеральных красок, вязкого волокна и др.

В воде цинк существует главным образом в ионной форме или в формах его минеральных и органических комплексов, иногда встречается в нерастворимых формах: в виде гидроксида, карбоната, сульфида и др.

В природных водах цинк содержится в концентрациях 1–5770 мкг/дм³. В речных водах концентрация цинка обычно колеблется от 3 до 120 мкг/дм³, в морских – от 1,5 до 10 мкг/дм³, в рудных и особенно в шахтных водах с низкими значениями рН содержание может быть значительным. При концентрации 2 мг/дм³ в воде появляется привкус, при 5 мг/дм³ – вяжущий привкус, опалесценция, пескоподобный осадок. При 30 мг/дм³ вода становится непригодной для питья по вкусу и приобретает мутный молочный цвет.

Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие организмов. В то же время многие соединения цинка токсичны, прежде всего его сульфат и хлорид.

Для рыб цинк во много раз токсичнее, чем для людей и теплокровных животных, и его вредное действие проявляется намного раньше, чем изменяются органолептические свойства воды. Цинк способен к кумуляции тканями рыб и низших водных организмов, в концентрациях от 0,1 мг/дм³ воды вредно действует на сельскохозяйственные культуры. Цинк аккумулируется почвой, поэтому сточные воды, содержащие цинк, непригодны для орошения сельскохозяйственных культур.

Химико-аналитический аспект решения проблемы определения форм существования металлов в природных водах стал возможен с появлением новейших методов анализа. Раньше определяли лишь валовое содержание тяжелого металла в воде и устанавливали распределение между взвешенной и растворенной формами. О качестве вод, загрязненных металлами, судили на основании сопоставления данных по их валовому содержанию с величинами ПДК. Сейчас такая оценка считается неполной и необоснованной, так как биологическое действие металла определяется его состоянием в водах, а это, как правило, комплексы с различными компонентами. Поскольку имеет место комплексообразование ТМ с органическими соединениями естественного происхождения, эти комплексы не только малотоксичны, но нередко оказывают стимулирующее действие на развитие гидробионтов, поскольку при этом они становятся биологически доступны организмам.

При разработке существующих ПДК процессы комплексообразования не учитывали и оценку влияния неорганических солей тяжелых металлов на живые организмы проводили в чистых водных растворах при отсутствии растворенных органических веществ естественного происхождения. А знание формы нахождения металла в воде важно не только при изучении процессов, протекающих в природных водных объектах, но и при выборе метода очистки сточных вод от тяжелых металлов.

1.2.3.6. Процессы самоочищения в природных водах

Под самоочищением природных вод понимают совокупность физических, биологических и химических внутриводоемных процессов, направленных на снижение содержания загрязняющих веществ в воде до уровня, не представляющего угрозы для функционирования экосистемы.

Самоочищение связано с техногенными круговоротами веществ, которые включаются в биогеохимические циклы углерода, азота, серы и других элементов.

Вклад отдельных процессов в способность природных вод к самоочищению зависит от физико-химических свойств, фазового состава и чужеродности загрязняющих веществ. В соответствии с этим загрязняющие вещества условно можно разделить на три группы.

1. Так называемые **консервативные** вещества – неразлагающиеся или разлагающиеся в природной среде очень медленно. Это ионы металлов, минеральные соли, гидрофобные соединения типа хлорорганических пестицидов, тяжелые нефтяные углеводороды. К этой группе загрязняющих веществ можно отнести и радионуклиды.

Снижение концентраций консервативных веществ в природных водах происходит за счет:

- разбавления;
- физических процессов массопереноса в сопредельные среды;
- физико-химических процессов комплексообразования;
- сорбции;
- бионакопления.

Поэтому самоочищение имеет кажущийся характер, поскольку происходит лишь перераспределение (фиксация, ограничение подвижности) и рассеяние загрязняющего вещества в окружающей среде, перенос его в сопредельные объекты.

2. **Биогенные** вещества (углерод, азот, фосфор, калий и др.), участвующие в биологическом круговороте, минеральные формы азота и фосфора, легкоусвояемые органические соединения. В этом случае самоочищение природных вод происходит преимущественно за счет биохимических процессов, протекающих с участием преимущественно микроорганизмов.

3. **Водорастворимые** вещества, не вовлекаемые в биологический круговорот, зачастую токсичные, промышленного и сельскохозяйственного происхождения. Самоочищение природных вод от этих веществ осуществляется в основном за счет биоразложения и превращения в результате протекания химических реакций.

В общем случае различные загрязняющие вещества участвуют в совокупности процессов массопереноса и трансформации.

Наиболее значимыми для самоочищения природных вод являются:

а) физические процессы массопереноса:

- разбавление (перемешивание);
- вынос загрязняющих веществ в соседние водные объекты (вниз по течению);
- испарение;

- сорбция (взвешенными частицами и донными отложениями);
 - бионакопление;
- б) микробиологическая трансформация;
- в) химическая трансформация:
- гидролиз;
 - фотолиз;
 - окисление.

Рассмотрим некоторые из этих процессов подробнее.

Физико-химические процессы на границе раздела фаз

Испарение и растворение газов на поверхности раздела воздух – вода имеет важное значение для массопереноса веществ с высокой летучестью.

Поскольку процессы испарения–растворения зачастую неравновесны, для описания кинетики используют различные физико-математические модели. Согласно двухпленочной модели, как в газовой, так и в жидкой фазах имеются две зоны: зона молекулярной диффузии с градиентом концентрации вблизи поверхности раздела фаз и зона конвективного переноса вещества (при постоянной концентрации) вдали от поверхности.

В рамках модели можно рассчитать поток вещества через поверхность раздела в виде функции независимо измеряемых параметров водной системы и данного вещества. В частности, поток зависит от значения константы Генри (отношения давления насыщенных паров к растворимости в воде) и от скорости молекулярной диффузии вблизи поверхности раздела фаз.

Скорость молекулярной диффузии зависит:

- от скорости воздуха над поверхностью воды. Обычно предполагается, что приповерхностная скорость движения воды составляет 3,5% от скорости ветра над водой;
- от испарения воды. Это связано с тем, что в силу высокой концентрации вода переходит через границу раздела воздух–вода со скоростью, в несколько тысяч раз превышающей скорость испарения любого другого компонента.

Время, за которое концентрация вещества в жидкой фазе уменьшается вдвое за счет испарения, определяется соотношением

$$\tau_{1/2} = \frac{0,69 \cdot d}{\beta \cdot H \cdot f};$$

$$f = \sqrt{\frac{M}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T}};$$

$$H = \frac{16,04 \cdot P_p \cdot M}{T \cdot S_p},$$

где d – глубина слоя воды, из которого происходит испарение; H – константа Генри; $b = (2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ – множитель, учитывающий испарение вещества в воздух; M – молекулярная масса вещества; T – абсолютная температура; P_p – давление паров вещества; S_p – растворимость вещества в воде.

Таблица 1.22. Физико-химические параметры газожидкостных процессов (25°C, pH 7)

Вещество	Давление паров, Па	Растворимость в воде, мг/дм ³	$\tau_{1/2}$, ч
н-пентан	68400	40	0,012
бензол	12700	1780	0,065
циклогексан	10245	55	0,08
п-ксилол	1170	180	0,71
этилбензол	935	152	0,81
н-декан	175	0,05	4,7
линдан	0,017	17	4900
фенантрен	0,2	1,2	42000
антрацен	0,001	0,04	530000
гексахлорбензол	0,0015	0,11	570000
пирен	0,001	0,14	830000
ДДТ	0,000022	0,003	31000000

Таким образом, чем выше давление паров вещества, тем быстрее при прочих равных условиях оно испаряется. Напротив, вещества с низким давлением паров и высокой растворимостью в воде меньше подвержены процессам испарения по сравнению с веществами, характеризующимися высокими значениями давления паров вещества и меньшей растворимостью. Из данных табл. 1.22 следует, что наиболее быстро испаряются низкомолекулярные алифатические и ароматические углеводороды, в особенности алканы, циклоалканы и бензолы.

Сорбционные процессы занимают важное место в перераспределении в природных водах нейтральных, как правило, гидрофобных молекул. Равновесие сорбционного процесса можно записать в виде

$$P_w \xleftarrow{K_{oc}} P_s,$$

где P_w – вещество P в водной фазе; P_s – вещество P в сорбированном состоянии; K_{oc} – коэффициент распределения вещества P в системе органическое вещество – вода.

Величина K_{oc} для разных химических веществ зависит от коэффициентов активности веществ в воде при относительно постоянных коэффициентах активности в органической фазе. Этим, в частности, обусловлено существование корреляции между коэффициентами распределения в системах октанол – вода (K_{ow}) и твердое органическое вещество – вода (K_{oc}):

$$K_{oc} \approx 0,4 K_{ow},$$

а также между K_{ow} и фактором биоконцентрирования загрязняющих веществ K_B .

Величина K_{ow} связана с растворимостью вещества в воде S простым соотношением

$$\lg K_{ow} = (4,5 \div 0,75) \lg S.$$

Это соотношение выполняется для многих классов органических соединений, включая углеводороды, галогенированные углеводороды, ароматические кислоты, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы.

В природных сорбентах органическое вещество составляет лишь некоторую долю от массы сорбента, поэтому коэффициент распределения вещества P в системе сорбент – вода (K_p) принято нормировать на содержание органического углерода (ОС) в сорбенте:

$$K_p = K_{oc}[\text{OC}],$$

где [ОС] – содержание органического вещества в сорбенте.

При этом доля сорбированного вещества в природной воде (P) описывается уравнением

$$F = \frac{K_p \cdot [C]}{1 + K_p \cdot [C]},$$

где [С] – концентрация суспензированного в воде сорбента.

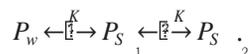
С ростом [С] величина F стремится к 1, т.е. все вещество P будет находиться в сорбированном состоянии. В донных отложениях величина [С] велика, так что для многих загрязняющих веществ $K_p[\text{C}] > 1$. В открытых водоемах обратная ситуация: сорбция оказывается существенной только для соединений с $K_{oc} > 10^5$.

Американские исследователи изучали распределение инсектицида дильдрин – типичного представителя гидрофобных загрязняющих веществ в водохранилище Коралвилл (США). Они обнаружили, что 40% поступившего в водохранилище дильдрин осаждается на дно и скапливается в донных отложениях, 50% – выносится вниз по течению через шлюзы. Около 10% поступившего дильдрин накапливалось в рыбах. В толще воды дильдрин распределяется следующим образом: 64% накапливается в рыбах, 24% растворяется в воде и 12% сорбируется взвешенными твердыми частицами. Концентрация вещества в рыбах и донных отложениях находилась в равновесии со средней концентрацией растворенного дильдрин, причем количество дильдрин в рыбах было прямо пропорционально содержанию в них жира и концентрации в воде независимо от характера питания, вида, массы, размера рыб или других условий. Данные полевых измерений соответствовали лабораторным измерениям, нормированным на содержание жира, и соответствовали коэффициенту распределения в системе октанол–вода.

По-видимому, такое равновесное распределение – общее правило концентрирования гидрофобных (липофильных) соединений в неполярных фракциях седиментарных частиц и гидробионтов.

Предположение о равновесности сорбционных процессов может не выполняться, если вещество претерпевает химические превращения. В этом случае скорость процессов сорбции – десорбции может лимитировать скорость химической трансформации загрязняющего вещества.

Изучение кинетики процессов сорбции показало наличие двух стадий:



На первой стадии сорбция вещества протекает быстро и обратимо. Это поверхностная сорбция. Дальнейшее проникновение вещества внутрь макромолекулярного клубка твердого органического сорбента – процесс медленный и может протекать в течение нескольких суток. Доля поверхностно-сорбированного вещества обычно составляет 0,35–0,6.

Сорбция многих загрязняющих веществ с растворимостью в воде менее $10^{-3}M$ является одним из основных процессов удаления химического вещества из жидкой фазы. К таким веществам относятся хлорорганические пестициды, полихлорбифенилы, полиароматические углеводороды. Эти соединения малорастворимы в воде и имеют большие значения K_{ow} (10^4 – 10^7). Для них сорбция является наиболее эффективным процессом самоочищения природных вод.

Микробиологическое самоочищение

Микробиологическая трансформация загрязняющих веществ считается одним из основных каналов самоочищения природных вод. Микробиологические биохимические процессы включают реакции с участием окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов (оксидаз, оксигеназ, дегидрогеназ, гидролаз и др.). Оптимальная температура для протекания процессов биodeградации загрязняющих веществ составляет 25–30 °С.

В природных условиях микробное сообщество получает энергию из различных источников. При этом микроорганизмы, существующие на следовых количествах того или иного загрязняющего вещества как на единственном источнике углерода, находятся в состоянии конкуренции друг с другом.

Таким образом, скорость микробиологической трансформации вещества зависит не только от его химических свойств и структуры, но и от метаболической способности микробного сообщества, от фазы роста популяции, от местности и видового состава микробного сообщества. Как правило, константа скорости микробиологической трансформации загрязняющего вещества коррелирует с константой скорости его щелочного гидролиза:

$$\lg k_B = a + b \lg k_{OH}$$

Это свидетельствует о роли гидролитических процессов в микробиологической трансформации веществ, подверженных щелочному гидролизу.

На процессы биodeградации загрязняющих веществ оказывают влияние множество факторов – освещение, содержание в воде O_2 , питательных веществ, кофакторов (веществ небелковой природы, необходимых ферментам для осуществления реакции).

Даже если микроорганизмы обладают необходимым для разложения загрязняющего вещества набором ферментов, они могут не проявлять активности из-за отсутствия дополнительных субстратов или кофакторов. Поэтому многие загрязняющие вещества могут микробиологически распадаться только в условиях кометаболизма, т.е. при обеспечении соответствующими косубстратами, кофакторами и т.д.

В естественных условиях в результате микробиологических процессов наиболее быстро распадаются *n*-алканы (на 60–90% за три недели). Разветвленные алканы и циклоалканы распадаются медленней, чем *n*-алканы (за неделю на 40%). Низкомолекулярные ароматические углеводороды минерализуются быстрее насыщенных углеводородов, однако полиароматические углеводороды разрушаются медленно. Биодegradация ароматических углеводородов сопровождается раскрытием ароматических колец за счет промежуточного образования орто-диолов. Фенолы и крезолы также эффективно разрушаются микроорганизмами. Замещенные ди- и трихлорфенолы разлагаются полностью в донных отложениях в течение 5–7 дней, нитрофенолы – в течение 14–20 дней.

В природных условиях, несмотря на высокие потенциальные возможности бактерий в отношении химической трансформации загрязняющих веществ, они не всегда могут быть реализованы. Так, внесение активных микроорганизмов в водоем зачастую не оказывает влияния на скорость трансформации загрязняющих веществ в природных условиях.

Необходимо остановиться на еще одной особенности микробиологических процессов трансформации ксенобиотиков (от греч. ксенос – чужой, биос – жизнь). Это возможность образования продуктов трансформации, которые оказываются более токсичными, канцерогенными и мутагенными соединениями, чем исходные вещества. Возник даже специальный термин “токсификация”, т.е. процесс, при котором исходно малотоксичный ксенобиотик подвергается в организме воздействию ферментов и становится более токсичным. Это касается трансформации некоторых ароматических аминов (гидроксилирование), соединений, содержащих ароматические нитро- и азогруппы (образование нитрозосоединений), ароматических соединений (образование эпоксидов) и др.

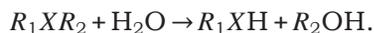
Химическое самоочищение

Процессы перераспределения загрязняющих веществ в природных водах могут сопровождаться их химической трансформацией. При этом трансформация веществ может осуществляться как в растворенном, так и в сорбированном состояниях. Рассмотрим некоторые особенности кинетики трансформации загрязняющих веществ в природных водах в результате процессов гидролиза, фотолиза и окисления.

Гидролиз

Многие загрязняющие вещества участвуют в кислотно-основных превращениях.

Как правило, гидролизу подвергаются эфиры и амиды карбоновых и различных фосфорсодержащих кислот. При этом вода участвует в реакции не только как растворитель, но и как реагент:



Реакции гидролиза могут осуществляться как некаталитически, так и с участием в качестве катализаторов растворенных в природных водах соединений.

Сложные эфиры карбоновых кислот широко используются в качестве гербицидов, при их гидролизе образуются соответствующие карбоновая кислота и спирт. Амиды карбоновых кислот гидролизуются с образованием кислоты и амина. Гидролиз характерен для производных карбаминовой кислоты (HO-C(O)-NH_2) с заместителями у атома азота или HO- группы. В результате гидролиза разрываются связи C-O и N-C .

Относительно легко гидролизуются фосфорорганические соединения, обладающие высокой инсектицидной активностью. Эфиры и амиды фосфорной кислоты гидролизуются до фосфорной кислоты. Тиофосфаты более устойчивы к гидролизу, чем фосфаты. Характерное время гидролиза некоторых фосфорорганических инсектицидов представлено в табл. 1.23.

Константа скорости гидролиза вещества в сорбированном состоянии мало отличается от константы скорости аналогичных процессов в гомогенной водной среде (менее чем в три раза). Соответственно в открытых водных объектах, где доля загрязняющих веществ в сорбированном состоянии невелика, вкладом седиментарных частиц в гидролитическую трансформацию веществ можно пренебречь.

Фотолиз

Фотолитические превращения загрязняющих веществ осуществляются в природных водах под действием ультрафиолетовой составляющей солнечного излучения.

Поверхности Земли достигает свет длиной волны > 300 нм, причем интенсивность УФ-излучения зависит от толщины озонового слоя и может претерпевать значительные изменения под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. Несмотря на то что доля УФ-составляющей в общем потоке энергии солнечного излучения невелика, в химических превращениях большинства загрязняющих веществ участвует свет с длиной волны < 350 нм. Фотохимически активен свет в области перекрывания спектра солнечного излучения и спектра поглощения рассматриваемого вещества. Эта область спектра солнечного излучения представляет собой “спектр действия”. Для большинства загрязняющих веществ максимум “спектра действия” находится в диапазоне длин волн 310–330 нм.

Таблица 1.23. Полупериод гидролиза фосфорорганических инсектицидов

Инсектицид	$\tau_{1/2}$
Фосмет	7,1 ч
Диалифор	14,0 ч
Малатион	10,5 сут
Дикаптон	29 сут
Диметилпаратион	53 сут
Паратион	130 сут

Фотохимические превращения загрязняющих веществ в природных водах могут осуществляться в результате прямого и сенсibilизированного фотолиза – при участии свободных радикалов и электронно-возбужденных частиц. Реакции прямого фотолиза происходят, если химическое превращение претерпевает вещество, поглощающее свет. Скорость трансформации вещества Р при прямом фотолизе определяется скоростью поглощения квантов света и квантовым выходом процесса.

Квантовый выход характеризует вероятность осуществления химической реакции при поглощении одного кванта света. Обычно квантовый выход слабо зависит от длины волны.

При сенсibilизированном фотолизе свет поглощается сенсibilизатором и возбуждение передается с первичного приемника солнечной энергии на вещество, участвующее в превращении. В природных водах сенсibilизаторами служат растворенные в воде фульвокислоты, для которых максимум “спектра действия” солнечного излучения находится при 365 нм.

Исследования с использованием как солнечного излучения, так и монохроматического света из искусственных источников показали, что гумусовые вещества в различных водоемах, а также гуминовые и фульвокислоты, извлеченные из почв, имеют сходные фотосенсibilизирующие свойства.

Синглетный кислород (кислород в возбужденном состоянии) обладает широким спектром реакционной способности. Он взаимодействует с полиненасыщенными жирными кислотами липидов, стероидами, некоторыми аминокислотами (метионином, гистидином, триптофаном), в том числе с входящими в состав белков и пептидов, а также со многими загрязняющими веществами – пестицидами, фуранами, сульфидами и другими веществами, богатыми электронами. В то же время в отношении большинства органических соединений (углеводородов, спиртов, эфиров и др.) синглетный кислород не реакционноспособен.

Образующийся в фотосенсibilизированных реакциях синглетный кислород может взаимодействовать с полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) с образованием надкислот, являющихся источниками ОН- радикалов, которые в свою очередь способны окислять ПАУ до эндопероксидов. Тем самым процесс фотохимической трансформации загрязняющих веществ тесно связан с радикальными процессами окисления.

Особенность фотохимических превращений в природных водах заключается, с одной стороны, во влиянии на скорость их протекания погодных факторов, суточных и сезонных изменений солнечной радиации, широты местности, а с другой – в поглощении фотохимически активного солнечного излучения в толще воды.

Как правило, толщина слоя воды, в котором осуществляются фотохимические превращения, невелика – не превышает нескольких метров. Поэтому фотохимические превращения наиболее существенны для трансформации загрязняющих веществ в неглубоких водных объектах: реках и прудах, а также в прибрежных зонах морей, озер и водохранилищ.

Окисление

Процессы окисления загрязняющих веществ в природных водах могут быть двух типов:

1) в качестве окислителя участвуют ионы металлов в окисленной форме (Fe^{3+} , Mn^{4+} , Cu^{2+} и др.). Эти процессы наиболее вероятны для загрязняющих веществ, обладающих выраженными лигандными и восстановительными свойствами;

2) в окислении загрязняющих веществ участвуют свободные радикалы и другие реакционноспособные частицы.

Среди ионов переходных металлов каталитические свойства в природных водах наиболее ярко проявляют ионы и комплексы меди, а также микроколлоидные частицы гидроксида железа.

Редокс-каталитические процессы самоочищения природных вод не ограничиваются лишь трансформацией загрязняющих веществ, обладающих электронно-донорными свойствами, за счет их прямого окисления ионами металлов переменной валентности. Наряду с фотохимическими реакциями редокс-каталитические процессы с участием O_2 , H_2O_2 приводят к образованию в природных водах активных промежуточных частиц, в частности свободных радикалов.

Таким образом, система самоочищения природных вод может быть охарактеризована совокупностью функциональных зависимостей между параметрами среды и внешних факторов, с одной стороны, и физико-химическими свойствами загрязняющих веществ – с другой.

Зная свойства загрязняющих веществ, можно прогнозировать их наиболее вероятные пути трансформации в окружающей среде, а зная параметры природных вод – оценивать допустимую нагрузку на водоем по тому или иному загрязняющему веществу.

Литература к разделам 1.2.3.1-1.2.3.6

- Справочник химика, 2012. 2 изд., т. 3, М.-Л., 1964, с. 740.
- Голдовская Л.Ф., 2007. Химия окружающей среды / Л.Ф. Голдовская. М.: Мир, 294 с.
- Гусакова Н.В., 2005. Химия окружающей среды. Серия “Высшее образование”. Ростов-на-Дону: Феникс, 192 с.
- Драйвер Дж., 1985. Геохимия природных вод. М.: Мир, 432 с.
- Линник П.Н., Набиванец Б.И., 1988. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоздат, 271 с.
- Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н., 2002. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 334 с.
- Скурлатов Ю.И., 1999. Введение в экологическую химию. М.: Высш. шк., 410 с.
- Тарасова Н.П., Кузнецов В.А. и др., 2002. Задачи и вопросы по химии окружающей среды. М.: Мир, 368 с.
- Тинсли И., 1982. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. М.: Мир, 281 с.
- Трифонов К.И., Девисилов В.А., 2007. Физико-химические процессы в техносфере.

1.2.3.7. Общее состояние природных вод

1.2.3.7.1. Общее состояние природных вод в мире

Предполагается, что количество пресной воды в мире, доступной для потребления человеком, колеблется от 12 500 до 14 000 км³ в год (Hinrichsen et al., 1998; Jackson et al., 2001). Во многих странах Африки, Ближнего Востока, Западной Азии и некоторых странах Восточной Европы количество водных ресурсов, доступных для человека, ниже среднего. В связи с быстрым ростом численности населения потенциальное количество воды для него снизилось с 12 900 м³ на душу населения в год в 1970 году до 9000 м³ – в 1990 году и до менее чем 7000 м³ – в 2000 году (Clarke, 1991; Jackson et al, 2001; Shiklomanov, 1999). В густонаселенных районах Азии, Африки и Центральной и Южной Европы, текущее водообеспечение на душу населения составляет от 1200 до 5000 м³ в год (Shiklomanov, 1999).

Глобальные запасы пресной воды, согласно прогнозам, снизятся до 5100 м³ на душу населения к 2025 году. Этого количества было бы достаточно, чтобы удовлетворить индивидуальные потребности человека, если бы оно было распределено равномерно между населением всего мира (Shiklomanov, 1999). Рис. 1.32 иллюстрирует изменение водообеспеченности на душу населения при постоянном объеме пресной воды с учетом ее неравномерного распределения, урбанизации и роста населения Земли.

Проблема пресной воды станет одной из самых острых к середине XXI века. По данным ООН [Всемирный День воды. http://www.cawater-info.net//all_about_water?p=1332], уже сегодня дефицит воды, включая сельскохозяйственные и промышленные нужды, оценивается в 230 млрд м³ в год. К 2025 году 3,2 млрд жителей нашей планеты будут страдать от недостатка питьевой воды (< 1000 мг/дм³ соледержание), дефицит которой к этому времени увеличивается до 1,3–2,0 трлн м³ в год. А к 2025 году, согласно данным ЮНЕСКО, уже 7 млрд человек в 60 странах (по пессимистическим прогнозам) или в 48 странах (по оптимистическим) столкнутся с проблемой катастрофической нехватки пресной воды.

1.2.3.7.2. Общее состояние природных вод в Европе

Неравномерное распределение, урбанизация и изменение климата влияют на водообеспечение жителей Европы. На рис. 1.33 представлены результаты оценки имитационного моделирования сценариев на 2070–2099 годы. Как видно, некоторые районы получают больше воды, в то время как в районах с дефицитом воды ее станет еще меньше.

Водная Рамочная Директива ЕС оказывает существенное влияние на качество воды в Европе уже сегодня и нацелена на продолжение работы по повышению качества воды в будущем. На рис. 1.34 представлены показатели качества воды в европейских странах в 2012 году.

Хотя в реализации Водной Рамочной Директивы ЕС наблюдается значительный прогресс, однако окончательно поставленные цели не достигнуты, что отодвигает решение намеченных экологических задач. Рассеянные и точечные загрязнения по-прежнему является значительной нагрузкой на водную среду в соответственно 38% и 22% странах – членах ЕС. Эвтрофикация (зарастание водоемов), вызванная чрезмерной биогенной нагрузкой, все еще остается главной угрозой для водоемов, находящихся

Рисунок 1.32.

Изменения в водообеспеченности на душу населения, м³ (GRIDA-UNEP, 2000)

Регион	м ³ на человека в год
Северная Америка	
Колумбия	1 249 832
Мексика	468 245
Нью-Йорк	15 167
Миссисипи	8 973
Река Святого Лаврентия	5 195
Южная Америка	
Амазонка	273 767
Парана	8 025
Европа	
Дунай	2 519
Африка и Ближний Восток	
Нил	4 076
Бассейн озера Чад	7 922
Конго	22 752
Нил	2 207
Замбези	—
Средиземная	1 050
Евфрат и Тигр	2 189
Азия и Австралия	
Волга	4 290
Сибирь	14 837
Енисей	73 085
Лена	151 359
Колыма	722 859
Амур	4 817
Ганг и Брахмапутра	—
Янцзы	2 265
Бассейн Мюррей и Дарлинг	—
Хуанхэ	361
Инд	830

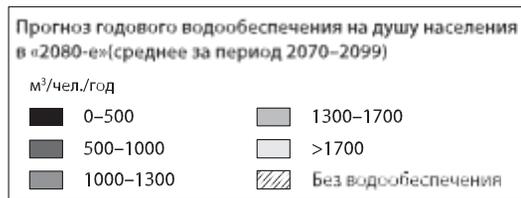
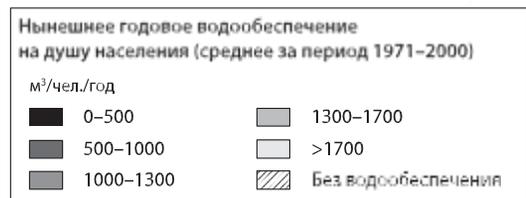
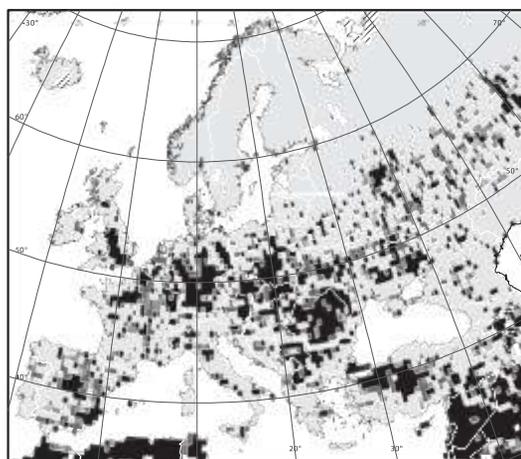
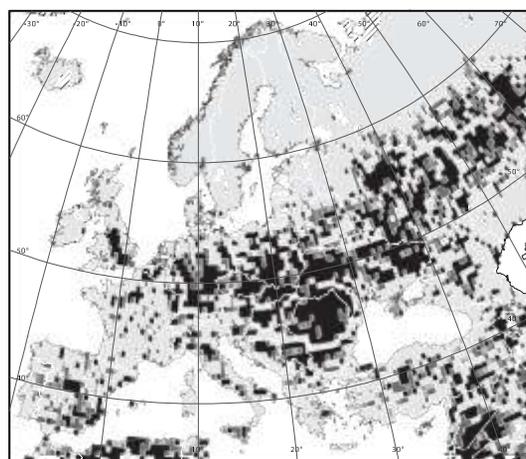
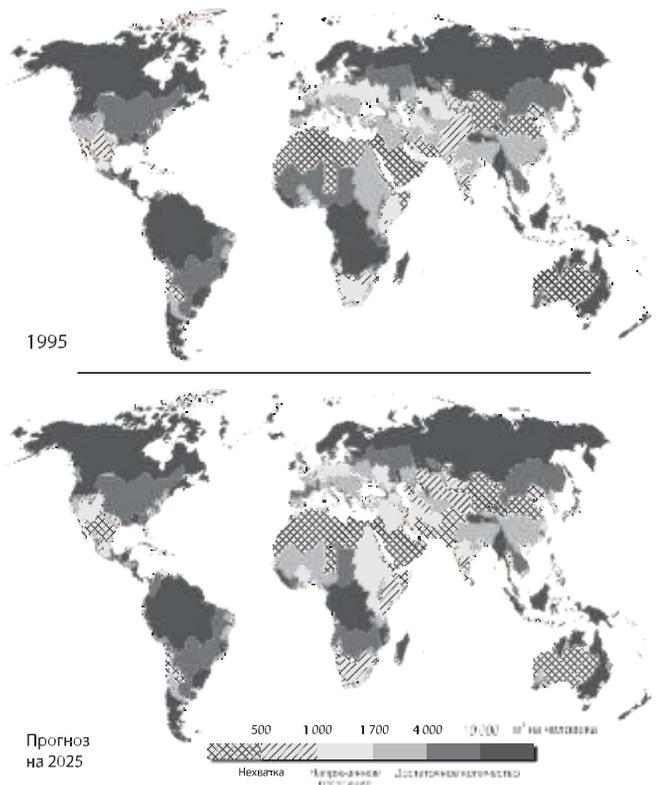


Рисунок 1.33.

Изменение водообеспеченности на душу населения (ЕЕА, 2012)

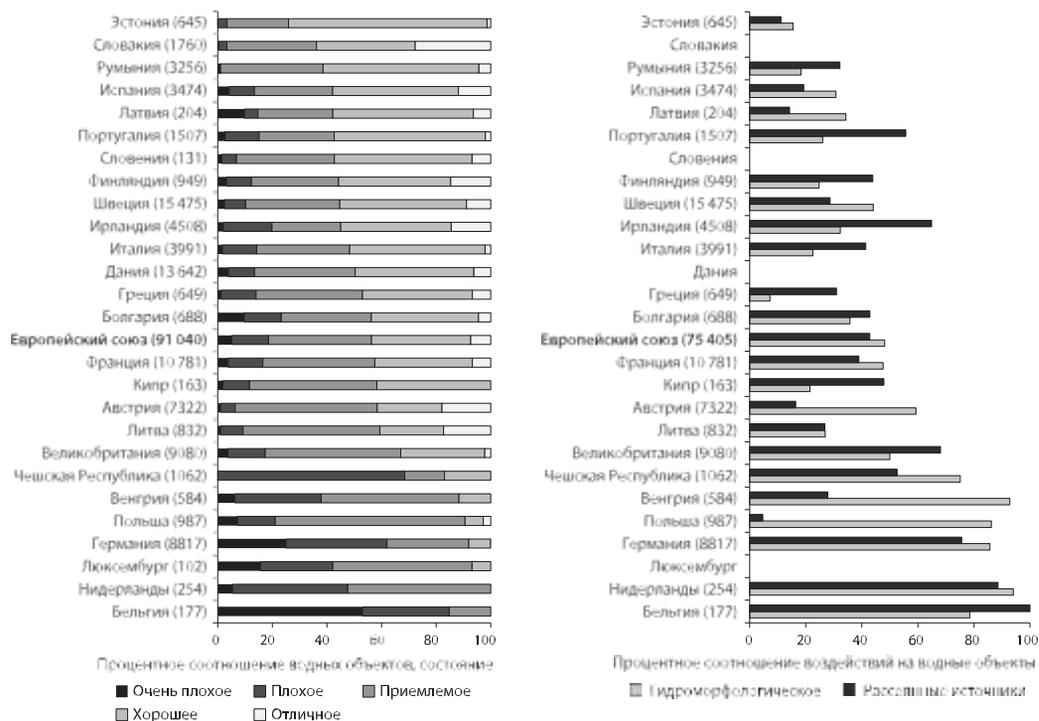


Рисунок 1.34.

Качество воды водных объектов в Европе (ЕЕА, 2012)

пока что в удовлетворительном состоянии: биогенные вещества присутствуют в ~30% крупных водных объектах в 17 государствах – членах ЕС. Нормы и уровень очистки сточных вод все еще имеют существенные отличия в странах Европы, что определяющим образом влияет на загрязнение воды в европейских водоемах. ЕЕА (2011) сообщает, что состояние очистки сточных вод в Юго-Восточной Европе весьма далеко от удовлетворительного.

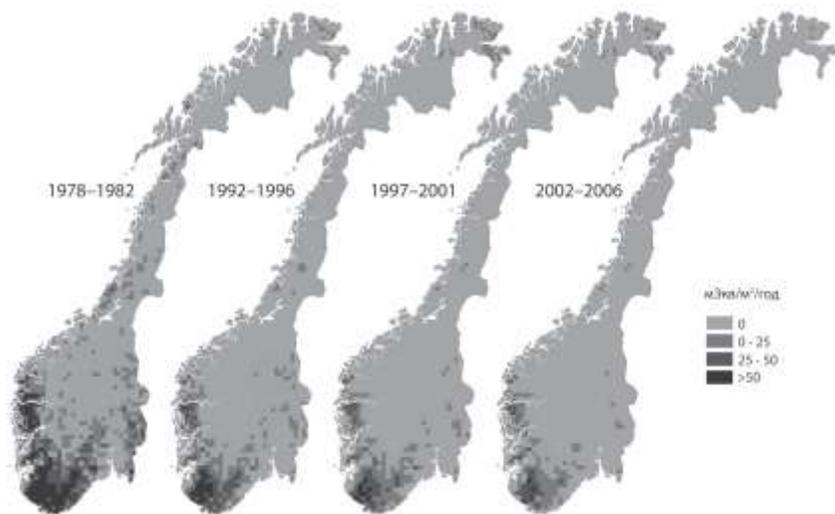
1.2.3.7.3. Общее состояние природных вод в Норвегии

Вода в Норвегии в целом менее, чем в остальной Европе, загрязнена городскими сточными водами, несмотря на то что подкисление уже много лет является одной из главных проблем как результат промышленной деятельности как в Норвегии, так и во многих странах Европы. Как видно из рис. 1.35, ситуация в Норвегии постепенно улучшается из-за благоприятного изменения состава сточных вод и совершенствования методов их очистки. Кроме того, существенный прогресс достигнут за многие десятилетия в сохранении природного благополучия региональных норвежских акваторий.

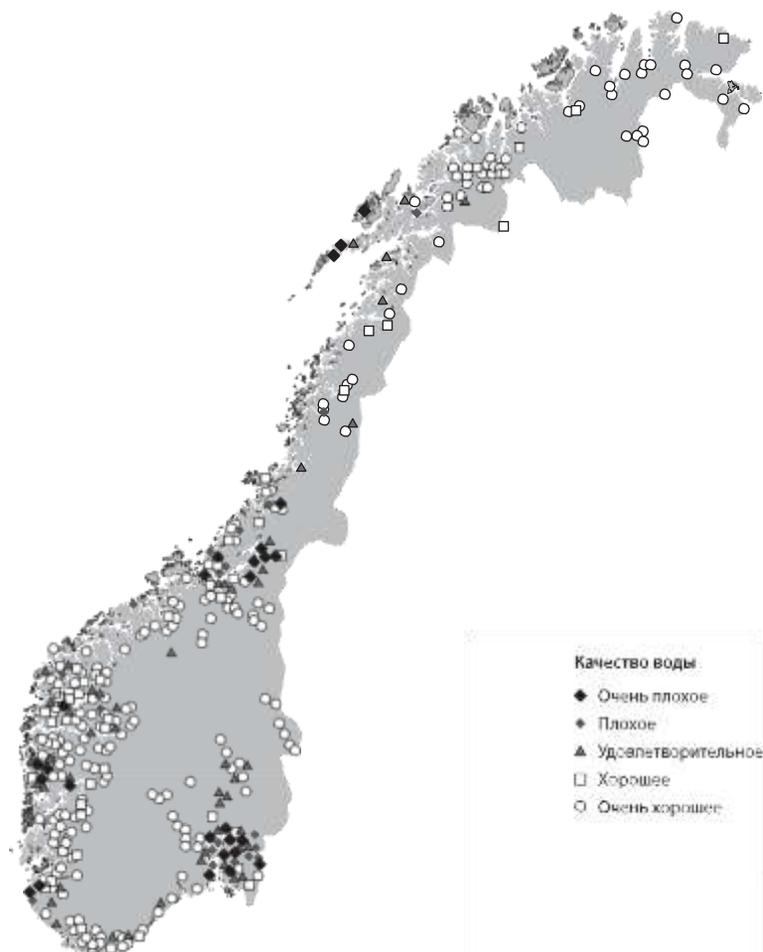
Эвтрофикация (зарастание водоемов) была основной угрозой в начале 1970-х, но быстрые инвестиции в очистку сточных вод и в сельскохозяйственный сектор снизили число факторов, влияющих на эвтрофикацию. Хотя все еще имеются некоторые проблемные регионы (показаны точками на рис. 1.36).

Рисунок 1.35.

Подкисление воды
в Норвегии
(NIVA, 2008)

**Рисунок 1.36.**

Качество воды рек и озер
в Норвегии: эвтрофикация,
вызванная фосфатами
(Statistics Norway, 2009)



1.2.3.7.4. *Общее состояние природных вод в Украине*

Водные ресурсы Украины составляют поверхностные и подземные воды.

К крупным рекам принадлежат Дунай, Тиса, Днестр, Южный Буг, Днепр, Припять, Десна, Северский Донец, Западный Буг.

Учитывая различные природно-климатические условия регионов Украины, проблема их водоснабжения решается за счет межбассейнового перераспределения водных ресурсов с использованием уникальных водохозяйственных систем – Северо-Крымского и Каховского магистральных каналов, каналов Днепр – Донбасс и Днепр – Ингулец, межобластных, межрайонных и межхозяйственных водорегулирующих и водно-транспортных систем.

Большая часть зарегулированного стока в Украине приходится на Днепровский каскад водохранилищ – общим объемом 43,8 км³ и полезным – 18,5 км³. Все шесть водохранилищ днепровского каскада имеют комплексное назначение. За счет водных ресурсов Днепра значительно повышено водообеспечение в Крыму (в 3 раза), в Херсонской (в 5,5 раз), Кировоградской (в 2,5 раза), Днепропетровской (в 3 раза) областях.

Сегодня ежегодная потребность населения и отраслей экономики в водных ресурсах составляет около 20 км³.

Основными водопользователями являются промышленность – 36%, сельское хозяйство – 41%, коммунальное хозяйство – 23%.

Специализированные организации Украины контролируют качество поверхностных вод в районах основных водозаборов на 50 источниках питьевого водоснабжения в 78 створах.

Содержание радионуклидов в поверхностных водах Украины, в том числе в зонах влияния Ровенской, Хмельницкой, Южно-Украинской и Запорожской атомных электростанций и местах расположения водозаборов, в последние годы значительно ниже допустимых уровней.

Ниже приведены данные о гидрохимическом состоянии основных поверхностных водных объектов – источников питьевого водоснабжения – по бассейнам основных рек Украины.

Бассейн реки Днепр

Река Днепр является крупнейшей рекой Украины имеет площадь водосборного бассейна 291,4 тыс. км² в пределах Украины. Днепр основной источник водоснабжения крупных промышленных центров в пределах бассейна, а также юга и юго-востока страны.

Гидрохимическое состояние водохранилищ Днепровского каскада и водотоков бассейна в последние годы имеет тенденцию к ухудшению. Превышение нормативных показателей качества воды для хозяйственно-питьевого водопользования наблюдается преимущественно по таким показателям, как химическое (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК) (отражающие содержание органических соединений), содержание железа, марганца, а также цветность. Прослеживается устойчивая тенденция к повышению содержания фосфатов в воде, что является следствием техногенной нагрузки на водные объекты государства.

Рост ХПК свидетельствует как о неэффективной работе очистных сооружений городов и промышленных предприятий (что приводит к

увеличению сбросов в реку Днепр и его притоки неконтролируемых, неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод), так и о поступлении органических соединений из болотистых территорий водосбора верхнего Днепра и его притоков: рек Припять и Уж.

Значительное количество “органики” (преимущественно высокомолекулярных соединений), а также железа и биогенных элементов образуется в слабо проточных водохранилищах Днепровского каскада вследствие активного размножения сине-зеленых водорослей (“цветение воды”) в определенные периоды. Наибольшее биогенное загрязнение из всех водохранилищ Днепровского каскада наблюдается в Киевском водохранилище, на качественное состояние воды которого и верхней части Каневского водохранилища существенно влияют воды реки Припять, в которую поступает основная часть загрязнений с заболоченных территорий Белорусского Полесья.

Гидрохимическое состояние вод реки Днепр в районе столицы Украины – Киева, как свидетельствуют данные инструментально-лабораторного контроля, удовлетворительное и остается без существенных изменений в течение последних пяти лет с незначительным колебанием среднегодовых показателей.

Гидрохимическое состояние верхних водохранилищ реки Днепр и ее притоков в значительной мере влияет на качество воды средних водохранилищ, особенно Кременчугского, где аккумулируется основная часть промышленных сбросов загрязняющих веществ. По данным лабораторных измерений, в этом водохранилище наблюдается завышенное содержание марганца, железа общего, а также высокое органическое загрязнение воды. В Кременчугском водохранилище, которое является источником питьевого водоснабжения нескольких крупных городов, в частности Кременчуга, ежегодно снижается содержание растворенного в воде кислорода, увеличивается содержание марганца, железа общего и в целом сохраняется высокое органическое загрязнение воды.

Бассейн реки Десна

Основным притоком реки Днепр является река Десна, для вод которой характерны более низкие, чем в днепровской воде, значения показателей ХПК и завышенные показатели БПК₅.

В целом же гидрохимическое состояние воды реки Десна на протяжении последних лет остается почти неизменным с незначительным колебанием показателей качества воды, хотя водам Десны присуще несколько повышенное содержание общего железа и марганца, что объясняется спецификой водосбора реки – речные воды вымывают их из кристаллических пород Украинского гранитного щита и проходят по лесистой и заболоченной местности.

В нижнем течении Десны, в районе водозабора Киева, на качество воды существенно влияет Каневское водохранилище. Вода в указанном створе – практически смесь вод рек Десна и Днепр. В целом качество воды по гидрохимическим показателям в створе Деснянского водозабора Киева отвечает, кроме показателей цветности и ХПК, нормативам качества для воды хозяйственно-питьевого использования по всем показателям.

Бассейн реки Днестр

Река Днестр в Украине является второй по водности, имеет общую водосборную площадь 72,9 тыс. км², в том числе на территории Украины находится 53,5 тыс. км².

Экологическая ситуация в водном бассейне реки Днестр в последние годы заметно улучшается, на что повлияло ситуативное сокращение сельскохозяйственного и промышленного производства в регионе.

В нижнем течении реки Днестр (на территории Ивано-Франковской и Черновицкой областей) качественное состояние воды характеризуется показателями, не превышающими предельно допустимые концентрации, за исключением содержания органических загрязнений, концентрация которых бывает выше ПДК в контрольном створе города Галич.

Бассейн реки Южный Буг

Река Южный Буг относится к числу рек бассейна Черного моря. Длина реки 806 км, водосборная площадь 63,7 тыс. км².

Для воды реки Южный Буг характерно повышенный показатель цветности (до 100 градусов и более), особенно в летние месяцы. Воды бассейна Южный Буг также имеют повышенные значения показателей по рН и БПК₅.

Наиболее загрязненными участками реки Южный Буг являются территории Хмельницкой и Винницкой областей: преимущественно происходит загрязнение органическими соединениями.

Содержание биогенных соединений группы азота находится значительно ниже ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования, хотя наблюдаются случаи превышения по аммонийному азоту на территории Хмельницкой области. Это объясняется влиянием загрязняющих стоков водопроводно-канализационных коммунальных предприятий Хмельницкой области. В большинстве створов Винницкой, Кировоградской и Николаевской областей содержание аммонийного азота стабильно.

Концентрации солей тяжелых металлов в поверхностных водах Юго-Бугского бассейна, за исключением железа общего и марганца, не превышают норм для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования. Хром и кадмий в воде не обнаружены.

Бассейн реки Западный Буг

Результаты мониторинга качества поверхностных вод бассейна Западного Буга свидетельствуют о том, что гидрохимические показатели качества воды с каждым годом ухудшаются, особенно в пунктах наблюдений на территории Львовской области. Превышения ПДК отмечались по содержанию фосфатов, общего железа и БПК₅.

Вследствие неэффективной работы очистных сооружений промышленных и коммунальных предприятий (Добротворская ТЭС), водопроводно-канализационных предприятий городов Львов, Каменка-Бугская, Сокаль наблюдается увеличение объемов сбросов в реку Западный Буг неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод.

Бассейн реки Северский Донец

Бассейн реки Северский Донец расположен на территории двух государств: Российской Федерации и Украины. Общая площадь бас-

сейна составляет 98,9 тыс. км², из них в пределах Украины находится 54,5 тыс. км² (55%).

Незначительные колебания показателей качества воды имеют сезонный характер. Превышение нормативов наблюдаются по содержанию органических веществ, нефтепродуктов, жесткости и по рН.

Одной из проблем качества водных ресурсов реки Северский Донец является увеличение по течению минерализации воды, содержания хлоридов и сульфатов.

Основными элементами загрязнения воды рек бассейна Северского Донца на участке после впадения притоков Уда, Казенный Торец, Лугань и водных объектов бассейнов рек Приазовья и Днепра являются органические соединения и солевые сбросы. Это объясняется неэффективной работой очистных сооружений городов и промышленных предприятий-водопользователей. Качество воды рек Приазовья характеризуется также высоким содержанием природного происхождения.

Реки Закарпатья

Река Тиса является крупнейшей левым притоком реки Дунай.

Состояние водных объектов Закарпатья по результатам гидрохимических и радиологических измерений на протяжении последних лет существенно не изменяется. По большинству санитарных показателей качество воды отвечало нормативам. Превышение нормативов для водоемов хозяйственно-питьевого использования наблюдается преимущественно по таким показателям: содержание железа общего и марганца.

Бассейн реки Дунай

Использование части стока реки Дунай имеет большое значение для Украины, особенно для ее юго-западных регионов. Состояние воды реки Дунай по гидрохимическим показателям можно характеризовать как стабильная. Наблюдается только повышение содержания взвешенных веществ в воде в паводковый период. Следует отметить, что качество воды в трансграничном створе города Рени практически не отличается от качества воды в замыкающем створе (устье, города Вилково), что свидетельствует о формировании качества воды Дуная за счет антропогенной нагрузки на участках, расположенных выше по течению (вне Украины).

1.2.3.7.5. Общее состояние природных вод Республики Беларусь

Оценка состояния водных объектов и уровня их загрязнения проводится в основном по среднегодовым концентрациям приоритетных загрязняющих веществ, используемых в расчетах индекса загрязненности вод (ИЗВ), – растворенного кислорода; органических веществ, нормируемых по БПК₅; азота аммонийного; азота нитритного; фосфора фосфатного и нефтепродуктов. Перечисленные показатели, кроме растворенного кислорода и нефтепродуктов, относятся к экологическим показателям, применяемым в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии для проведения оценки состояния поверхностных вод. В дополнение к ним определяется нитратная форма минерального азота.

Основным стандартом качества речных вод в Беларуси является предельно допустимая концентрация химических веществ, устанавливаемая для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Для

оценки загрязнения речных вод органическими веществами принята предельно-допустимая концентрации для величины БПК₅, которая составляет 3,00 мг О₂/дм³.

В Беларуси действует отлаженная сеть мониторинга поверхностных вод. Регулярные наблюдения ведутся на 153 водных объектах в бассейнах рек Западной Двины, Немана, Западного Буга, Днепра и Припяти. Кроме того, наблюдениями охвачено 35 трансграничных участков водотоков, расположенных в районах пересечения государственной границы. На отдельных водных объектах ведется радиационный мониторинг.

Особенностью подземных вод Беларуси, обусловленной геохимическими процессами взаимодействия воды и вмещающих пород, является повышенное содержание железа и марганца. На территории Беларуси присутствие железа в подземных водах отмечается практически повсеместно, что требует специальной обработки воды перед использованием на хозяйственно-питьевые нужды. Более 70% артезианских скважин на территории Беларуси имеют воду с содержанием железа, превышающим уровень ПДК (0,3 мг/дм³), а в зоне Полесья доля этих скважин достигает 90–95%. Наряду с железом в подземных водах отмечается повышенное содержание марганца (ПДК 0,1 мг/дм³), в отдельных случаях бора, фтора и некоторых других компонентов.

Естественный геохимический фон подземных вод Беларуси существенно нарушен вследствие антропогенного загрязнения подземных вод, особенно в районах интенсивного агропромышленного производства. Участками интенсивного загрязнения неглубоко залегающих подземных вод являются животноводческие фермы и поля орошения животноводческими стоками. Загрязнение выражается здесь в росте содержания в воде нитратов, аммония, хлоридов и других компонентов.

В Беларуси основной объем сточных вод сбрасывается в реки. Объем сточных вод составляет около 990 млн м³ (с учетом дождевых вод). В отраслевой структуре водоотведения самое большое количество сточных вод, как правило, приходится на жилищно-коммунальное хозяйство (около 60%), промышленность и сельское хозяйство – соответственно 16 и 24%. Со сточными водами в реки ежегодно сбрасывается органических веществ (по БПК₅), азота аммонийного, азота нитритного, фосфора фосфатного 7930, 5390, 200 и 1120 т соответственно.

Весьма остро стоит проблема загрязнения рек биогенными веществами и защиты их от эвтрофикации. Среднегодовые концентрации азота аммонийного, превышающие ПДК, отмечаются в воде большинства рек Беларуси и свидетельствуют о загрязнении речных вод, которое по-разному выражено для каждого водного объекта как по годам, так и по ореолу распространения загрязняющего вещества. Среднегодовые концентрации нитратов в воде рек Беларуси не превышают ПДК. Наиболее серьезная ситуация наблюдается в отношении фосфора фосфатного, среднегодовое содержание которого в воде целого ряда рек превышает ПДК.

Радиационный мониторинг поверхностных вод проводится на шести реках Беларуси, протекающих по территориям, загрязненным в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Днестре, Припяти, Соже, Ипути,

Беседи, Нижней Брагинке, а также на озере Дрисвяты, которое является прудом-охладителем Игналинской АЭС.

Концентрации цезия-137 и стронция-90 в воде контролируемых рек, за исключением Нижней Брагинки, как правило, значительно ниже гигиенических нормативов, предусмотренных Республиканскими допустимыми уровнями для питьевой воды (РДУ-99 для цезия-137 – 10 Бк/дм³, для стронция-90 – 0,37 Бк/дм³).

В воде реки Нижняя Брагинка, водосбор которой частично находится на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, наблюдается более высокое содержание радионуклидов по сравнению с другими контролируемыми реками. Высокое содержание стронция-90 во время паводков наблюдается в водах малых рек, водосборы которых полностью или частично находятся в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

Радиационная обстановка на средних и малых реках, находящихся вне зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, остается стабильной. Среднегодовые концентрации стронция-90 имеют тенденцию к снижению. Увеличение концентрации этого элемента непосредственно связано с водностью года и его смывом с тальми и дождевыми водами с водосбора, который заметно усиливается во время паводков.

1.2.3.7.6. *Общее состояние природных вод*

Республики Казахстан

Среди стран Евразийского континента Казахстан входит в состав наиболее вододефицитных. По данным Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства удельная водообеспеченность составляет 37 тыс. м³ на 1 км² и 6,0 тыс. м³ на 1 человека в год. На основании информационно-аналитического обзора, подготовленного в мае 2009 года ведущими экспертами стран Центральной Азии в рамках Меморандума CARNet-РЭЦЦА (Регионального Экологического Центра Центральной Азии), лишь 56,5 км³ водных ресурсов формируется на территории республики, а остальной объем из 100,5 км³ поступает из соседних государств (Узбекистана, Китая, Кыргызстана, России).

В Казахстане сложилась ситуация, когда способность водных экосистем к самовосстановлению в десятки раз отстает по сравнению с ростом антропогенной нагрузки.

Неблагоприятные климатические изменения, нарастание трансграничного воздействия, нерациональное использование водных ресурсов, интенсивный рост воздействия техногенных сбросов, применение устаревших технологий привели к значительным проблемам в водохозяйственном секторе страны. Совокупность воздействия этих и других негативных факторов влечет за собой масштабные социально-экологические проблемы.

Особую роль в становлении и развитии водного хозяйства в Казахстане играет деятельность таких государственных органов, как бассейновые инспекции, комитет по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства, Министерство охраны окружающей среды, Министерство энергетики и минеральных ресурсов и многие другие ведомства.

Водную структуру Казахстана условно образуют Арало-Сырдарьинский, Балхаш-Алакольский, Иртышский, Ишимский (Есильский), Жайык-

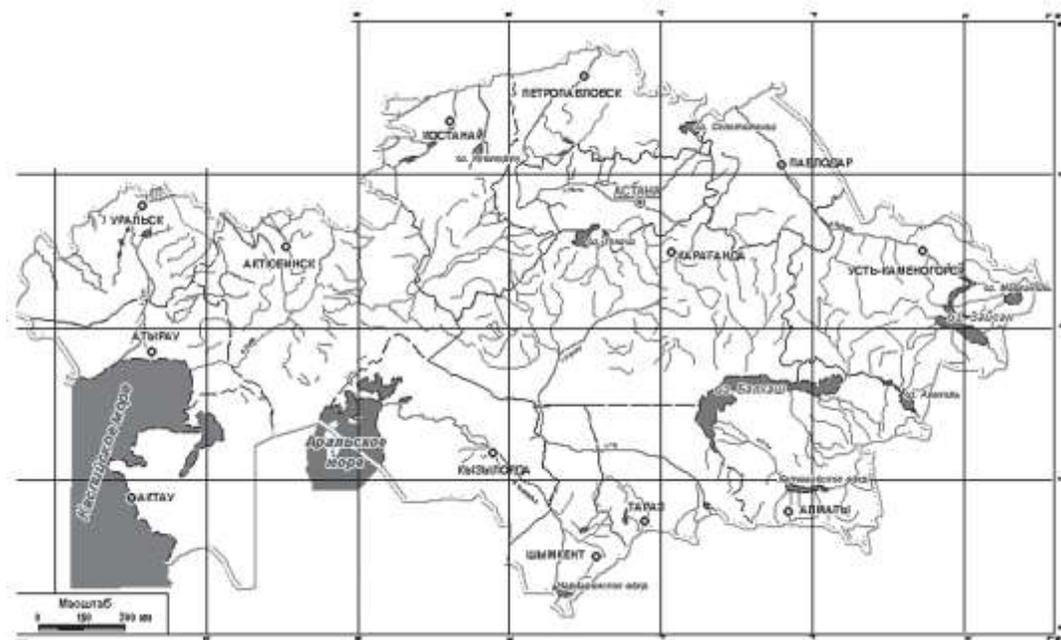


Рисунок 1.37.

гидрографическая сеть Республики Казахстан

Каспийский (Урало-Каспийский), Нура-Сарысуский, Тобол-Тургайский и Шу-Таласский речные бассейны (рис. 1.37).

По данным РГП “Казгидромет” в ходе мониторинга за состоянием поверхностных вод в конце 2008 года на территории республики наблюдалось преобладание водных объектов, относящихся к 3 классу загрязненности – “умеренно загрязненная”, где ИЗВ варьируется от 1,01 до 2,5. К основным водным объектам данного класса относят реки: Тихая, Брекса, Ульби, Глубочанка, Красноярка, Деркул, Тобол, Тогызак, Ак-Булак, Сары-Булак, Киши Алматы, Текес, Нура, Коргас, Шу, Талас, Аксу, Асса, Бадам, Сырдарья (Кызылординская); озера: Шалкар, Балкаш, Улькен Алматы; водохранилища: Тасоткель и Капшагай. Из обследованных водных объектов в 2008 году к “чистым” отнесены реки – Ертис, Буктырма, Чаган, Оба, Шароновка, Кигач, Урал, Есиль, Беттыбулак, Беркара, Бугунь, озера – Копа, Бурабай, Улькен Шабакты, Шортан и водохранилища – Сергеевское, Самаркандское, Вячеславское. Чрезвычайно грязными оказались воды реки Кара-Кенгир, где индекс загрязнения превысил 10 условных единиц. Большой интерес у специалистов, занимающихся вопросами мониторинга и охраны водной среды в целях дальнейшего прогнозирования состояния водных экосистем, вызывает анализ динамики изменения индекса загрязнения воды.

1.2.3.7.7. Общее состояние природных вод Республики Таджикистан

Характерной особенностью поверхностных речных вод Республики Таджикистан является повышенная мутность, особенно в весенний и осенний периоды, что связано с половодьем и дождевыми паводками.

Данные по мутности и в целом по гидрохимическому режиму рек страны издаются Гидрометеослужбой Республики Таджикистан отдельной серией “Ежегодные данные о качестве поверхностных вод Республики Таджикистан”, являющейся частью государственного Водного кадастра. Минерализация (по составу растворенных солей) является в Таджикистане основным показателем пригодности воды для питья (рис. 1.38).

Действующими в стране нормативами приняты следующие градации пригодности поверхностных вод для питья по минерализации;

- 0–600 мг/дм³ – хорошая питьевая вода;
- 600–1000 мг/дм³ – удовлетворительная питьевая вода;
- 1–1,5 г/дм³ – допустимая для питья вода;
- 1,5–2,5 г/дм³ – допустимая для питья по необходимости;
- 2,5–4,0 г/дм³ – допустимая для питья в крайнем случае;
- более 4 г/дм³ – не пригодная для питья вода.

Нормы качества воды, применяемой для централизованного водоснабжения, регламентируются Государственным стандартом (ГОСТ 2874-83 – Вода питьевая) и Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения. Применительно к вышеизложенным условиям большинство рек Таджикистана обладают хорошими питьевыми качествами в течение всего года. В меженный период питьевые качества воды некоторых рек ухудшаются в связи с повышением минерализации.

Анализ и обобщение фактических данных санэпидемиологических станций показал, что качество воды в источниках водоснабжения (род-



Рисунок 1.38.

гидрографическая сеть Республики Таджикистан (ММИВР РТ, Душанбе 2010)

ники, скважины, колодцы, водопроводы, открытые водоемы) в Таджикистане находится в пределах:

- по водородному показателю pH от 6 до 8,5;
- по хлоридам во всех источниках от 2,2 до 170 мг/дм³, в том числе в водопроводной сети – от 6 до 170 мг/дм³, в родниках – от 2,2 до 20 мг/дм³ и в скважинах от 17 до 150 мг/дм³ (т.е. в пределах нормы);
- по сульфатам в водопроводной воде – в пределах нормы – от 1,3 до 378 мг/дм³;
- по жесткости воды родниковые источники не превышают допустимые нормы, а водопроводные находятся в пределах нормы от 4,1 до 7,2 мг экв/дм³.

Структура внутреннего водопотребления в республике существенно трансформировалась в последние годы: свыше 97% объемов воды в среднем расходуются на нужды орошаемого земледелия, около 1% – на нужды промышленности, около 0,43% – на хозяйственно-питьевые нужды, 0,65% – на нужды сельскохозяйственного водоснабжения. Прочие же водопотребляющие секторы экономики и сфера услуг в совокупности используют около 0,2% суммарного внутреннего водопотребления. Сельскохозяйственное производство, в том числе основанное на орошаемом земледелии, занимает ведущее место в экономике страны. Площади орошаемых земель превышают 0,74 млн га (7400 км²).

В целом водные ресурсы Таджикистана оцениваются как чистые и очень чистые. Тенденций существенного ухудшения качества водных ресурсов за последнее десятилетие не отмечено, более того, объемы сброса загрязняющих веществ в природные водные объекты уменьшились почти в три раза.

В настоящее время основными источниками загрязнения являются сбросы минерализованных коллекторно-дренажных вод и неочищенных сточных вод в реки, а также неупорядоченная утилизация бытовых отходов в сельских населенных пунктах, расположенных вблизи водосборных бассейнов.

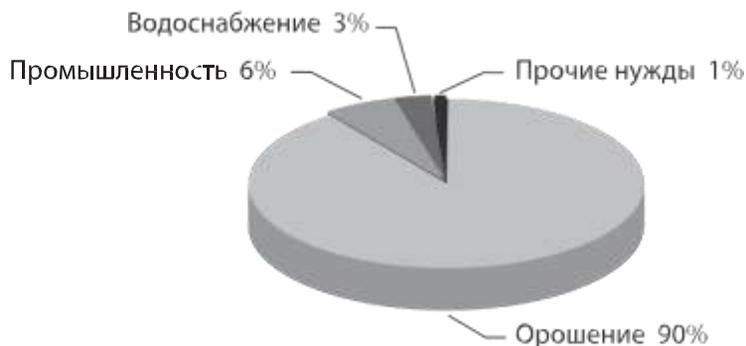
1.2.3.7.8. Общее состояние природных вод Кыргызской Республики

Максимальные показатели водозабора (13,93 км³ /год) и использования воды (10,05 км³/год) в Кыргызстане были достигнуты в 1988 году. Однако в последующие годы объемы водозабора уменьшились до 7,5–10 км³/год, а использование подземных вод также сократилось с 1,0 до 0,2–0,3 км³ в год (на 2013 год).

Структура внутреннего водопотребления в Кыргызстане (рис. 1.39) достаточно стабильна – около 90% объемов воды в среднем ежегодно расходуются на нужды орошаемого земледелия, около 6% – на нужды промышленности, менее 3% – на коммунально-бытовые нужды, включая питьевое водоснабжение городского и сельского населения. Лесное, рыбное хозяйство, энергетика, другие водопотребляющие секторы экономики и сфера услуг в совокупности используют менее 1% суммарного внутреннего водопотребления. Сельскохозяйственное производство, в том числе основанное на орошаемом земледелии, занимает ведущее место. Площади орошаемых земель составляют 1,02 млн га.

Рисунок 1.39.

Структура водопотребления в Республике Кыргызстан



Качество питьевой воды в городских районах остается неизменным на протяжении многих лет. В сельских районах качество водопроводной воды ухудшилось из-за повышенного использования поверхностных вод в качестве питьевой воды.

Начиная с советских времен из-за недостатка инвестиций состояние водоочистных сооружений ухудшилось до опасного уровня и большая часть водопроводной воды вообще не проходит никакой обработки. Питьевая вода из собственных колодцев обычно не дезинфицируется, и ее качество в целом не очень удовлетворительное (табл. 1.24).

Из-за закрытия многих крупных промышленных предприятий после распада Советского Союза объем воды, используемой в промышленности, значительно сократился. Самыми важными отраслями промышленности в настоящее время являются горнодобывающая промышленность (золото и уголь) и энергетика. Другие важные отрасли – это строительство, пищевая и текстильная промышленность.

Таблица 1.24. Состояние централизованных источников водоснабжения и качество питьевой воды

Индикатор	Снабжение подземными водами	Снабжение поверхностными водами
Количество источников централизованных водозаборных станций	1207	93
% источников воды, несоответствующих санитарным нормам и правилам	3,6	18,2
% источников воды, несоответствующих санитарным нормам и правилам из-за нехватки зон санитарной охраны	1,5	3,2
Количество образцов, проверенных на наличие санитарных и химических индикаторов	31 953	275
% образцов, несоответствующих гигиеническим нормам	0,2	11,1
Количество образцов, проверенных на присутствие микробиологических индикаторов	2860	163
% образцов, несоответствующих гигиеническим стандартам	6,2	17,1

В целом водные ресурсы Кыргызстана оцениваются как чистые и очень чистые. Тенденции существенного ухудшения качества водных ресурсов за последнее десятилетие не наблюдается. Тем не менее отмечается периодические превышения нормативов загрязнения вод в бассейнах р. Чу и южных регионах страны, в основном вблизи крупных населенных пунктов. Основными источниками загрязнения вод являются сельскохозяйственные, в меньшей степени – промышленные предприятия, муниципальные системы канализации и бытовые отходы населения. Потенциальную опасность для природных водных объектов и условий жизнеобеспечения населения представляют отвалы и хвостохранилища горнодобывающей промышленности, расположенные в конусах выноса и в поймах рек, где хранятся радиоактивные отходы и соли тяжелых металлов.

Существенным фактором, оказывающим негативное влияние на качество водных ресурсов, является неупорядоченная хозяйственная деятельность в водоохранных зонах и полосах поверхностных водных объектов, а также неудовлетворительное состояние зон санитарной охраны месторождений подземных вод.

1.2.3.7.9. *Общее состояние природных вод Российской Федерации*

Показатель качества питьевой воды позволяет определить риск негативного воздействия некачественной питьевой воды на здоровье человека, а также характеризует уровень соответствия питьевой воды санитарным требованиям.

В водные объекты Российской Федерации сбрасывается 45,5 км³ в год сточных вод, из которых 17,3 км³ (32,2%) подлежат очистке. Свыше 72% сточных вод, подлежащих очистке, сбрасываются в водные объекты недостаточно очищенными, 17% – загрязненными без очистки и только 11% – очищенными до установленных нормативов. Вместе со сточными водами в поверхностные водные объекты Российской Федерации ежегодно поступает около 11 млн т загрязняющих веществ. Основными источниками загрязненных сточных вод являются предприятия жилищно-коммунального хозяйства, промышленности и агропромышленного комплекса, на долю которых приходится свыше 90% общего объема сброса загрязненных сточных вод (табл. 1.25).

Доля загрязненных сточных вод, сброшенных без очистки, в Российской Федерации в общем объеме стоков составила в 2012 году 6,78%.

Объем сброса загрязненных сточных вод предприятиями жилищно-коммунального хозяйства составляет свыше 60% общего объема сброса загрязненных сточных вод в Российской Федерации. Причинами этого являются значительный износ очистных сооружений, применение устаревших технологий очистки сточных вод, прием объектами жилищно-коммунального хозяйства загрязненных стоков промышленных предприятий.

На долю промышленности приходится 25% общего объема сброса загрязненных сточных вод. Основными источниками загрязнения водных объектов являются предприятия, осуществляющие целлюлозно-бумажное, химическое, металлургическое производство, полиграфическую деятельность, производство кокса, нефтепродуктов, добычу металлических руд, а также предприятия угольной промышленности.

Таблица 1.25. Поступление загрязняющих веществ со сточными водами в водоемы Российской Федерации (Росстат, 2013)

Показатель	Год					
	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Объем сброса сточных вод, млрд км ³	75,2	55,6	50,9	49,2	48,1	45,5
В составе сточных вод сброшено:						
сульфатов, млн т	52,9	2,7	2,2	1,9	1,9	2,0
хлоридов, млн т	55,0	7,3	6,7	6,7	5,4	5,6
общего азота, тыс. т	151,8	41,3	34,5	36,4	34,2	32,0
нитратов, тыс. т	77,8	208,5	374,7	366,4	409,9	432,2
жиров и масел, тыс. т	48,5	15,2	8,1	4,1	3,4	2,9
фенола, т	264,6	66,6	42,9	28,0	24,5	22,4
свинца, т	144,8	34,9	14,8	9,0	6,4	6,2
ртути, т	13,9	0,2	0,1	0,02	0,01	0,01

Высокую степень воздействия на водные объекты оказывает рассредоточенный (диффузный) сток с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей, занятых отвалами и отходами промышленного производства, а также трансграничные загрязнения. Сложившийся уровень антропогенного загрязнения является одной из основных причин, вызывающих деградацию рек, водохранилищ, озерных систем, накопление в донных отложениях, водной растительности и водных организмах загрязняющих веществ, в том числе токсичных, и ухудшение качества вод поверхностных водных объектов, используемых в качестве источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и являющихся средой обитания водных биологических ресурсов.

О качестве воды, используемой на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды можно судить по данным мониторинга водных систем (табл. 1.26).

Большинство водохозяйственных участков на территории Российской Федерации характеризуются высокой степенью загрязнения водных объектов и низким качеством воды. Наиболее напряженная экологическая ситуация сложилась в бассейнах рек Волга, Обь, Енисей, Амур,

Таблица 1.26. Характеристика качества воды, используемой на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды по данным мониторинга (Минприроды РФ, 2013)

Показатель, %	Год		
	2010	2011	2012
Доля проб, не отвечающих гигиеническим показателям	10,45	10,02	10,04
в том числе:			
по микробиологическим показателям	6,47	5,68	5,50
по радиологическим показателям	4,62	2,97	4,38
по паразитологическим показателям	0,09	0,12	0,12

Северная Двина и Печора, загрязнены также поверхностные воды бассейнов рек Дон, Кубань, Терек и рек бассейна Балтийского моря.

В табл. 1.27 показан объем сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных морей и рек.

Несмотря на наметившуюся в последние годы положительную тенденцию уменьшения антропогенной нагрузки на отдельные водные объекты, адекватное улучшение качества поверхностных вод не происходит. Основными причинами являются: отсутствие на многих предприятиях необходимых очистных сооружений; сброс неочищенных ливневых стоков с территорий больших городов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий; большие объемы накопившихся загрязняющих веществ в донных отложениях, являющихся источниками вторичного загрязнения поверхностных вод.

По экспертным оценкам в целом по Российской Федерации доля загрязненных вод не превышает 5–6% общей величины их использования для питьевого водоснабжения населения. Загрязнение 2483 участков (38% общего количества) связано с деятельностью промышленных предприятий, 967 участков (15%) – с сельскохозяйственной деятельностью, 863 участка (14%) – с коммунальным хозяйством, 410 участков (6%) – в результате подтягивания некондиционных природных вод при нарушении режима их эксплуатации, 733 участка (11%) обусловлено деятельностью промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных объектов (загрязнение подземных вод “смешанное”), а для 1000 участков (16%) источник загрязнения подземных вод не установлен. Основными

Таблица 1.27. Объем сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных морей и рек, млрд м³ (Росстат, 2013)

Бассейны морей и рек	Год					
	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Всего	27,8	20,3	17,7	16,5	16,0	15,7
Бассейн Балтийского моря	2,7	2,2	2,0	2,0	1,9	1,8
в том числе р. Нева	1,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Бассейн Черного моря	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Бассейн Азовского моря	3,9	2,0	1,6	1,6	1,6	1,6
в том числе бассейны рек:						
Дон	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6
Кубань	1,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Бассейн Каспийского моря	11,8	9,2	8,0	7,3	7,1	7,0
в том числе бассейн р. Волга	11,1	8,3	7,3	6,4	6,2	6,2
Бассейн Карского моря	6,2	4,2	3,8	3,3	3,2	3,0
в том числе бассейны рек:						
Енисей	3,1	1,4	1,2	0,9	0,9	0,9
Обь	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1
Бассейн Белого моря	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7

загрязняющими подземные воды веществами являются соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак или аммоний – на 2939 участках), нефтепродукты (на 1812 участках), сульфаты и хлориды (определены на 889 участках), тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, кобальт, никель, ртуть или сурьма – на 479 участках), фенолы (на 407 участках).

Для 4745 участков (73%) интенсивность загрязнения подземных вод составляет 1–10 ПДК, на 1221 участках (19%) изменяется в пределах 10–100 ПДК, на 490 участках (8%) превышает 100 ПДК. Согласно нормативам СанПиН 2.1.4.1074-01, чрезвычайно опасной степени загрязнения подземных вод (1-й класс опасности загрязняющих веществ) подвержены 253 участка (4% общего количества загрязняющих участков), высокоопасному (2-й класс) – 1141 участок (18%), опасному (3-й класс) – 2628 участков (40%) и умеренно опасному (4-й класс) – 1081 участок (17%).

В целях повышения качества воды в водных объектах, восстановления водных экосистем и рекреационного потенциала водных объектов требуется решить следующие задачи:

- сокращение антропогенного воздействия на водные объекты и их водосборные территории;
- предотвращение деградации малых рек;
- охрана и предотвращение загрязнения подземных водных объектов.

Основным направлением повышения рациональности водопользования является экономическое стимулирование сокращения удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий.

Гидробиологические наблюдения включают в себя изучение основных экологических сообществ: фитопланктона, зоопланктона, перифитона и зообентоса. Каждое из этих экологических сообществ наблюдается по ряду параметров. Первичные наблюдения позволяют рассчитать специальные обобщенные гидробиологические индексы, по значению которых можно дать оценку качества вод по шестибальной шкале: от I класса (очень чистые воды) до VI класса (очень грязные воды).

Влияние загрязнения на водные объекты можно выразить также через категории экологических градаций, в которых могут находиться экосистемы. При этом по мере роста нагрузки загрязнения на водную среду наблюдается последовательное изменение состояния водных экосистем.

В зависимости от нагрузки на водную среду различают следующие последовательные градации состояния экосистем:

- экологическое благополучие;
- антропогенное экологическое напряжение;
- антропогенный экологический регресс;
- антропогенный метаболический регресс.

Применение такого двойного подхода к оценке качества экосистем – через категории экологических градаций и по шкале качества вод – дает возможность наиболее объективно и всеобъемлюще охарактеризовать состояние изучаемых систем.

В 2012 году такая оценка была произведена на 93 водных объектах Российской Федерации на 188 створах в шести гидрографических райо-

Таблица 1.28. Тенденции в изменении состояния экосистем водных объектов в Российской Федерации (Минприроды РФ, 2013)

Экологическое состояние	Количество водных объектов					
	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Экологическое благополучие	18	20	21	24	30	32
Антропогенное экологическое напряжение с элементами экологического регресса	74	65	44	36	38	40
Экологический и метаболический регресс	8	25	35	30	32	28
Всего	100	100	100	100	100	100

нах: Карельском, Балтийском, Каспийском, Восточно-Сибирском, Карском и Тихоокеанском. По результатам исследования водных объектов были выявлены наиболее загрязненные водоемы. Экосистемы этих водоемов испытывают сильное негативное воздействие загрязнения и находятся в состоянии экологического регресса. В рассматриваемом году водные объекты по качеству экосистем в процентном отношении распределились следующим образом. В состоянии экологического благополучия находятся экосистемы 32% обследованных водных объектов, в состоянии антропогенного экологического и метаболического регресса – 28%, а в промежуточном состоянии, т.е. в состоянии антропогенного экологического напряжения и с элементами экологического регресса, находятся 40% пресноводных экосистем водных объектов. Таким образом, видно, что количество благополучных объектов подвержено лишь незначительным колебаниям, в то время как соотношение числа объектов в антропогенном напряжении и объектов в состоянии экологического и метаболического регресса поменялось в пользу первых, превзойдя конкурентов почти в полтора раза. Распределение наблюдаемых водных объектов по экологическому состоянию за последние семь лет представлено в табл. 1.28 (в процентах от наблюдаемого количества водных объектов за каждый год, который берется за 100%).

По результатам мониторинга можно увидеть, что улучшение экологического состояния является основной тенденцией, наблюдаемой на протяжении последних нескольких лет, хотя и немного замедлившей свой темп. Происходит это за счет снижения числа объектов, находящихся в экологическом и метаболическом регрессе, однако также отмечается рост числа объектов, находящихся в состоянии антропогенного напряжения.

1.2.3.7.10. Общее состояние природных вод Республики Молдовы

Днестровская вода хорошего качества: без запаха, приятная на вкус, имеет небольшую минерализацию. На всем протяжении реки Днестр (рис. 1.40) вода ее пригодна для питья, орошения, промышленного использования.

Однако экосистемы Днестра в последние 70 лет подверглись сильному воздействию результатов человеческой деятельности, что резко снизило их способность к качественному водообеспечению. Так, берега

Рисунок 1.40.

Река Днестр
в среднем
течении



Днестра подверглись обвалованию для защиты сельхозугодий от заливания в период паводков, а долина была распахана. В 1950-х годах на Днестре была построена Дубоссарская ГЭС, прервавшая ход осетровых и других рыб к местам нереста. Наконец, в 1980-х годах в Украине, на границе с Молдовой, был сооружен огромный гидроэнергокомплекс с водохранилищем и двумя плотинами, коренным образом изменивший гидрологический и температурный режимы реки и снизивший ее способность к самоочищению.

Проблема правильного использования и охраны водных ресурсов и изыскания новых источников является важной для густонаселенной Молдовы.

Прут, приток Дуная – вторая по величине река Молдовы, протекающая вдоль западной границы страны, не столь многоводна как Днестр, берет свое начало в украинских Карпатах. По своему режиму, типу паводков, Прут тоже мало отличается от Днестра. Вода в Пруте схожа по качеству с днестровской. Низовья обеих рек на территории страны признаны водно-болотными угодьями международного значения (рамсарские угодья), хотя и подверглись в 1960–70-х годах обвалованию, а поймы – осушению в целях использования для интенсивного поливного земледелия.

Внутренние реки Молдовы по режиму очень отличаются от Днестра и Прута. Все они маловодны, летом сильно мелеют, а иногда полностью пересыхают, воду имеют довольно минерализованную, подчас непригодную для питья.

Мелкие реки Молдовы часто высыхают летом, чему содействует создание на них многочисленных прудов, нарушающих естествен-

ный ток воды, и распашка окружающих земель практически до уреза воды, что вызывает смыв почвы, заиление и органическое загрязнение. Нередки ночные сбросы отходов винного производства в малые реки. В 1950–60-х годах их меандры были спрямлены, а водоохраные зоны – разрушены. Вопреки требованиям законодательства не восстановлены эти зоны и сейчас, когда земли приватизированы. Кроме того, поскольку сельскохозяйственные угодья в целом по стране занимают более 76% территории, потери влаги от испарения чрезвычайно велики, а засухи повторяются с частотой один раз в несколько лет. В таких случаях, как правило, выращиваемая в русловых прудах рыба погибает от недостатка воды и заморов.

Большое значение имеют в Молдове грунтовые и артезианские воды. Всего там насчитывается около 2200 родников с хорошей питьевой водой. Подземные воды образуют несколько горизонтов, приуроченных к различным геологическим слоям. Для водоснабжения и частичного орошения больше всего используются воды меловых и палеогеновых отложений. Имеется более 7000 артезианских скважин. Однако их воды не везде высокого качества, подчас содержат много солей и при использовании на орошение могут вызвать засоление почвы. В этом случае она годится только для водопоев. В 2009 году к улучшенным системам водоснабжения имели доступ 55% населения: 1,958 млн человек из общего количества населения в 3,56 млн, без Приднестровья, в том числе 93% (1,4 млн) городского и 27% сельского (558 тыс.). В настоящее время в результате постепенного внедрения Протокола ЕЭК ООН по проблемам воды и здоровья ситуация постепенно улучшается. Этот вопрос, входящий в приоритеты Целей тысячелетия ООН, является одним из главных приоритетов молдавского правительства.

Самые близкие к земной поверхности грунтовые воды залегают в четвертичных отложениях. Эти воды очень разнообразны по своему качеству. Воду получают из шахтных колодцев, которых в Молдове насчитывается 101 862, и широко используют в быту. Как видно из данных табл. 1.29 о состоянии объектов водопользования, с качеством подземных вод существуют большие проблемы. Во-первых, примерно в четверти районов страны в подземных водах повышено содержание фтора, что вызывает заболевания зубов. Кроме того, в около 80% всех колодцев вода непригодна для питья в силу нитратного и нитритного загрязнения, связанного с просачиванием органических веществ из незащищенных выгребных ям туалетов и хлевов в подземные водоносные слои.

Приповерхностные грунтовые воды залегают на глубине 10–30 м. Из-за сравнительно малых осадков (табл. 1.30) их восстановление происходит в недостаточной мере. Глубокий слой составляет около 70% ресурсов грунтовых вод. Они залегают на глубине 50 м в северной части страны, 100–200 м – в центральной и от 200 до 2000 м – на юге страны. Естественное восстановление этого слоя ограничено, и его использование требует бережного подхода. В некоторых зонах аквиферы уже проявляются признаки истощения.

Поскольку и Днестр, и Прут являются трансграничными реками, по обоим их бассейнам с соседними странами – Украиной и Румынией –

Таблица 1.29. Состояние объектов водопользования Молдовы
(бюро статистики Молдовы, 2013)

Типы объектов	Функционируют, шт.	Взято проб на соответствие химическим нормам	Проб, не соответствующих химическим нормам	Взято проб на соответствие микробиологическим нормам	Проб, не соответствующих микробиологическим нормам
Централизованные подземные источники	2182	1575	1127	1497	164
Централизованные поверхностные источники	8	126	38	81	17
Городские водопроводы из подземных источников	43	2409	1077	3197	337
Городские водопроводы из поверхностных источников	32	1826	151	2183	17
Сельские водопроводы	745	2635	1569	4150	580
Колодцы	101 862	5633	4652	6542	2577

Таблица 1.30. годовое количество осадков в Молдове, мм
(бюро статистики Молдовы, 2013)

Регион страны	Год		
	2010	2011	2012
Север	960	439	552
Центр	734	428	522
Юг	699	371	595

заключены международные соглашения. Так, в 2012 году Молдова и Украина подписали межправительственный бассейновый договор по Днестру очень хорошего качества, который охватывает практически все аспекты интегрированного управления его бассейном. К сожалению, по состоянию на сентябрь 2014 года этот документ не вступил в силу, поскольку не ратифицирован Украиной. По бассейну Прута и Дуная действует соглашение 2010 года, однако его качество и комплексность уступают днестровскому договору, в том числе и потому, что сторонами являются лишь Молдова и Румыния, а Украина не была приглашена к участию в нем. Оба договора предусматривают создание международных бассейновых комиссий. Кроме того, Молдова является стороной Хельсинкской конвенции по трансграничным водам ЕЭК ООН и Дунайской конвенции, так как ей принадлежит около 500 м берега Дуная и крупный трансграничный приток Дуная Прут. В настоящее время Молдова подписала Соглашение об ассоциировании с Европейским Союзом и приняла на себя обязательства по внедрению Водной рамочной директивы ЕС (ВРД). В 2013 году вступил в силу Закон о воде, основанный на ВРД.

Таблица 1.31. Основные показатели использования пресной воды, млн м³ в год (бюро статистики Молдовы, 2013)

Показатель	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Забор воды, всего	852	854	885	861	865	851	847	850
в том числе из подземных источников	136	136	129	127	129	130	130	129
Потребление воды	785	787	809	794	795	785	785	786
Потери при транспортировке	67	67	76	67	70	66	62	64
Сброс загрязненных вод	9	7	10	14	10	8	8	9
Сброс нормативно-чистых вод	124	119	119	115	116	119	115	113

Таблица 1.32. Водозабор из бассейнов рек Днестр и Прут в 2012 году, млн м³ в год (бюро статистики Молдовы, 2013)

Бассейны рек	Забор, всего	Включая подземные воды
Днестр	814,9	107,8
Прут	24,2	12,5

Таким образом, реформа в водохозяйственном комплексе еще не завершена. Поскольку Молдова сильно зависит от состояния трансграничных рек, следует завершить модернизацию водных отношений с соседями по бассейнам. Тем не менее в настоящее время идет разработка бассейновых планов управления водными ресурсами, которые должны быть утверждены в ближайшие два года с перспективой пересмотра через 6 лет после принятия.

Основные показатели использования пресной воды (млн. м³/год) представлены в таблице 1.31. Главными источниками пресной воды являются реки Днестр и Прут (табл. 1.32) Использование воды для ирригации в последнее время значительно уменьшилось. Проблемой является доступность воды на территориях, удаленных от ее источников, особенно в сельской местности. При этом в ближайшее время вдоль Днестра и Прута вступят в действие 11 мощных оросительных систем, сооружаемых в рамках американской программы технической помощи Compact. Кроме того, прогнозируется вызванное изменением климата постепенное снижение стока крупных рек, примерно на 20% за последующие 20–25 лет.

Следует отметить, что благодаря введению учета и существенной платы за использование водных ресурсов пользователями удалось достигнуть их существенной экономии. Однако в этом вопросе есть еще множество резервов. Так, не все артезианские скважины учтены. Структуры, ответственные за водоснабжение, малоэффективны и требуют реформирования.

Литература к разделу 1.2.3.7

- Назифов Ш.Г., 2012. Водные ресурсы Таджикистана. Душанбе.
- Мухаббатов Х., 2010. Проблемы водопотребления в Республике Таджикистан. Душанбе.
- Ca-Water info, 2013. Информация БВО “Сырдарья”, 2013.
- ЕЕА, 2011. <http://www.eea.europa.eu/publications/european-waters-assessment-2012>
- UNEP, 2007. Безопасность плотин в Центральной Азии: создание потенциала и региональное сотрудничество, ООН, Женева. http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/documents/Water_Series_Publication5_r.pdf
- UNEP, 2010. Второй Обзор результативности экологической деятельности Кыргызстана, Женева. <http://www.unep.org/?id=14802&L=2>
- UNEP, 2013. Национальный диалог по водной политике в Кыргызстане в сфере интегрированного управления водными ресурсами, 2013. Процесс и результаты за 2008–2013 годы. Бишкек. http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/NPD_meetings/2013/Kyrgyzstan/pb_rus.pdf
- ЕЕА, 2012: The European environment – state and outlook 2010.
- NIVA, 2008. Exceedances of critical loads for acidification of surface water and soil and for nitrogen effects on vegetation in Norway 2002–2006, NIVA report 5697-2008.
- Statistics Norway, 2009: Natural Resources and the Environment. Statistics Norway. <http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/sa109/sa109.pdf>
- Издание Министерства мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан Душанбе, 2010.
- Минприрод РФ, 2013: Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году”. М., с. 15. <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cef/gosdoklad%20za%202012%20god.pdf>
- Росстат, 2013. Российский статистический ежегодник. Стат. сб. М., с. 64.
- Состояние окружающей среды Республики Беларусь: нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, 2010, гос. науч. учр-е “Ин-т природопользования Нац. Академ. наук Беларуси”. Минск : Белтаможсервис, 150 с. http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/000597_79443_part_0.pdf
- Коробов Р. и др., 2014. Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра. Кишинев: Eco-TIRAS, 326 с. <http://eco-tiras.org/docs/ecotirasFinal-small.pdf>
- UNEP, 2010. Национальный доклад Республики Молдова о выполнении Протокола ЕЭК ООН по проблемам воды и здоровья. http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/water/Protocol_reports/reports_pdf_web/Moldova_summary_report_rus.pdf
- Бюро статистики, 2013. Природные ресурсы и окружающая среда в Республике Молдова, статистический отчет за 2013 год. Кишинев: Национальное бюро статистики, 108 с.
- Ca-Water info, 2011. 6-й Всемирный водный форум сессия “Вклад Центральной Азии в решение водных проблем на глобальном уровне”, Алма-Ата. <http://www.cawater-info.net/6wwf/pdf/ca-specific-priorities-targets-solutions.pdf>
- UNEP, 2014. 3rd Environmental Performance Review of Republic of Moldova. <http://www.unep.org/index.php?id=35481>

1.3. РОЛЬ ВОДЫ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты – сама жизнь.

Ты наполняешь нас радостью, которую не объяснить нашими чувствами.

Антуан де Сент-Экзюпери

Вода! Ты – величайшее в мире богатство, но и самое непрочное – ты, столь чистая в недрах земли.

Можно умереть подле источника, если в нем есть примесь магния.

Можно умереть в двух шагах от солончакового озера.

Можно умереть, хоть и есть два литра росы, если в нее попали какие-то соли.

Ты не терпишь примесей, не выносишь ничего чужеродного, ты – божество, которое так легко спугнуть...

Но ты даешь нам бесконечно простое счастье.

Антуан де Сент-Экзюпери

Для человеческого организма вода – это второе по значимости вещество после кислорода и самый большой по объему потребления “продукт питания” в рационе человека. Вода – это универсальное вещество, без которого невозможна жизнь, вода является непременной составляющей частью всего живого. В растениях содержится до 90% воды, а в теле взрослого человека – около 70%.

Вода увлажняет воздух при дыхании, активно участвует в химических реакциях, проходящих в нашем теле, обеспечивает доставку питательных веществ и кислорода по всем клеткам тела, защищает и буферизирует жизненно важные органы, помогает преобразовывать пищу в энергию, выводит токсины, излишки солей и отходы процессов жизнедеятельности, содействует понижению кровяного давления. Вода тесно связана с минеральным обменом веществ, принимает участие в набухании коллоидов, обеспечивает осмотическое и коллоидно-осмотическое давление (вместе с минеральными веществами), влияет на секреторную функцию желез. Неслучайно человек может жить без пищи более 4 недель, а без воды – не более 7 дней.

При потере воды в количестве менее 2% веса тела человека (1–1,5 литра) появляется чувство жажды, при утрате 6–8% наступает полуморочное состояние, при 10% – галлюцинации, нарушение процесса глотания. Потеря 10–20% уже смертельно опасно для жизни. Потребление воды в избыточных количествах также опасно, так как ведет к пере-

грузке сердечно-сосудистой системы: происходит обильное потоотделение, которое приводит к обессоливанию и ослаблению организма.

Интересно, что вода является своеобразным индикатором старения. Тело ребенка от рождения до годовалого возраста содержит 80–85% воды. При достижении 18 лет содержание воды уменьшается до 65–70%, а в старости – до 25–30%. Многие ученые склоняются к мысли, что в обеспечении организма человека качественной водой в количестве, необходимом для нормального обмена веществ, заключается секрет продления молодости.

Биологи иногда шутят, что вода “изобрела” человека как средство передвижения. И это похоже на правду, ведь, как отмечено выше, основным компонентом нашего организма является именно вода. На этот счет есть прекрасная метафора Дюбуа: “Живой организм – это одушевленная вода”.

Достаточное поступление воды в организм является одним из основных условий здорового образа жизни. Вода как бы “смазывает” суставы, выполняя тем самым роль амортизатора для спинного мозга, а также регулирует температуру тела (терморегуляция) и обеспечивает эластичность кожи. Потребление достаточного количества воды – это один из лучших способов предотвратить образование камней в почках. Вода необходима для нормального пищеварения. Участвуя в обмене веществ, вода уменьшает жировые накопления и снижает вес.

Кстати, многие из тех, кто хочет похудеть, ошибочно считают, что их организм удерживает воду, и стараются как можно меньше ее пить. Однако вода является естественным мочегонным средством, и если вы действительно хотите похудеть, то самый лучший способ – пить больше воды. Это позволит снизить аппетит, и вы сможете легко отказываться от тяжелой, высококалорийной пищи и придерживаться диеты.

Определенное и постоянное содержание воды – одно из необходимых условий существования живого организма. Недостаточное потребление воды нарушает нормальную жизнедеятельность организма: появляется усталость, снижается работоспособность, разлаживается пищеварение и усвоение пищи, замедляется течение биохимических реакций, увеличивается вязкость крови, что способствует образованию тромбов, тормозится процесс кроветворения. Поскольку мозг на 75% состоит из воды, даже небольшое его обезвоживание вызывает у клеток мозга сильнейший стресс. Без воды невозможна регуляция теплообмена организма с окружающей средой и поддержание постоянной температуры тела.

Обезвоживание, дефицит воды в организме крайне негативно влияет на все его важнейшие функции, ослабляя его и делая уязвимым для болезней. Хроническое же обезвоживание является одной из основных причин многих заболеваний человека: астмы, аллергии, гипертонии, избыточного веса, некоторых психофизических и эмоциональных проблем, в том числе депрессии.

Потребность в воде зависит от характера питания, трудовой деятельности, состояния здоровья, культурных традиций, возраста, климата и других факторов. Так, к примеру, потребность в воде взрослого человека,

проживающего в условиях средней климатической полосы, 2,5–3 литра в сутки. В США нормой считается 1 литр воды на 1000 килокалорий рациона питания.

Специалисты-нутрициологи (нутрициология – наука о питании) подсчитали, что часть воды (1,5–2 литра) человек потребляет (или должен потреблять) с пищей и напитками, около 3% (0,3 литра) воды образуется в результате биохимических процессов в самом организме. Остальное составляет вода, поступающая в организм в виде твердой и вроде бы “сухой” пищи. Но даже “сухая” пища на 50–60% состоит из воды.

Потребность в воде увеличивается в среднем:

- на 10% при повышении температуры тела на каждый градус выше 37°C;
- при физической работе средней тяжести – до 4–5 литров в день;
- при тяжелой физической работе на открытом воздухе – до 6 литров, а при работе в горячих цехах может увеличиваться и до 15 литров.

К сожалению, многие люди, как показала практика, выпивают лишь одну треть необходимого количества жидкости, а свои недомогания никак не связывают с недостатком воды. Вообще-то первые признаки обезвоживания организма хорошо известны, только не все обращают на них внимание. Так, если начала сохнуть и шелушиться кожа, чувствуется усталость, появилась вялость, головная боль, головокружение, боли в спине и суставах, понизилась работоспособность – это и есть сигналы SOS, которые подает организм: не хватает воды!

Огромное значение для здорового функционирования человеческого организма имеет качество поступающей в него воды. Вода, которую потребляет человек, должна быть чистой. Болезни, передаваемые через загрязненную воду, ухудшают здоровье и нередко приводят к инвалидности и гибели большого числа людей, особенно детей, преимущественно в менее развитых странах, обычным для которых является низкий уровень личной и коммунальной гигиены. Такие болезни, как брюшной тиф, дизентерия, холера, анкилостомоз, передаются человеку прежде всего в результате загрязнения водоемов экскрементами, выделяемыми из организма больных.

Качество воды определяется также наличием в ней химических включений, которые раньше всех обнаруживают наши органы чувств: обоняние, зрение. Так, микропримеси меди придают воде некоторую мутность, железа – красноту.

К наиболее распространенным загрязнителям воды (содержание компонентов превышает нормативы) можно отнести железо, сульфиды, фториды, соли кальция и магния, органические соединения и др.

Токсичность вышеназванных компонентов не настолько велика, чтобы вызвать острое отравление, но при длительном употреблении воды, содержащей упомянутые вещества в концентрациях выше нормативных, может развиться хроническая интоксикация, приводящая в итоге к той или иной патологии.

Исследования условий жизни и питания долгожителей показали, что почти все они в продолжении жизни использовали чистую, мягкую,

маломинерализованную воду. Так, жители горных районов пользовались преимущественно ледниковой, талой, мягкой водой. Особенностью питьевой воды, например, в Японии является ее небольшая общая минерализация и низкое содержание кальция (до 15 мг/дм³). Это связано с тем, что Японские острова образовались из магматических пород. Продолжительность жизни японцев – наиболее высокая на планете. Эти факты еще раз подтверждают то, что один из факторов долгожительства – состав и качество воды.

В списке данных Всемирной организации охраны здоровья (ВООЗ) о средней продолжительности жизни верхние строки занимают страны двух типов: те, в которых сложились благоприятные по качеству воды природные условия – есть в достаточном количестве природная чистая маломинерализованная вода, и страны, где нет природной маломинерализованной питьевой воды, но государством установлены жесткие стандарты на питьевую воду (с контролем, как в США и в ряде других стран, качества воды по 87 показателям), которые соблюдают их, используя современные высокоэффективные технологии и оборудование для очистки воды. Следует добавить, что отличными качественными характеристиками обладают артезианские воды Юрского и Семанского горизонтов, которые образовались сотни миллионов лет тому назад на глубине более 220 метров и сберегли свою природную формулу и химический состав, отвечающий международным стандартам на питьевую воду.

И наконец, следует учитывать, что присутствие токсичных ингредиентов в воде может проявляться не только при поглощении воды внутрь, но и при всасывании через кожу в процессе гигиенических или оздоровительных процедур.

1.4. РОЛЬ ВОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Хотя в мире нет предмета, который был бы слабее и нежнее воды, но она может разрушить самый твердый предмет.

Лао-Цзы

Одним из основных потребителей воды является промышленность. В разных странах в зависимости от уровня их промышленного развития в промышленно-производственной деятельности используется от 10 до 60% воды от общего объема ее потребления.

Наибольшее количество воды используется в промышленности для получения горячей или перегретой воды и водяного пара (в теплоэнергетике) и для охлаждения различных агрегатов в химической, металлургической промышленности, в машиностроении и т.д. И лишь ~ 20% воды используется непосредственно в технологии приготовления продукции (выпечка хлеба, производство сахара, напитков, жидких моющих средств и т.п.)

Существует три основных вида потребления технической воды на промышленных предприятиях:

1. От 70 до 90% воды используется в качестве хладоагента или теплоносителя в теплообменных аппаратах или для защиты отдельных элементов установок от чрезмерного нагрева. Эта вода изменяет свою температуру, но не загрязняется.

2. От 5 до 17% технической воды используется для очистки продукции или сырья от примесей, а также в качестве транспортирующей среды. Эта вода загрязняется и нагревается, если материалы, с которыми она контактирует, имеют повышенную температуру.

3. От 10 до 20% технической воды теряется за счет испарения или входит в состав производственной продукции.

Особое место среди крупных потребителей воды занимает химическая промышленность. На ряде химических предприятий потребление воды превышает 1 млн м³ в сутки. Например, завод капроновых волокон расходует такое же количество воды, как и город с населением 400 тыс. человек. Превращение воды в один из важнейших элементов химического производства объясняется наличием у воды комплекса ценных свойств (высокая теплоемкость, малая вязкость, низкая температура кипения), доступностью (общее количество воды на Земле составляет $1,386 \cdot 10^{18}$ м³) и относительной дешевизной (затраты исключительно на извлечение и очистку), нетоксичностью, удобством использования в производстве и транспортировке.

В химической промышленности вода используется в следующих направлениях: в качестве растворителя твердых, жидких и газообразных

веществ; как промывная жидкость для газов; как экстрагент и абсорбент различных веществ; как и во многих других производствах – в качестве теплоносителя (в виде горячей воды и пара) и хладоагента; в качестве сырья и реагентов для производства различной химической продукции (водорода, серной, азотной, фосфорной, соляной, плавиковой, органических кислот, щелочей, ацетилена и др.).

Качественные показатели воды, которая используется в промышленности, строго или менее строго, в зависимости от предназначения ее или типа производства, регламентируется по жесткости, содержанию, рН, окисляемости, прозрачности, цвету и др.

Расчетная потребность промышленного предприятия в технической воде в значительной мере зависит от типа используемого оборудования и принятой схемы технологического процесса. Полученные в результате обработки и осреднения данные о величинах удельных расходов воды той или иной отраслью промышленности приведены в табл. 1.33.

Указанные расходы технической воды имеют существенный разброс, поскольку не в полной мере учитывают специфику каждого конкретного предприятия, его устарелость или технологическое совершенство, наличие или отсутствие водооборотной системы и пр. Поэтому они могут рассматриваться только в ориентировочном плане.

Таблица 1.33. Удельный расход воды разными отраслями промышленности

Промышленное предприятие	Единица измерения готовой продукции	Удельный расход воды, м ³
Металлургический комбинат	1 т стали	30–245
	1 т чугуна	40–270
Трубопрокатный завод	1 т труб	7–130
Завод по производству аммиака	1 т аммиака	1000–1500
Завод по производству азотной кислоты	1 т кислоты	180–200
Завод по выплавке меди	1 т меди	180–310
Завод по выплавке свинца	1 т свинца	170–180
Содовый завод	1 т соды	95–115
Целлюлозно-бумажный комбинат	1 т продукта	320–1300
Меховая фабрика	1 тысяча шкур овчины	208–289
Валяльно-войлочная фабрика	1 т изделий	40–96
Льнокомбинат	1 т ткани	190–350
Пряжкрасильное производство	1 т пряжи	150–300
Прядильная фабрика	1 т пряжи	60–210
Ситценабивная фабрика	1 т изделий	200–250
Клееварочное производство	1 т продукции	120–400
Нефтехимический завод	1 т нефти	0,12–22
Завод синтетического волокна	1 т волокна	до 1000
Завод синтетического каучука	1 т продукции	1500–1600
Тепловая электростанция	1000 кВт/час	до 6 (испарение воды)

По экономическим соображениям, по экологическим требованиям, а также из-за ограниченности запасов воды в природных источниках на промышленных предприятиях появляется необходимость в сооружении оборотных систем технического водоснабжения, в которых вода может использоваться многократно.

В зависимости от изменения качества воды в процессе ее использования оборотное водоснабжение подразделяется на следующие группы:

1. “Чистые циклы” – для воды, которая при использовании только нагревается (перед возвратом охлаждается в градирнях, бассейнах и т.п.).

2. “Грязные циклы” – для воды, которая только загрязняется (перед возвратом очищается в специальных очистных сооружениях).

3. “Смешанные циклы” – для воды, которая при использовании одновременно и нагревается, и загрязняется.

Для промышленных предприятий первой группы техническая вода регламентируется по предельной температуре; оптимальная температура 15–20 °С. В системах оборотного водоснабжения карбонатная жесткость воды, используемой как хладоноситель, не должна превышать 2,8–3,0 мг-экв/дм³, а допустимая концентрация взвеси (принимается в зависимости от скорости движения воды в охлаждающих устройствах) 50–100 мг/дм³. Сульфатов не должно быть больше 40, сероводорода 0,5, масел 1–2, кислорода 4–6, сухого остатка 1000 (мг/кг), мг/дм³.

Вода, используемая для отмывания и гидротранспортирования материалов, освобождается только от грубодисперсной взвеси (потребители второй группы).

Для потребителей третьей группы оборотная вода должна химически очищаться и общая ее минерализация (содержание солей) не должна превышать 100–2000 мг/кг в зависимости от давления вырабатываемого пара.

Большинство потребителей технической воды (кроме предприятий пищевой, фармацевтической промышленности, производств особо чистой продукции и др.) не предъявляют особых требований к ее цвету, запаху, привкусу, содержанию бактерий.

Водооборотные циклы в промышленности являются важным фактором рационального использования водных ресурсов. В этих циклах осуществляется многократное использование воды без сброса загрязненных стоков в водоемы, а потребление свежей воды для ее восполнения ограничено только технологическими превращениями и естественными потерями. В условиях ограниченности запасов пресной воды оборотные и повторные системы водоиспользования в промышленности являются важным фактором многократной экономии воды.

Водооборотные циклы могут приносить и дополнительный экономический эффект: например, оборотная система тепловых электростанций может снабжать теплом сельскохозяйственные теплицы на протяжении всего года.

Источником экономии воды в промышленности является переход на более прогрессивные технологии производства: с применением газоздушных систем охлаждения оборудования и сред, с внедрением без-

водных систем производства, с заменой водяного охлаждения на масло-эмульсионное. Например, при внедрении на нефтехимическом производстве систем воздушного охлаждения оборудования расход воды из расчета на 1 т нефти сокращается с 18–22 до 0,12 м³.

Важной задачей является и сокращение (или прекращение) потребления в промышленности водопроводной воды питьевых кондиций. Для этого необходимо всемерно расширять сети технических водопроводов, что существенно снизит себестоимость потребляемой промышленностью воды.

Большими и большей частью безвозвратными расходами воды отличается и орошаемое земледелие. Чтобы вырастить, например, 1 т хлопка требуется 4–5 тыс. м³ пресной воды, 1 т риса – 8 тыс. м³. Водопотребление на орошение сельскохозяйственных культур зависит от трех факторов: площадей полива, состава культур и техники полива.

Неэкономным способом полива следует признать дождевание. Оросительные системы (каналы, арыки) имеют низкий коэффициент полезного действия (КПД) – не выше 0,6. В них много воды просачивается в почву, поднимая уровень грунтовых вод, вызывая засоление почвы. Следует совершенствовать оросительные сети, бетонируя их каналы, применяя закрытый дренаж. Но более существенных сокращений потерь воды можно достичь использованием прогрессивных способов полива: капельного орошения, предпочвенного и мелкодисперсного полива и др.

В производственной деятельности людей используется и хозяйственно-питьевое водоснабжение: для утоления жажды работающих, для приготовления пищи и мытья посуды, для помывки работников в душевых и умывальных установках, для стирки спецодежды в прачечных, для уборки производственных помещений, для полива зеленых насаждений, тротуаров.

1.5. ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Вода – красота всей природы. Вода жива, она бежит или волнуется ветром, она движется и дает жизнь и движение всему ее окружающему.

С.А. Аксаков

1.5.1. ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Рисунок 1.41 иллюстрирует многообразие водных проблем в мире. В дополнение к показателю “нагрузка на воду” на рисунке также приведены некоторые глобальные вопросы, связанные с пресной водой во всем мире.

Как видно из приведенных выше данных, дефицит пресной воды является серьезной проблемой во многих регионах мира. Ситуация будет еще более ухудшаться из-за урбанизации, роста населения и воздействия неблагоприятных изменений климата. На рис. 1.42 приводится уменьшение водообеспеченности в разрезе материков в 2030 году по сравнению с 1995 годом.

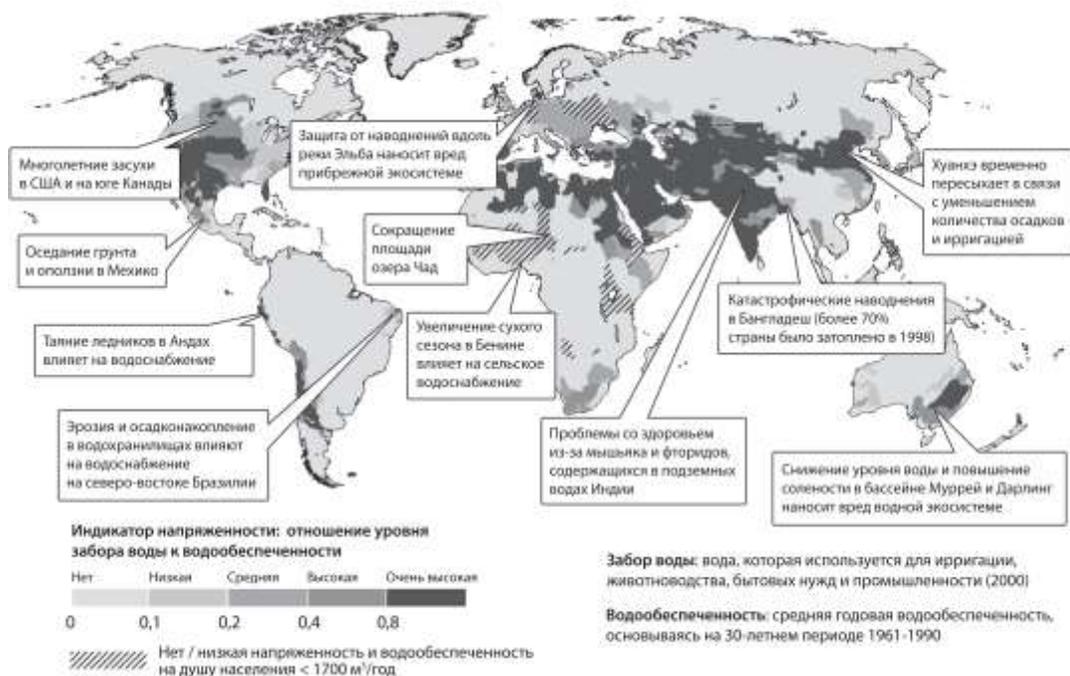


Рисунок 1.41.

Примеры водных проблем мирового масштаба (IPCC, 2008)

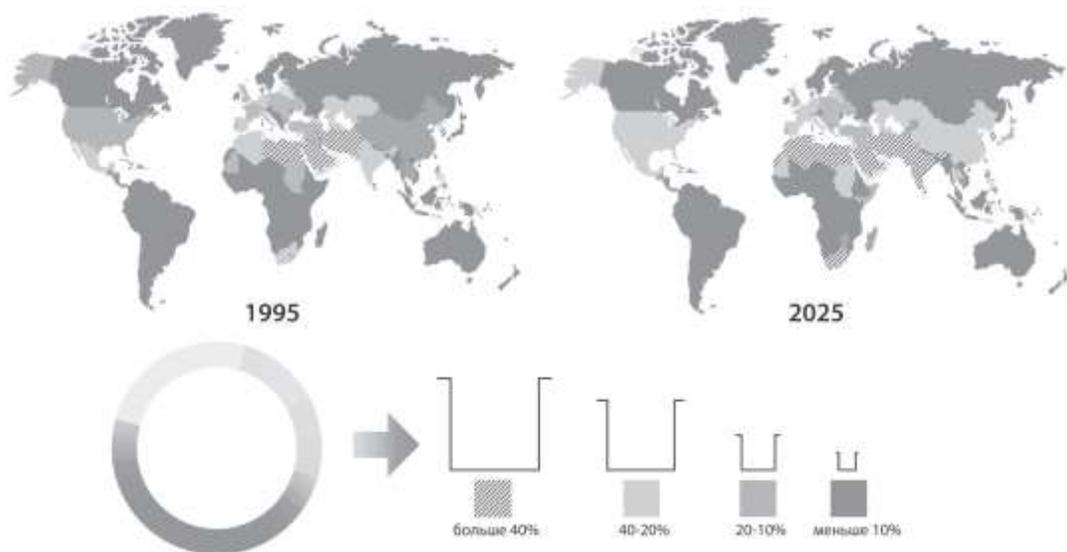


Рисунок 1.42.

Изменение водообеспеченности в 1995 и 2025 годах (UNWater, 2005)

1.5.1.1. Водные проблемы в мире

Во многих частях мира грунтовые воды являются основным источником для бытового и промышленного использования. Как показано на рис. 1.43, несколько стран извлекают и используют пресной воды больше, чем происходит пополнение ее запасов, это приводит к истощению грунтовых вод с катастрофическими последствиями. В частности,

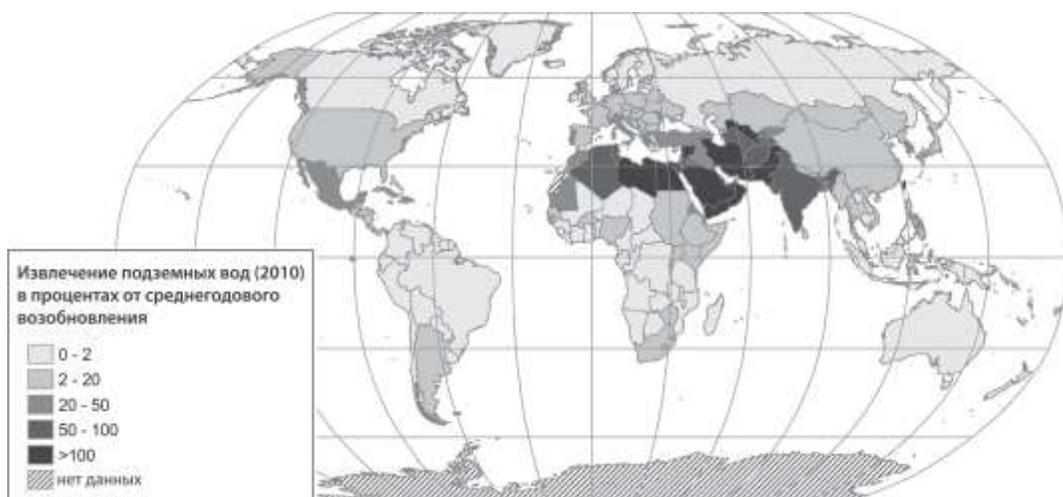


Рисунок 1.43.

Извлечение подземных вод в процентах от среднегодового возобновления (UNESCO, 2012)

в некоторых прибрежных регионах мира результатом подобной несбалансированности становится проникновение соленых вод в подземные резервуары пресных вод.

Кроме того, само качество грунтовых и подземных вод претерпевает опасные изменения. В них возрастает содержание мышьяка, фтора, нитратов, железа и других загрязнителей. Например, 90% населения в Бангладеш использует именно подземные воды для питья и, таким образом, 77 миллионов ее жителей находятся под угрозой отравления мышьяком. Проблемой для водных систем во всем мире являются и азотные удобрения – один из основных источников загрязнения подземных вод нитратами и нитритами.

Что касается поверхностных вод, то ухудшение их качества является проблемой во всех частях мира. 750 миллионов населения земного шара по-прежнему не имеют доступа к безопасной питьевой воде (рис. 1.44). Ежегодно 1,8 миллиона человек, в том числе 1,5 миллиона детей в возрасте до пяти лет, умирают от желудочно-кишечных заболеваний, вызван-

Рисунок 1.44.

Доступ к источникам воды более высокого качества, % от численности населения (UN, 2013)



ных водой. Более 50 стран до сих пор сообщают о случаях холеры и около 200 миллионов человек ежегодно заражаются другими заболеваниями, передающимися через воду (ВОЗ, 2010). По оценкам ООН, количество сточных вод, производимых ежегодно, составляет около 1500 км³, это в шесть раз больше, чем водонаполненность всех рек мира (WWAP ООН, 2003). Около 80% сточных вод в развивающихся странах сбрасываются в водные объекты без очистки (ВОЗ, 2011), в то время как промышленность ежегодно сбрасывает в водоемы 300–400 млн т тяжелых металлов, растворителей, токсичных шламов и др.

Содержание растворенного кислорода в воде является критическим показателем для водной флоры и фауны и может быстро уменьшаться из-за сброса неочищенных сточных вод. Рисунок 1.45 иллюстрирует значения БПК (биологическое потребление кислорода, который является индикатором на органические загрязнения в пресной воде) на различных континентах.

На рис. 1.46 представлены изменения содержания нитратов в мировых водах, отражающие нарастающее их загрязнение азотными удобре-

Рисунок 1.45.

Биологическое потребление кислорода (БПК) в мировых запасах воды (GRIDA-UNEP, 2008)

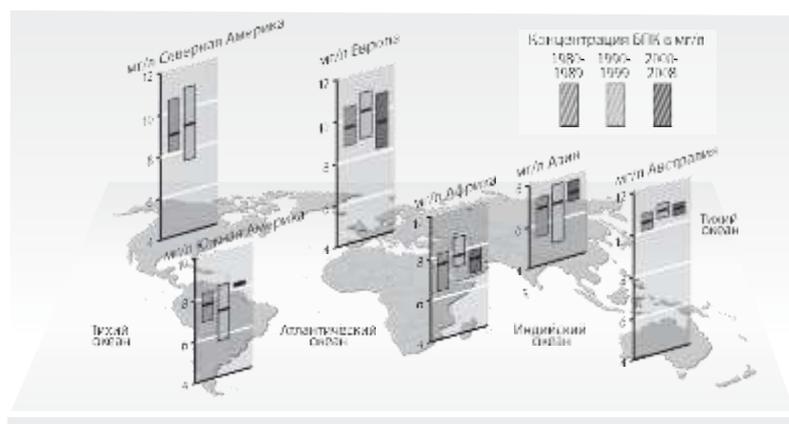


Рисунок 1.46.

Изменение уровня нитратов в мировых водах (GRIDA-UNEP, 2008)

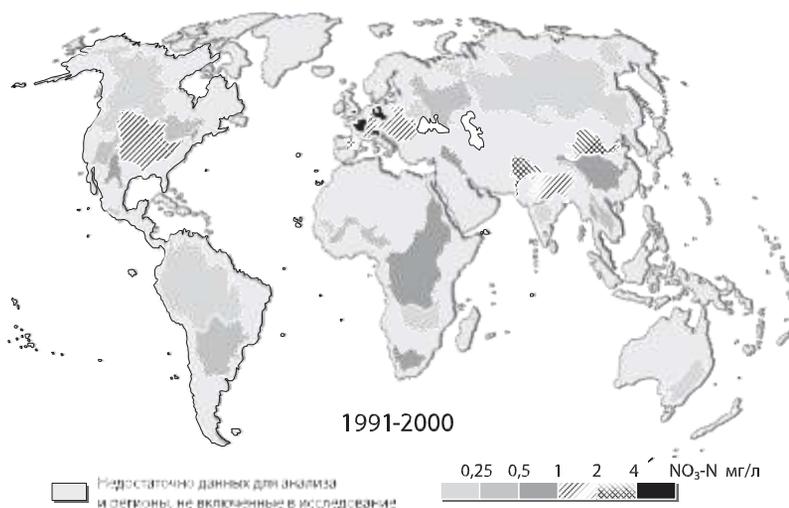
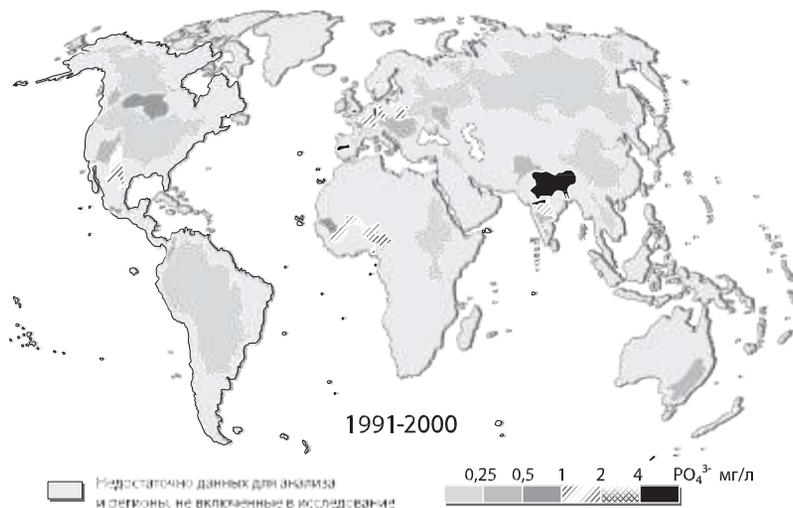


Рисунок 1.47.

Изменение
уровня фосфатов
в мировых водах
(GRIDA-UNEP, 2008)



ниями, применяемыми в сельском хозяйстве и мигрирующими в водоемы с последующей эвтрофикацией последних (зарастанием водоемов), что, естественно, существенно ухудшает качество воды.

На рис. 1.47 представлены изменения содержания фосфатов в мировых водах, свидетельствующие о возрастании их загрязнения бытовыми сточными водами и сельскохозяйственными миграционными и смывными стоками (соединения фосфора – растворимые ортофосфаты – тоже провоцируют эвтрофикацию водоемов).

1.5.1.2. Водные проблемы в Европе

В целом ситуация с водой в Европе не кажется критической, поскольку только 13% имеющихся запасов воды расходуется невозвратно (со сбалансированным пополнением). Однако проблема в том, что как ресурсы воды, так и население распределены по территории Европы неравномерно: есть области с серьезным дефицитом воды. Значение WEI¹ больше 20 представляет собой уже водный “стресс” (значительную нагрузку на воду). По сравнению с очевидно удовлетворительным уровнем WEI в Европе в целом (рис. 1.48), статистические данные показывают, что, например, на Кипре и в Болгарии значения WEI составляют 45% и 38% (и являются самыми высокими в Европе). Италия, Испания, страны бывшей Югославии, Македония и Мальта также имеют высокие значения WEI. Но даже эти значения не показывают реальный уровень нагрузки, с которой сталкиваются некоторые районы в Европе. Например, в то время как в Испании WEI составляет приблизительно 34%, южные бассейны рек Сегура и Андалусия имеют чрезвычайно высокие значения этого индекса – 164% и 127% соответственно. На рис. 1.49 представлено годовое использование воды в процентах от доступных возобновляемых водных

¹ WEI – индекс использования водных ресурсов (отношение годового водозабора к количеству возобновляемой воды).

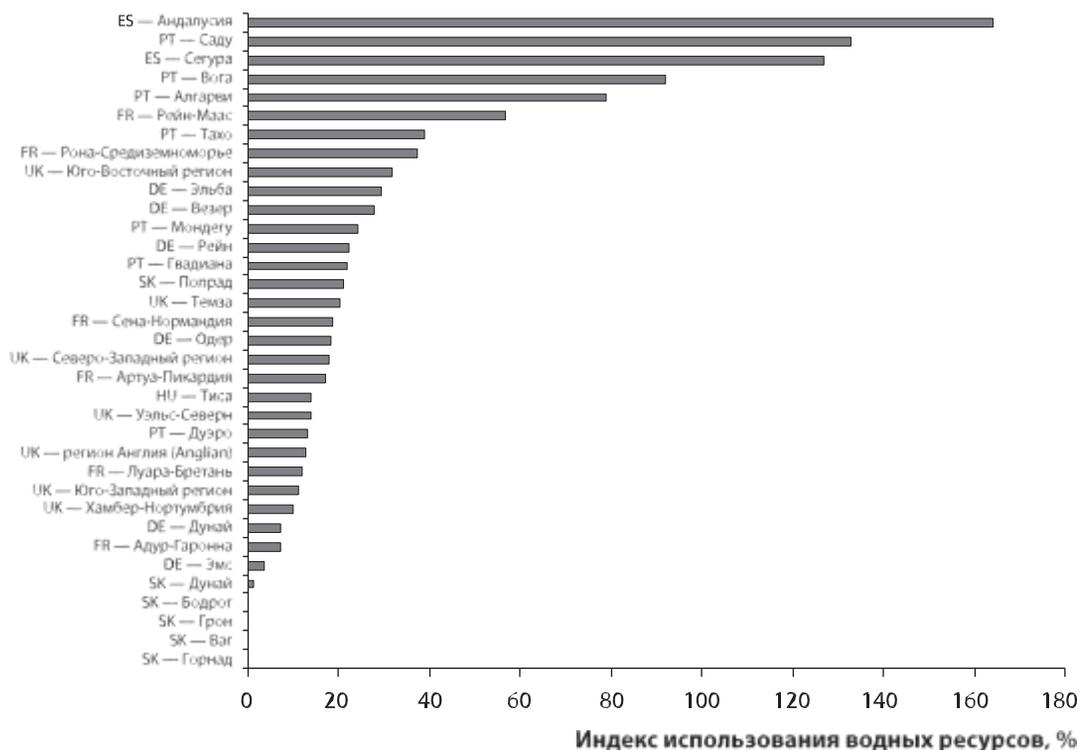


Рисунок 1.48.

Дефицит воды в европейских речных бассейнах, выраженный в WEI (EEA-2007)

ресурсов, показывающее, что степень и серьезность дефицита воды в национальных подрегионах могут быть гораздо выше, чем в среднем по Европе.

Загрязнение воды в Европе в основном вызвано бытовыми сточными водами и смывными и миграционными сельскохозяйственными стоками. На рис. 1.49 и 1.50 показаны концентрации ортофосфатов и нитратов в европейских водах. Кроме водных ресурсов скандинавских стран, концентрации этих веществ в природных водах Европы являются высокими.

Качество питьевой воды в европейских странах значительно различается. Рисунок 1.51 иллюстрирует основные проблемы с качеством воды в ряде европейских стран и представляет микробные, нитратные загрязнения, загрязнения тяжелыми металлами и токсичными веществами.

Ситуация улучшается с 2003 года, данные для которого представлены на рис. 1.51, но она до сих пор не достигла удовлетворительного уровня.

В Европе был разработан полный набор законодательных актов для защиты пресной воды от загрязнений, в том числе Водная Рамочная Директива. Полное соблюдение этого законодательства приведет к существенному улучшению качества воды, обеспечивая здоровые водные эко-

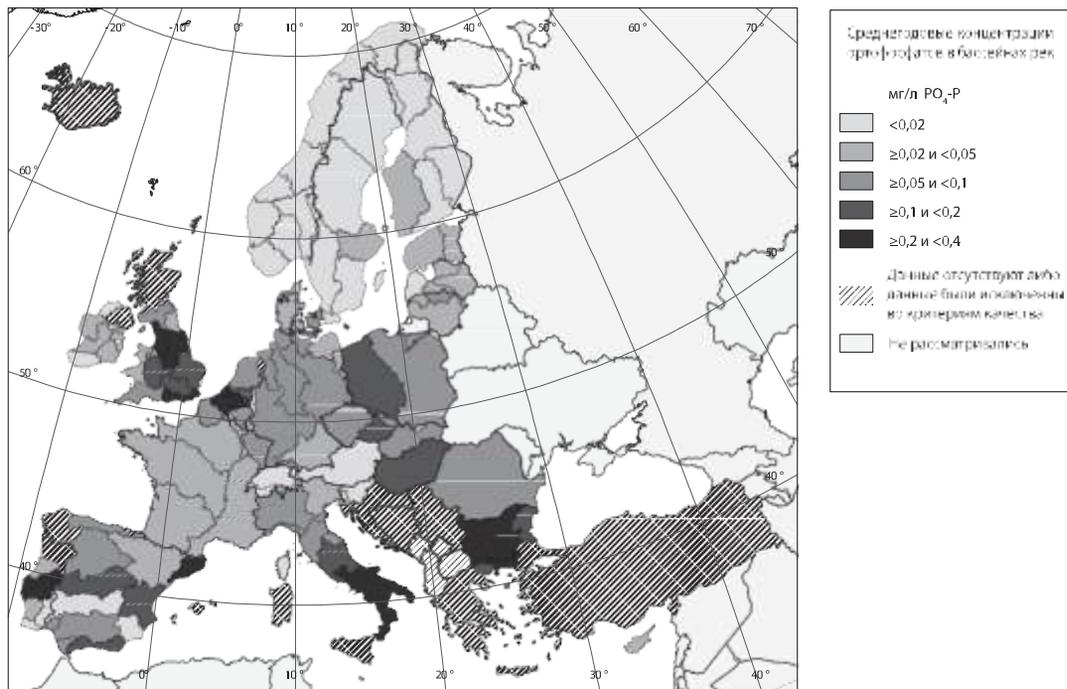


Рисунок 1.49.

Среднегодовые концентрации ортофосфатов в реках Европы (Eionet, 2012)

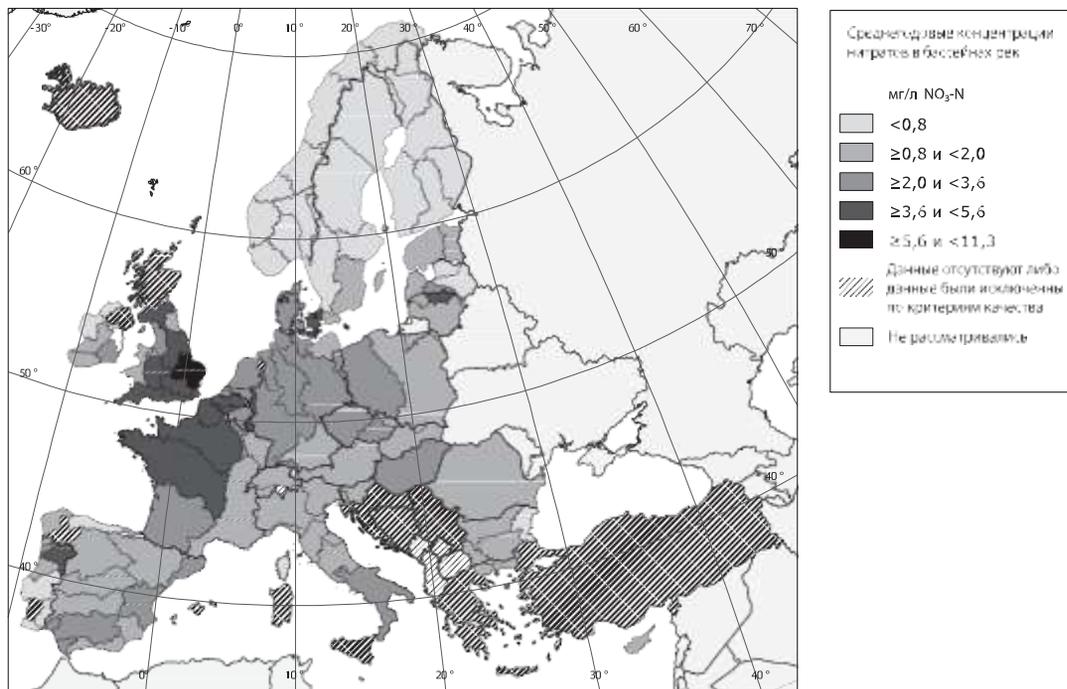
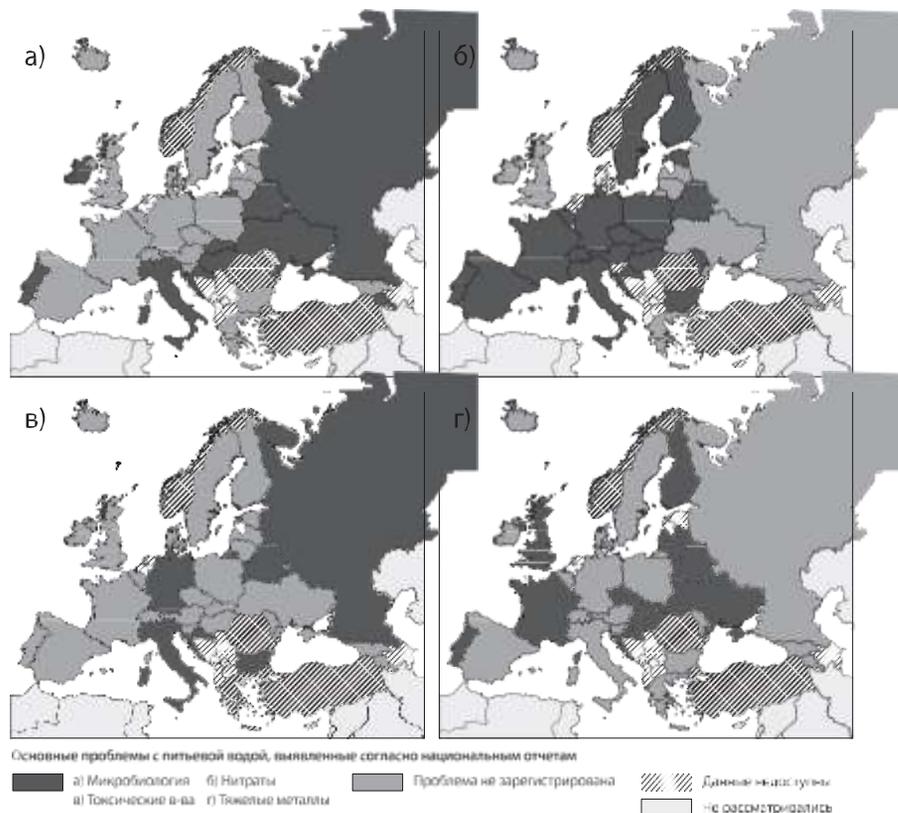


Рисунок 1.50.

Среднегодовые концентрации нитратов в реках Европы (Eionet, 2012)

Рисунок 1.51.

Основные проблемы
питьевой воды в
Европе (ЕЕА, 2003)



системы и снижая потенциальные угрозы для здоровья населения. Однако экономические затраты на реализацию намеченных задач будут зависеть от возможностей стран и их приоритетов. Изменение климата может вызвать ряд потенциально негативного воздействия на качество воды (Kundzewicz и соавт., 2007). Например, в регионах, где ожидается увеличение интенсивности осадков, возрастет уровень миграционных и смывных удобрительных и сельскохозяйственных загрязняющих веществ в пресной воде (Bougaoui и соавт., 2004, Бурман, 2003); кроме того, увеличится частота и тяжесть последствий от загрязненных городских ливневых стоков (Waters и соавт., 2003; Nie и др., 2009). Жаркое же сухое лето повысит процессы минерализации почвы, потенциально увеличивая уровень нитратов в пресной воде (Уайтхед и др., 2006); повышение температуры воды увеличит вероятность развития цианобактерий и водорослей (Paerl и Huisman, 2008; Battarbee и др., 2008). Кроме того, обедненные речные потоки снижают степень разбавления загрязнителей, что приводит к повышению концентрации загрязняющих веществ (Уайтхед и др., 2009; Ducharme 2008). Ожидается, что изменения качества воды, вызванные климатом, оказывают губительное влияние на пресноводные экосистемы [см. Евро-LIMPACS Project and Battarbee и соавт., 2008]. На некоторых территориях в Европе зарегистрировано также увеличение цветности природных вод, которые в основном связывают с изменением климата (Lilited и др., 2011).

1.5.1.3. Водные проблемы в Норвегии

Реки и озера Норвегии характеризуются весьма качественной и здоровой пресной водой, которая не испытывает такого антропогенного воздействия, как во многих странах Европы. Проблемы, тем не менее, имеются и могут еще возникнуть как результат гидроэнергетических строителей, урбанизации и сооружения (прокладки) новых дорог (ЕЕА-оценка стран, 2010).

Рисунок 1.52 иллюстрирует в целом довольно хорошее состояние норвежских водоемов. Светло-серые области, которые являются доминирующими, обозначают хорошее качество воды, и только на отдельных небольших участках качество воды плохое.

Влияние экологических факторов на норвежские реки и озера можно разделить на три основные группы:

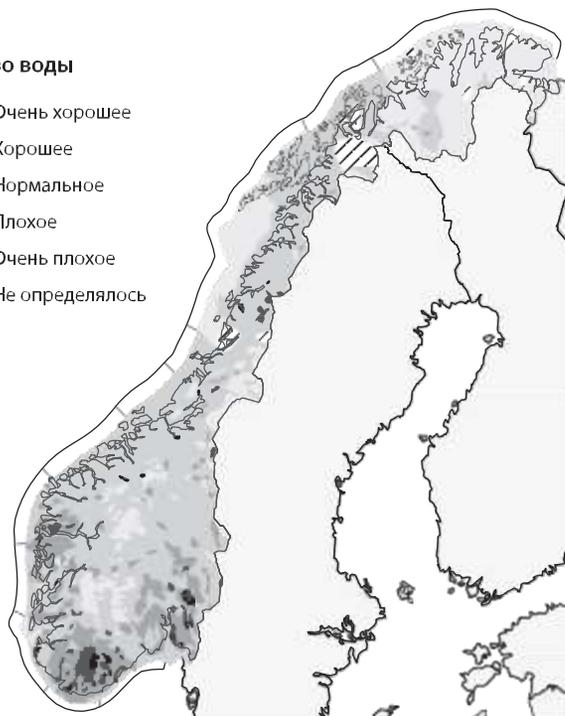
- *загрязнение*: включает в себя точечные источники, неорганизованные выбросы и трансграничное загрязнение, которое может привести к подкислению, эвтрофикации и распространению опасных веществ;
- *физические изменения*: в основном в результате развития гидроэнергетики и влияния транспортной инфраструктуры (создают барьеры для миграции рыб), а также канализационные сбросы в реки отходов сельского хозяйства;
- *биологическое давление*: включает внедрение чужеродных видов водной фауны, таких как пескари, уход выращенной рыбы, поражение рыбы, например лососей паразитами.

Рисунок 1.52.

Качество воды в озерах и реках Норвегии (Environment.no, 2013)

Качество воды

	Очень хорошее
	Хорошее
	Нормальное
	Плохое
	Очень плохое
	Не определялось



Наиболее существенное давление (влияние) на норвежские водоемы оказывают загрязнения с большим радиусом действия, морфологические изменения водных объектов и, наконец, загрязнения от сельскохозяйственных стоков и производственных сточных вод.

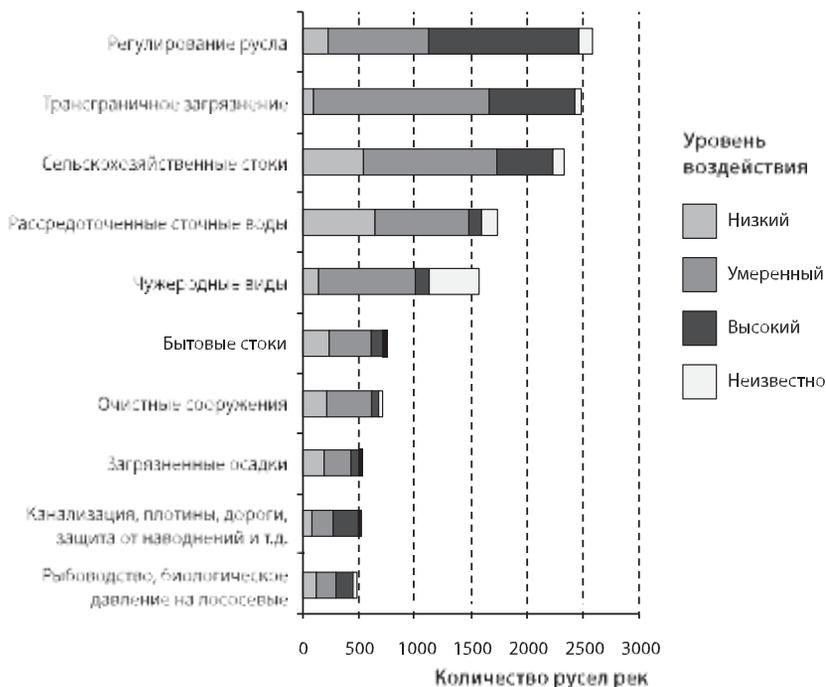
Развитие гидроэнергетики пока что не является основной проблемой водного хозяйства в Норвегии, но существующие планы могут создать определенную нежелательную нагрузку на водные системы. Гидрологические изменения в виде флуктуаций, обезвоживания рек и образования речных и озерных осадков снижают качество среды обитания человека, флоры и фауны и могут иметь смертельные последствия для ряда биологических видов. На рис. 1.53 приведены десять наиболее серьезных внешних воздействий на качество воды в Норвегии.

85% норвежского населения получает воду из поверхностных источников, что отличает Норвегию от других европейских и скандинавских стран. Для сравнения, водоснабжение Дании и Австрии 100%-но базируется на грунтовых водах.

Сравнительно хорошее качество поверхностных вод в Норвегии является одной из причин этой тенденции. Оценка очистных сооружений в Норвегии показала, что более 99% из них обеспечивают воду с удовлетворительными микробиологическими показателями. Правда, цветность воды, обусловленная наличием гумуса, создает некоторые сложности в водоочистных технологиях Норвегии, только для 82% такой воды удалось достигнуть требуемого уровня цвета. 94% используемой природной воды имеет приемлемый уровень кислотности, что тоже является отличительной чертой вод Норвегии и объясняется тем, что вода в стране очень мягкая (SSB, 2013).

Рисунок 1.53.

Десять наиболее важных воздействий на русла норвежских рек (ЕЕА, 2010)



1.5.1.4. Водные проблемы Украины

Практически все поверхностные источники водоснабжения Украины на протяжении последних десяти лет интенсивно загрязнялись. Из-за низкого качества очистки промышленных, сельскохозяйственных, бытовых, ливневых сточных вод поступления загрязненных стоков в поверхностные водоемы не уменьшается, хотя использование воды в хозяйственной деятельности по сравнению с началом 90-х годов XX столетия уменьшилось более чем вдвое.

Качество возвратных (сточных) вод в значительной степени не соответствует установленным нормативам ПДК. В ряде регионов Украины наблюдается некачественная работа очистных сооружений, а кое-где они совсем не работают.

Вместе с тем существует практика необоснованного увеличения нормативов ПДК (установление временных ПДК), которая позволяет водопользователям переводить сточные воды в категорию загрязненных нормативно очищенных, не изменяя при этом низкое качество технологических процессов очистки.

Основными загрязнителями водных объектов являются промышленные предприятия – энергетики, черной металлургии, угольной промышленности городов: Запорожья, Днепропетровска, Донецкой области и объекты жилищно-коммунального хозяйства – в основном коммунальные предприятия городов: Днепропетровска, Одессы и Львова.

Больше загрязненных вод сбрасывают водопользователи Днепропетровской, Донецкой, Луганской, Запорожской и Одесской областей.

1.5.1.5. Водные проблемы Республики Беларусь

Несмотря на относительно высокий уровень обеспеченности водными ресурсами, в Беларуси недостаточно эффективно функционируют инструменты практической реализации водохозяйственной политики. Требуется совершенствования нормативно-правовая база, координация действий всех заинтересованных сторон (уполномоченных государственных органов, субъектов хозяйствования, общественности) по рациональному использованию и охране водных ресурсов. Весьма остро стоит проблема загрязнения рек биогенными веществами и защиты их от эвтрофикации. Значительную антропогенную нагрузку испытывают подземные воды.

Деятельность по решению водных проблем в Беларуси осуществляется в рамках Комплексной программы рационального использования и охраны водных ресурсов, Государственной программы по водоснабжению и водоотведению “Чистая вода”, которая выполнялась в 2006–2010 годах. В настоящее время реализуется программа 2011–2015 годов, которая сориентирована на развитие систем питьевого водоснабжения и водоотведения, повышение качества подаваемой потребителям питьевой воды и очистку отводимых сточных вод, улучшение защиты подземных и поверхностных источников питьевого водоснабжения от загрязнения.

В последние 10 лет выполнен значительный объем работ по развитию централизованного водоснабжения и водоотведения. Однако остается нерешенным ряд проблем.

В настоящее время около 2 млн населения, охваченного централизованными системами водоснабжения, используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы. Вода из значительного числа источников нецентрализованного водоснабжения (в основном шахтные колодцы) не соответствует санитарным требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, что связано как с сельскохозяйственной деятельностью (внесение органических и минеральных удобрений), так и с нарушением санитарно-гигиенических правил при размещении, оборудовании и эксплуатации колодцев.

В Беларуси отмечается высокий физический износ очистных сооружений канализации, отсутствие современных технологий и оборудования для очистки сточных вод, в том числе от биогенных элементов (азота и фосфора), а также недостаточный уровень автоматизации и диспетчеризации технологических процессов. Очистные сооружения канализации построены преимущественно в 1970-е годы прошлого столетия и требуют проведения комплексной реконструкции и модернизации.

Острой нерешенной проблемой является сброс в централизованные системы водоотведения недостаточно очищенных производственных сточных вод вследствие неудовлетворительной работы локальных очистных сооружений, что не позволяет на очистных сооружениях канализации достигать нормативной степени очистки и приводит к увеличению содержания в осадках токсичных веществ, в частности тяжелых металлов. Осадки очистных сооружений канализации в Беларуси практически не используются.

1.5.1.6. Водные проблемы Республики Казахстан

Дефицит водных ресурсов является ключевой экологической проблемой, препятствующей устойчивому развитию Казахстана.

При современном низком уровне орошения водные ресурсы используются почти полностью, что является неблагоприятным фактором дальнейшего социального и экономического развития нашей республики. Географическое распределение потребностей в воде – обратное к источникам водных ресурсов. Подавляющая часть водопотребителей относится к зоне рассеивания стока, внутригодовой график потребностей в использовании воды резко различается для горных и равнинных территорий республики. Основным потребителем водных ресурсов является орошаемое земледелие, потребности в воде которого приходится на теплое время года. Часть воды после орошения возвращается в реки и используется неоднократно при нарастающем ухудшении ее качества от насыщения солями, находящимися в почве, и пестицидами. Это сказывается на здоровье людей, потребляющих воду в низовьях рек. На части территорий с недостаточным дренажем возникает вторичное засоление почв и их подтопление, что приводит к большим потерям земельных ресурсов. Снижение стока рек вследствие его забора на орошение, осушение приречных тугаев, дельт рек и дна Аральского моря, выклинивание возвратных вод на поверхность земли и другие процессы, связанные с ирригационным использованием воды, вызывают значительные, часто неблагоприятные изменения ландшафтов.

Состояние воды в республике характеризуется химическим составом добавок, содержанием соли, составом взвешенных частиц, температурой. Качество воды – это характеристика состава и свойств воды, определяющая возможность использования для целей хозяйственно-питьевого, культурно-бытового, рыбохозяйственного и технического назначения. В настоящее время в республике качество питьевой воды регламентируется ГОСТом 2874-82.

Интенсивное и нерациональное развитие орошаемого земледелия, а также зарегулирование стока в условиях аридного климата привело к дефициту воды в бассейнах малых и крупных рек, таких как Или, Сырдарья, Ишим и др. На наших глазах исчезло Аральское море. Аналогичная судьба ожидает озеро Балхаш.

При потребности республики в воде в 100 км³ в год существующая обеспеченность составляет 34,6 км³. По водообеспеченности на душу населения Казахстан занимает последнее место среди стран СНГ. Нехватка и неправильное использование ресурсов пресной воды создают серьезную угрозу устойчивому развитию и охране окружающей среды страны.

Качество вод практически всех водных объектов республики, несмотря на продолжающийся спад производства и уменьшения объемов отводимых сточных вод, остается неудовлетворительным. Площади очагов загрязнения подземных вод составляют от нескольких до сотен квадратных километров. В результате ухудшения качества природных вод в республике усиливается проблема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. Это, в свою очередь, приводит к увеличению инфекционной заболеваемости, появлению экологических беженцев и росту социальной напряженности.

1.5.1.7. Водные проблемы Республики Таджикистан

Сразу же после обретения суверенитета государства Центральной Азии заменили прежнюю централизованную систему управления водным хозяйством и энергетикой региона на совместную форму управления на основе межгосударственного сотрудничества. С этой целью они подписали в 1992 году *Соглашение о сотрудничестве в сфере совместного управления использованием и охраной водных ресурсов межгосударственных источников*.

В бассейне реки Сырдарья новые отношения проявились в согласовании режима выпусков воды из водохранилища Токтогульской ГЭС и в разработке механизмов компенсаций странам водосборного верховья за потери в выработке электроэнергии на их гидроэлектростанциях при ирригационном режиме подачи воды из водохранилищ. С этой целью Казахстан, Кыргызстан и Узбекистан подписали в 1998 году *Соглашение по использованию водно-энергетических ресурсов бассейна реки Сырдарья*, к которому через год присоединился Таджикистан.

Однако это соглашение в настоящее время не выполняется из-за отсутствия скоординированной политики в отношении использования трансграничных водных ресурсов и ведет к огромным экономическим потерям, ухудшению межгосударственных отношений, препятствует

восстановлению окружающей среды и ограничивает возможности развития интеграционных процессов в регионе.

Фактически сложившийся водозабор в Таджикистане составляет порядка 20% от объема, формирующегося в стране, и 11% от среднегогодового стока бассейна Аральского моря. Безвозвратный сток составляет порядка 35% от водозабора, что значительно меньше аналогичных показателей других стран региона и свидетельствует о наименьшем экологическом воздействии Таджикистана на водные ресурсы бассейна Аральского моря.

Ввиду наличия огромных гидроэнергетических ресурсов главным и приоритетным водопользованием в стране является гидроэнергетика.

В структуре водопотребления (по водозабору) доминирует орошаемое земледелие – до 84%, хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное водоснабжение – 8,5%; промышленность – 4,5%; рыбное хозяйство – 3% (рис. 1.54).

Водопотребление в ближайшие 10–15 лет и на дальнейшую перспективу будет зависеть от достижения устойчивого экономического развития, демографической ситуации, формирования и реализации системы жизненных стандартов и последовательного улучшения материального положения населения, развития всех отраслей экономики.

Продовольственная проблема становится все более острой, и решать ее придется за счет повышения продуктивности существующих угодий, в основном орошаемых, и освоения новых орошаемых площадей с доведением их до 1,6 млн га (табл. 1.34). Развитие промышленности,

Рисунок 1.54.

Доступ к питьевой воде в городах Республики Таджикистан (ПРООН, Душанбе 2012)

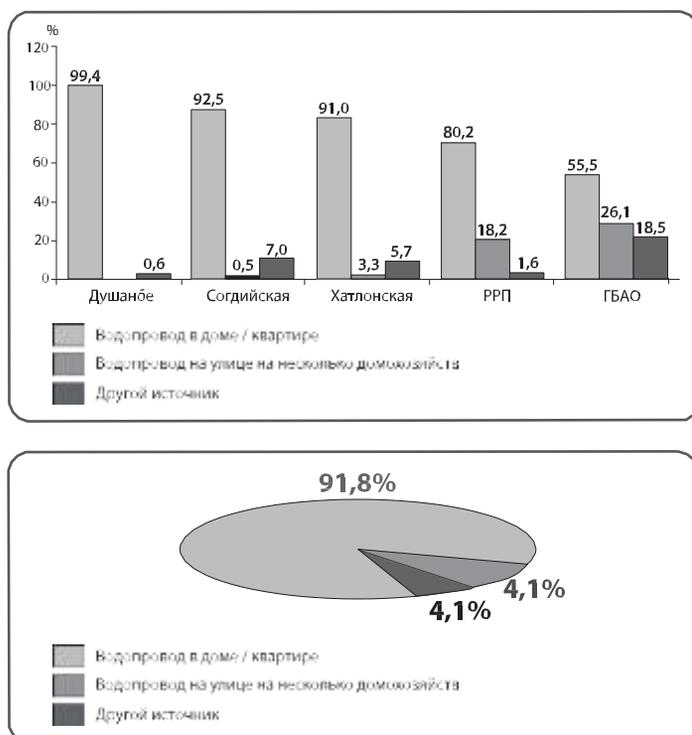


Таблица 1.34. Необходимая площадь орошаемых земель в Таджикистане для сохранения на одного жителя 0,1 га удельной площади (ММиВР РТ, Душанбе 2010)

Показатель	Площадь орошаемых земель по годам, тыс. га				
	2005	2010	2015	2020	2025
Рост орошаемой площади с учетом сохранения удельного размера на уровне 0,1 га/чел., тыс. га	732,41	744,37	830,00	895,00	965,00
Прирост орошаемой площади по пятилеткам, тыс. га		11,96	85,63	65,00	70,00

особенно горнодобывающей и перерабатывающей, также потребует дополнительного объема воды.

Перспективное водопотребление должно быть не менее 19–22 км³, что предусмотрено программами развития отраслей экономики Таджикистана и учтено при разработке новых принципов вододелия в Центрально-Азиатском регионе (рис. 1.55).

Уменьшение имеющихся к использованию водных ресурсов в сочетании с растущими потребностями в них, вероятно, приведет к усилению конкуренции за воду между государствами Центральной Азии.

Приграничный Афганистан, в частности, планирует увеличить использование собственного речного стока притоков реки Амударья и при-

Рисунок 1.55.

Трансграничные поверхностные воды в Центральной Азии (Zoi Environment Network, 2011)



ступить к созданию узконациональных проектов использования водных ресурсов. Например, планируется увеличение площади орошаемых земель до 1,5 млн га (15 тыс. км²), что существенно увеличит водозабор в Афганистане из транснациональных рек.

Немаловажная проблема состоит в том, что имеющиеся и строящиеся водохранилища Ферганской долины – главного стока реки Сырдарья – наполняются в основном трансграничными водными ресурсами (в значительно меньшей степени – ресурсами местного происхождения). И поэтому крайне важно сбалансировать использование и скоординировать управление совместными водными ресурсами между странами региона путем:

- совершенствования механизмов уведомления, т.е. механизмов с помощью которых страны могут уведомлять друг друга и согласовывать планы развития орошаемого земледелия, строительства плотин, совместно изучать последствий принимаемых решений;
- реализации принципов взаимного распределения выгод, обуславливающих взаимное экономическое развитие, экологическую устойчивость и стабильность в регионе. Для этого важно взаимное доверие, которое достигается путем постоянного и продуктивного диалога на всех уровнях;
- взаимоувязывания проблем и задач водных и энергетических ресурсов. Предыдущий опыт стран Центральной Азии, взаимодействующих на основе бартерных соглашений, оказался неудачным на реке Сырдарья. Поэтому следует рассматривать решения межгосударственных водных проблем на взаимовыгодных экономических основах.

В заключение отметим следующее:

1. Единственно возможным путем выживания стран Центральной Азии в условиях нарастающего дефицита воды является признание доктрины сотрудничества на основе справедливого и разумного использования совместных вод на базе внедрения в регионе Интернационального управления водными ресурсами.

2. Первоочередным направлением развития водно-энергетического сотрудничества стран Центральной Азии является решение вопроса об обмене информацией между странами и открытости информации в качестве средства повышения доверия между сопредельными странами.

3. Необходимо активизировать совместную работу отраслевых ведомств стран Центральной Азии в направлении создания интегрированных методов управления водными ресурсами с усилением экологических аспектов в управлении бассейнами трансграничных рек.

4. Следует отметить недостаточные меры по восстановлению и развитию сети Гидрометслужб пяти стран, особенно в части обеспечения устойчивой базы прогнозирования.

1.5.1.8. Водные проблемы Кыргызской Республики

Ключевые проблемы в водном секторе Кыргызстана следующие:

- ухудшение качества воды по микробиологическим и санитарно-химическим показателям в системах водоснабжения в ряде городов и в сельской местности;

- недостаточный доступ населения к централизованным системам питьевого водоснабжения и необходимость улучшения качества услуг водоснабжения;
- отсутствие всеобщего доступа к улучшенным системам водоотведения и санитарии;
- необходимость повсеместного улучшения качества очистки сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты из систем водоотведения;
- усиление тенденций ухудшения качества воды по санитарно-химическим и микробиологическим показателям безопасности в источниках водоснабжения;
- деградация хранилищ промышленных и сельскохозяйственных отходов и усиление тенденций загрязнения территорий отходами производства и потребления, отсутствие полигонов для захоронения токсичных не утилизируемых отходов.

Эти негативные тенденции обусловлены:

- отсутствием в КР планов безопасности питьевой воды, обеспеченных устойчивым финансированием и материально-техническими ресурсами;
- отсутствием национальной стратегии по охране водных источников;
- несовершенством нормативной и технической базы мониторинга качества подаваемой воды, в особенности в системах водоснабжения и водоотведения в сельской местности, и слабостью кадрового потенциала организаций, участвующих в ведении мониторинга;
- дефицитом инвестиций, выделяемых на цели содержания и развития инфраструктуры водоснабжения и водоотведения;
- технической деградацией инфраструктуры питьевого водоснабжения и водоотведения, прежде всего насосного оборудования, очистных и обеззараживающих сооружений, магистральной и распределительной водопроводной сети;
- отсутствием специализированных служб эксплуатации инфраструктуры водоснабжения и водоотведения в большинстве сельских населенных пунктов;
- нехваткой квалифицированного обслуживающего персонала, в особенности в специализированных службах эксплуатации инфраструктуры водоснабжения и водоотведения в малых городах и районных центрах;
- нерациональным использованием населением питьевой воды на поливы и другие цели, не связанные с питьевыми и бытовыми нуждами, вследствие слабой организации учета потребления воды и отсутствия эффективных мотиваций;
- недостаточной информированности населения и местных органов управления о проблемах и подходах к развитию инфраструктуры водоотведения и санитарии;
- недостаточной производительности части действующих очистных и обеззараживающих сооружений;
- недостаточной изученности влияния сбросных вод на состояние окружающей среды и водных объектов в зонах водопользования населения;

- деградацией наблюдательной сети, технической и институциональной базы мониторинга качества воды в источниках питьевого водоснабжения, в особенности на поверхностных, малых и отдаленных источниках;
- отсутствием единой национальной базы данных о состоянии и использовании поверхностных и подземных водных ресурсов по количественным и качественным показателям.

1.5.1.9. Водные проблемы Российской Федерации

Основными факторами нерационального использования водных ресурсов Российской Федерации являются:

- применение устаревших водоемких производственных технологий;
- высокий уровень потерь воды при транспортировке;
- недостаточная степень оснащенности водозаборных сооружений системами учета;
- отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих бизнес к активному внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства, систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения и сокращению непроизводительных потерь воды.

Проблемами использования подземных вод являются:

- низкая степень освоения запасов подземных вод (в среднем по стране не превышает 33%);
- неиспользование около половины числящихся на государственном учете разведанных и оцененных месторождений пресных подземных вод;
- добыча значительной доли подземных вод на участках недр, не имеющих утвержденных запасов подземных вод;
- истощение месторождений подземных вод вследствие нарушений режима их использования, а также бесконтрольной добычи на нераспределенном фонде недр.

Одной из важных проблем развития водохозяйственного комплекса России, связанной с устойчивым водопользованием, является несоответствие качества питьевой воды, потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам.

Услугами централизованного водоснабжения в Российской Федерации пользуются около 109 млн человек, или до 75% общей численности населения страны. В крупных и средних городах услугами централизованного водоснабжения пользуется почти все население, в малых городах, поселках городского типа и сельских населенных пунктах этот показатель не превышает 60%. По уровню доступа населения к системам централизованного водоснабжения Российская Федерация уступает развитым странам, в которых этот показатель составляет 90–95% и более.

Из общего объема воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов, через системы водоподготовки пропускается не более 59%, в сельских населенных пунктах этот показатель не превышает 20%. Около 27% водозаборов из поверхностных

источников водоснабжения не имеют необходимого комплекса очистных сооружений, в том числе 16% не оснащены обеззараживающими установками.

Каждый второй житель Российской Федерации вынужден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам, почти треть населения страны пользуется источниками водоснабжения без соответствующей водоподготовки, население ряда регионов страдает от недостатка питьевой воды и отсутствия связанных с этим надлежащих санитарно-бытовых условий проживания. Некачественную по санитарно-химическим и микробиологическим показателям питьевую воду потребляет часть населения в Республике Ингушетия, Республике Калмыкия, Республике Карелия, Карачаево-Черкесской Республике, в Приморском крае, в Архангельской, Курганской, Саратовской, Томской и Ярославской областях, в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и Чукотском автономном округе.

Развитие жилищно-коммунального комплекса, ориентированное на обеспечение гарантированного доступа населения России к качественной питьевой воде, рассматривается как задача общегосударственного масштаба, которая решается в рамках государственной программы “Чистая вода”.

1.5.1.10. Водные проблемы Республики Молдова

Основные факторы малоэффективного использования водных ресурсов Молдовы следующие:

- нерациональное землеустройство территории страны, не обеспечивающее устойчивость ландшафтов и большие в связи с этим потери воды;
- большая зависимость гидрологического режима главных рек от страны, расположенной выше по течению;
- низкое природное качество значительной части подземных вод и применение методов ведения хозяйства, способствующих загрязнению подземных и поверхностных вод.

Проблемами использования вод являются:

- истощение месторождений подземных вод вследствие нарушений режима их использования;
- малые площади лесов и сохранившихся водно-болотных угодий, а также фактическое отсутствие водоохраных зон и полос рек и водоемов, что не позволяет влаге накопиться и провоцирует засухи, а продолжающаяся вопреки законодательству практика добычи песка и гравия из русел рек уменьшает способность рек к самоочищению. При этом серьезные меры по изменению к лучшему, в том числе требующие принципиальных политических решений, практически не предпринимаются;
- прогрессирующее изменение климата, ведущее к аридизации территории Молдовы, при которых адаптивные меры крайне запаздывают.

Среди проблем управленческого характера можно назвать:

- недостаточно эффективное разделение функций, относящихся к водным ресурсам, между ведомствами;

- недопустимое совмещение функций управления водами и их охраны;
- неурегулированность вопросов собственности в отношении рек и водоемов и прилегающих территорий.

Учитывая, что и Молдова, и Украина подписали Соглашение об ассоциации с ЕС, это создает предпосылки для внедрения европейских стандартов качества воды и согласованных подходов к управлению водными ресурсами и международному сотрудничеству.

Литература к разделу 1.5

- EEA, 2003. Europe's environment: the third assessment. http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_assessment_report_2003_10
- EEA, 2007. Water Scarcity. European Environmental Agency. <http://www.eea.europa.eu/themes/water/featured-articles/water-scarcity>
- EEA, 2010. The European environment – state and outlook 2010. <http://www.eea.europa.eu/soer/countries/no/freshwater-drivers-and-pressures-norway/ten-most-important-impacts/view>
- Eionet, 2011. European Environment Information and Observation Network. http://forum.eionet.europa.eu/nrc-eionet-freshwater/library/public-section/2012-state-water-thematic-assessments/copy_of_draft-hydromorphology-consultation/ecological-status-7.-ecological-status-and-water-quality
- Environment.no, 2012. State of the Environment Norway. <http://www.environment.no/Topmenu/About-SOE-Norway/>
- GRIDA-UNEP, 2008, GRID-Arendal. <http://www.grida.no/graphicslib>
- IPCC, 2008. Climate Change and Water. <http://ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>
- UNESCO, 2012. Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/Groundwater%20and%20Global%20Change.pdf>
- UN, 2013. The Millennium Development Goals Report. <http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/report-2013/mdg-report-2013-english.pdf>
- UNDP, 2012. Исследование рисков уязвимости к коррупции водного сектора Республики Таджикистан: Отчет в рамках Проекта ПРООН. Душанбе. http://www.undp.tj/files/reports/Integrity_Risk_Assessment_in_Water_Sector_in_RT_rus.pdf
- UNECE, 1966. Хельсинские Правила пользования водами международных рек, Ассоциация международного права. Хельсинки. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/legal_board/2010/annexes_groundwater_paper/Annex_II_Helsinki_Rules_ILA.pdf
- UNECE, 1992. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. <http://www.unece.org/env/water/>
- UNECE, 2011: Вторая Оценка: трансграничных рек, озер и подземных вод. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/assessment/Russian/Executive_Summary_Inside_RU_web.pdf
- UNECE, 2012. Диагностический доклад и план развития сотрудничества. http://www.carecnet.org/assets/images/Quality_rus_web.pdf
- UNWater, 2005. Facts and Trends- Water: The WBCSD Water and Sustainable Development. http://www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf
- Ибатуллин С.Р., Ясинский В.А., Мироненков А.П.*, 2009. Влияние изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии. Отраслевой обзор. © Евразийский банк развития.
- Министерство мелиорации и водных ресурсов Республики Таджикистан, 2010, Душанбе.
- Программа экономического развития Республики Таджикистан на период до 2015 года.
- Zoi Environment Network, 2011. http://www.zoinet.org/web/sites/default/files/large-maps/Central_asia_shading.png

Вопросы к главе 1

Вопросы к разделу 1.1

1. Что такое вода? Приведите по возможности всестороннее определение.
2. Какие разновидности воды существуют?
3. Что такое тяжелая вода? Ее свойства?
4. Как тяжелая вода влияет на окружающую среду?
5. В чем состоит аномальность воды? Назовите аномальные свойства воды.
6. В чем состоит особенность воды как химического водородсодержащего соединения?
7. Какие химические связи существуют в воде? Охарактеризуйте водородные связи в воде.
8. Химические и физико-химические свойства Оксигена и Гидрогена как элементов.
9. В чем состоит активность Оксигена?
10. Состав молекулы воды по массе.
11. Строение молекулы воды с дефицитом электронов.
12. Строение молекулы воды как небольшого магнита.
13. Строение молекулы воды с избытком электронной плотности.
14. Строение молекулы воды со смещением центров зарядов один относительно другого.
15. Строение молекулы воды в виде тетраэдра и лопастей винта.
16. Строение молекулы воды с ковалентной полярной связью и sp^3 -гибридизацией атомных орбиталей.
17. К чему приводит высокая полярность молекулы воды?
18. Донорно-акцепторные связи в молекуле воды.
19. Приведите определение диэлектрической постоянной воды.
20. В чем состоит аномалия льда?
21. Гипотеза о структуре льда.
22. Что такое кластеры? Виды кластеров воды?
23. Модель «мерцающих кластеров» в воде.
24. Клатратные модели воды.
25. Кластерно-клатратная модель воды.
26. Гипотеза радикальной диссоциации воды.
27. Модель структуры устойчивых «квантов» воды.
28. «Водные кристаллы» воды.
29. Что влияет на структуру кластеров воды?
30. Межмолекулярные и комплексные соединения воды.
31. Окислительные свойства воды.
32. Восстановительные свойства воды.

Вопросы к разделу 1.2

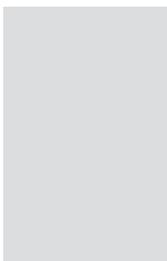
1. Охарактеризуйте водные ресурсы мира.
2. Доступность мировых запасов пресной воды для использования человеком.
3. Крупнейшие озера и реки в мире.
4. Трансграничные речные бассейны в мире.
5. Водные ресурсы в Европе.
6. Водные ресурсы в Норвегии.
7. Водные ресурсы Украины.
8. Водные ресурсы Республики Беларусь.
9. Водные ресурсы Республики Казахстан.
10. Водные ресурсы Республики Таджикистан.
11. Водные ресурсы Кыргызской Республики.
12. Водные ресурсы Российской Федерации.
13. Водные ресурсы Республики Молдова.
14. Кругооборот воды в природе.
15. Процессы, формирующие состав природных вод.
16. Процессы, переводящие вещество в раствор.
17. Растворимость газов и твердых веществ в воде.
18. Процессы, выводящие вещество из раствора.
19. Гидролиз в природной воде и в процессах водоочистки.
20. Диффузионные процессы в природной воде.
21. Обменные процессы в воде.
22. Химические и физико-химические процессы в природных водах.
23. Влияние карбонатной системы на pH природных вод.
24. Характеристика карбонатной системы природных вод.
25. Карбонатное равновесие в морской воде.
26. Щелочность природных вод.
27. Процессы закисления поверхностных водоемов.
28. Значения каких показателей обуславливают состояние окислительно-восстановительных процессов в гидросфере?
29. Роль окислительно-восстановительных реакций в описании процессов, которые протекают в природных водах.
30. Основные условия, которые встречаются в природных водах в зависимости от окислительно-восстановительных потенциалов.
31. Способы изменения величин pH и Eh водных растворов.
32. Редокс-буферность природных вод.
33. Влияние окислительно-восстановительных условий на миграцию элементов в природных водах.
34. Происхождение первичных свободных радикалов в природных водах.
35. Радиационное инициирование свободных радикалов в природных водах.
36. Механизмы фотохимического инициирования свободных радикалов.
37. Биологическая эмиссия свободных радикалов.
38. Кавитационные эффекты в природных водах.

39. Свойства свободных радикалов.
40. Образование и свойства органических свободных радикалов.
41. Что такое тяжелые металлы? Их токсичность, причины накопления и поступления в природные воды.
42. Факторы, определяющие миграцию тяжелых металлов в природных водах.
43. Формы существования ионов металлов в поверхностных водах.
44. Характеристика соединений железа и кадмия, их влияние на живые организмы в поверхностных водах.
45. Характеристика соединений меди и свинца, их влияние на живые организмы в поверхностных водах.
46. Характеристика соединений хрома и цинка, их влияние на живые организмы в поверхностных водах.
47. Как протекают процессы самоочищения в природных водах, чем обусловлена их реализация?
48. Классификация веществ, загрязняющих воду.
49. Процессы, используемые для самоочищения природных вод.
50. Испарение в процессе самоочищения природных вод.
51. Сорбционные процессы самоочищения природных вод.
52. Микробиологическое самоочищение воды.
53. Химическое самоочищение воды.
54. Фотолит в процессах самоочищения воды.
55. Процессы окисления, используемые для самоочищения воды.
56. Общее состояние природных вод в мире.
57. Общее состояние природных вод в Европе.
58. Общее состояние природных вод в Норвегии.
59. Общее состояние природных вод в Украине.
60. Общее состояние природных вод Республики Беларусь.
61. Общее состояние природных вод Республики Казахстан.
62. Общее состояние природных вод Республики Таджикистан.
63. Общее состояние природных вод Кыргызской Республики.
64. Общее состояние природных вод Российской Федерации.
65. Общее состояние природных вод Республики Молдова.

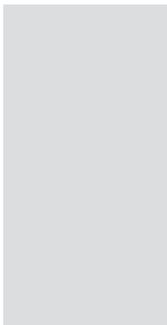
Вопросы к разделу 1.3

1. Роль воды в химических реакциях в организме человека.
2. Что происходит при потере воды организмом человека?
3. Каким индикатором является вода для людей?
4. В чем заключается здоровый образ жизни людей?
5. Как влияет вода в организме человека на условия существования людей и стабилизации их веса?
6. Сколько воды необходимо человеку для потребления при разных условиях работы и проживания?
7. Как влияет качество потребляемой воды на здоровье человека и его долголетие?

Вопросы к разделу 1.4

- 
1. Виды потребления технической воды на промышленных предприятиях.
 2. Использование воды в химической промышленности.
 3. Циклы оборотного водоснабжения и характеристика технической воды данных циклов.
 4. Экологическое и экономическое значение оборотного водоснабжения.
 5. Водоснабжение для орошения земель.

Вопросы к разделу 1.5

- 
1. Водные проблемы в мире.
 2. Водные проблемы в Европе.
 3. Водные проблемы в Норвегии.
 4. Водные проблемы Украины.
 5. Водные проблемы Республики Беларусь.
 6. Водные проблемы Республики Казахстан.
 7. Водные проблемы Республики Таджикистан.
 8. Водные проблемы Кыргызской Республики.
 9. Водные проблемы Российской Федерации.
 10. Водные проблемы Республики Молдова.

2

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

- 2.1 Понятие о водном хозяйстве
167
- 2.2 водные ресурсы
(водное хозяйство)
как объект управления
. . . 171
- Регламентирующая и законодательная база
контроля и управления водными ресурсами
. . . 174
 - Принципиальные положения европейской
и национальных систем мониторинга природных вод
180
 - Принципиальные положения европейской системы
мониторинга природных вод
 - Принципиальные положения норвежской системы
мониторинга природных вод
 - Основные положения системы мониторинга природных вод
в некоторых странах Содружества Независимых Государств
 - Мониторинг качества природных вод для купания (рекреации)
 - Правовое регулирование охраны и использования водных ресурсов
 - Понятие о мониторинге и о контроле водопотребления
и водоотведения
 - Экологический учет и контроль за водопотреблением
и водоотведением
 - Нормирование водопотребления и водоотведения
193
 - Принципиальные положения общей системы гигиенического
нормирования экологических факторов
 - Гигиеническое регламентирование качественных
и количественных показателей питьевой воды
 - Гигиеническое регламентирование химических веществ
в природных водах
- 2.3 нормирование сбросов
химических веществ
в водные объекты
. 215
- 2.4 Показатели взаимного

воздействия техногенных факторов на объекты водного хозяйства	225
---	-----

2.5

основы Проектирования систем водоснабжения и водоотведения	233
Системы и схемы водоснабжения	233
Удельное водопотребление	235
Режим водопотребления, определение расчетных расходов воды и необходимых напоров в населенном пункте	236
Источники водоснабжения	238
Водозаборные сооружения	240
Насосы и насосные станции	242
Наружные сети и сооружения систем водоотведения	243

2.6

бассейновое управление водными ресурсами . Опыт внедрения бассейнового управления в мире	251
--	-----

2.7

интегрированное управление водными ресурсами	257
--	-----

2.8

. 265

охрана водных ресурсов	
----------------------------------	--

2.9

технические аспекты и Практическая реализация управления водными ресурсами	270
--	-----

Приложение к главе 2

Практические задания и Примеры их решения	274
---	-----

Оценка риска здоровью человека, связанного с потреблением питьевой воды	274
Эквивалентное население	277
Определение требуемой степени очистки	279
Нормативы допустимых сбросов	281
воПросы к главе 2	285

2.1. Понятие о водном хозяйстве

Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы с ней сравниться по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты определяются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами.

В.И. Вернадский

Водное хозяйство – национальная отрасль хозяйства, занимающаяся изучением, учетом, планированием комплексного использования водных ресурсов, охраной поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения и транспортировкой их к месту назначения (потребления). Основная задача водного хозяйства – обеспечение всех отраслей хозяйствования водой в необходимом количестве и соответствующего качества.

Для решения этой задачи необходимо создание определенного режима водных источников, который обеспечит возможность бесперебойного использования водных ресурсов всеми потребителями. Это достигается с помощью комплекса специальных гидротехнических сооружений, которые образуют важнейший элемент производственного процесса водного хозяйства и обеспечивают осуществление различных видов водохозяйственной деятельности.

По характеру использования водных ресурсов отрасли экономики можно разделить на водопотребителей и водопользователей. Водопотребители (промышленность, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство) изымают воду из рек, водоёмов, водоносных пластов и используют для промышленного, бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, орошения, обводнения и др. Водопользователи, к которым относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбоводство и др., используют воду (водную среду) без ее изъятия.

Водное хозяйство во всех развитых странах превратилось в систему организовано планируемых мероприятий по рациональному и комплексному использованию водных ресурсов и их охране от истощения и загрязнения. Водное хозяйство – в ряде стран – самостоятельная отрасль экономики.

Водохозяйственный комплекс – это совокупность различных отраслей хозяйствования, совместно использующих водные ресурсы определенной части водного бассейна или бассейна в целом. Это сложная водохозяйственная система, которая функционирует на основе научно обоснованных долгосрочных прогнозов в отношении требований, предъявляемых различными отраслями хозяйства к количеству и качеству

воды с учетом рационального и комплексного использования водных ресурсов с минимальными отрицательными последствиями для природы.

В соответствии с целями можно определить следующие требования к водохозяйственному комплексу:

- 1) обеспечение водой всех потребителей в достаточном количестве, соответствующего качества, в необходимом месте и в необходимое время;
- 2) сохранение природных условий и гарантии охраны воды от загрязнения, засорения и истощения;
- 3) обеспечение наибольшего экономического эффекта в сфере хозяйственной деятельности, обслуживаемой данным водохозяйственным комплексом;
- 4) надежность работы всех технологических систем и сооружений.

Водохозяйственное районирование может осуществляться по следующим признакам:

- 1) по тяготению к бассейнам определенных рек;
- 2) по существующему экономическому и административно-территориальному делению страны;
- 3) по характеру использования водных ресурсов;
- 4) по сложившейся структуре водохозяйственных комплексов.

В соответствии со структурой экономики страны можно выделить такие уровни водохозяйственных комплексов:

1. Единая водохозяйственная система страны. Основная задача – объединять крупнейшие природные источники водных ресурсов по всей стране и осуществлять их регулирование и распределение между основными регионами. При формировании единой водохозяйственной системы страны решаются технические, экономические и организационные проблемы.

Одним из первых этапов создания единой водохозяйственной системы страны явилось формирование водного хозяйства как отдельной отрасли путем централизации управления системы в целом и ее отдельных объектов.

Основными функциями единой водохозяйственной системы страны являются:

- 1) учет количества и качества вод в крупнейших водоемах и водотоках;
- 2) прогноз развития водного хозяйства с учетом изменений природной среды и основных тенденций социального развития общества и научно-технического прогресса;
- 3) формирование крупных программ водохозяйственного строительства на основе централизованного государственного финансирования;
- 4) обеспечение всех отраслей экономики водой в соответствии с их требованиями к качеству, количеству и режиму подачи;
- 5) осуществление контроля за состоянием и качеством вод в процессе их использования, очистки и отведения.

2. Региональная водохозяйственная система. Она формируется в пределах отдельных регионов. Она объединяет объекты и системы крупнейших водотоков и водоемов крупных регионов. Регулирование использования водных ресурсов в пределах этих регионов осуществляется за счет межбассейнового перераспределения водных ресурсов. Управление региональными системами осуществляется централизованно на уровне регионов.

3. Бассейновые водохозяйственные системы. Они создаются в пределах водосборных бассейнов отдельных крупных рек. Основой их формирования являются, как правило, каскад водохранилищ на основной реке и ее притоках. Основная задача бассейновых водохозяйственных систем – регулирование стока бассейна реки для удовлетворения всех водопользователей, пользующихся водными ресурсами этого бассейна, при условии их рационального использования.

4. Водохозяйственные комплексы. Они образуются, главным образом, на базе комплексных гидроузлов и сопутствующих им объектов и являются основными составляющими элементами бассейновых водохозяйственных систем. Основная задача водохозяйственных комплексов состоит в регулировании стока реки с целью согласованного удовлетворения всех водопотребителей, т.е. водоснабжение населения и промышленности, энергетики, сельского хозяйства, водного транспорта и др. в отношении количества, качества воды и своевременной ее доставки в условиях неравномерного стока. В области охраны природы важнейшие функции водохозяйственных комплексов в зоне влияния гидроузла состоят в следующем:

- а) обеспечение пропусков воды для поддержания гидробиологического режима водотока;
- б) регулирование уровня подтопления земель;
- в) выполнение необходимых санитарно-гигиенических требований в районе водохранилища и в нижнем течении реки.

5. Отраслевые водопользователи. Пользователи, которые непосредственно потребляют воду или используют водную среду. Это конкретные предприятия и отдельные (более мелкие) потребители и пользователи. Формирование водного хозяйства и его отдельных (единиц) систем начинается с самой нижней ступеньки, т.е. с конкретных водопотребителей и водопользователей, объединяющихся в водохозяйственные комплексы. Именно эта единица всей водохозяйственной системы любой страны является главной, наиболее приближенной к реальной хозяйственной и социальной системе страны.

Для каждого уровня водохозяйственных комплексов предусмотрено составление водохозяйственных балансов. Водохозяйственные балансы представляют собой расчетные материалы, сопоставляющие потребность в воде с имеющимися на данной территории водными ресурсами. Водохозяйственные балансы предназначены для оценки наличия и степени использования водных ресурсов по бассейнам водных объектов и соответствующим административным территориям страны и используются для планирования и принятия решений по вопросам использования и охраны водных объектов.

Вопросами реализации государственной политики в сфере управления, использования и воспроизводства поверхностных водных ресурсов, развития водного хозяйства и мелиорации земель и эксплуатации государственных водохозяйственных объектов комплексного назначения, межхозяйственных оросительных и осушительных систем занимаются, как правило, специальные органы типа государственных агентств водных ресурсов.

Литература к разделу 2.1

Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. – К.: Генеза, 2000. – 456 с.

Державне агентство водних ресурсів, 2014. Офіційний сайт. <http://www.scwm.gov.ua/>

Курганевич Л.П. Водний кадастр: Навч. посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. – 116 с.

2.2. Водные ресурсы (водное хозяйство) как объект управления

Водные ресурсы всегда определяли уровень развития экономики и благосостояния населения. За последние 100 лет при увеличении населения мира в три раза использование воды увеличилось в шесть раз. В настоящее время, как уже упоминалось выше, один из пяти человек на Земле не имеет доступа к качественной (безопасной) питьевой воде, половина населения не имеет доступа к основным санитарным услугам, непосредственно связанным с потреблением воды. Увеличивающееся потребление и интенсивное загрязнение природных вод оказывает негативное воздействие на природную среду и уже привело к значительным потерям биологического разнообразия в водных и неводных экосистемах.

Вода является той средой, через которую уже ощущаются и будут ощущаться последствия изменения климата. Помимо разрушительных наводнений и перебоев с водоснабжением в связи с засухой, особую озабоченность во многих регионах вызывает обеспечение продовольствием, что обусловлено уменьшением количества осадков и их перераспределением между регионами. Это в комплексе оказывает существенное влияние на экономику регионов и государств, является причиной роста социальной напряженности и конфликтов. Если существующая практика водопользования (водопотребления) сохранится, то это усугубит проблемы, связанные с изменением климата, и к 2025 году около 2 млрд человек будут жить в странах или регионах крайнего дефицита воды.

Проблемы обеспечения водой надлежащего качества и сохранения природной среды связаны не только с локальным и региональным ее дефицитом, но и с неудовлетворительным управлением водными ресурсами. В то же время эффективное управление водными ресурсами способствует решению проблем охраны окружающей среды, содействует экономическому росту и устойчивому развитию сельского хозяйства, улучшению здоровья человека.

Управление водными ресурсами должно базироваться на общих подходах, которые используются для построения современных систем управления, и учитывать специфику и сложность самого объекта управления. Цель управления водными и связанными с ними ресурсами состоит в том, чтобы улучшить, насколько это возможно, экономическое и социальное благосостояние людей всех социальных групп без ущерба для устойчивости важнейших экосистем и окружающей среды в целом. Как сказано в Водной рамочной Директиве (Directive 2000/60/EC), «Вода – это не коммерческий товар подобно другим, а, скорее, наследство, которое следует защищать, охранять и обращаться надлежащим образом».

Учитывая то, что вода влияет практически на все отрасли экономики, социальную сферу и определяет состояние окружающей среды в целом, эффективное управление водными ресурсами возможно тогда, когда в

нем принимают участие все заинтересованные стороны. Это является отличительной особенностью **Интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР)**¹. Внедрение в практику ИУВР требует перехода от отраслевого (секторального) управления к интегрированному; от административного управления к управлению, предусматривающему участие в принятии решений, касающихся воды, всех заинтересованных сторон; распределения ответственности как за принятие решений, так и за их выполнение.

Вопросам перехода на ИУВР уделяется большое внимание на всех уровнях. В 1992 году Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро призвала к эффективному осуществлению и координации механизмов для содействия ИУВР на основе участия обществ.

В 1995 году Программа развития ООН (ПРООН) и Всемирный банк выступили с инициативой активизации взаимодействия по водным проблемам на глобальном и региональном уровне. Основанной в 1996 году организацией “Глобальное водное партнерство” (ГВП), секретариат которой находится в Стокгольме (Шведское агентство международного сотрудничества – SIDA), проводится целенаправленная работа по разработке концепции и пропаганды **ИУВР** как основы для перехода к устойчивому управлению водными ресурсами в различных странах.

В 2002 году Всемирный саммит по устойчивому развитию в Йоханнесбурге призвал все страны разработать национальные планы ИУВР и эффективного использования водных ресурсов к 2005 году.

Подходы ИУВР положены в основу Европейской рамочной Директивы по воде 2000/60/ЕС (РДВ), которая является основным документом, регулирующим отношения в этой области в странах ЕС.

Основой для построения системы интегрированного управления водными ресурсами на глобальном, региональном, национальном и местном уровнях является водная политика (стратегия). Инструментами (элементами) ИУВР, обеспечивающими реализацию водной политики и достижение поставленных целей, являются:

- законодательная база, регулирующая отношения в области водопользования и охраны водных ресурсов, нормирование и контроль в области водопотребления и водоотведения;
- планирование в области водопользования и охраны водных ресурсов;
- организационная структура управления водным хозяйством;
- экономический механизм регулирования отношений в области водопользования;
- мониторинг, учет и контроль;
- разрешение конфликтов, связанных с распределением водных ресурсов.

Единая согласованная водная политика является основой для скоординированной деятельности по устойчивому управлению водными ресурсами на межгосударственном уровне. Примером такой политики

¹ Расширенное изложение стратегии ИУВР см. в разделе 2.7.

может быть Водная политика (стратегия) стран Европейского Союза, которая включает следующие положения:

- развитие ИУВР для долгосрочного устойчивого водопользования;
- распространение водоохраны на все типы вод, включая поверхностные, прибрежные и подземные;
- достижение “хорошего статуса” для всех вод к определенному сроку и сохранение данного статуса там, где он уже достигнут;
- управление водными ресурсами на основе речных бассейнов, с соответствующей координацией для районов трансграничных речных бассейнов;
- установление цен на пользование водой с учетом принципа возмещения затрат и принципа “загрязнитель платит”;
- стимулирование участия граждан в управлении водными ресурсами;
- совершенствование законодательства.

Национальная водная политика является основой для координации действий всех ведомств и организаций по рациональному использованию и охране водных ресурсов. Даже если водная политика (стратегия) как отдельный документ не принята, то основные ее положения включаются в политики, программы и планы, разрабатываемые на уровне государства, отраслей экономики, местном уровне.

Примерами национальных документов такого вида являются Национальная программа Украины “Чистая вода”, Водная стратегия Республики Беларусь (Минприрода РБ, 2011), Водная политика Германии (Минприрода Германии, 2007), Программа по улучшению обеспечения населения Республики Таджикистан чистой питьевой водой на 2008–2020 гг., государственные программы по воде. В Норвегии водная стратегия разработана на основании Водной рамочной Директивы, которая охватывает все воды, в том числе во внутренних водоемах (поверхностных и подземных водах), переходных и прибрежных водах. Статья 8 Водной рамочной Директивы (ВРД) устанавливает требования для мониторинга состояния поверхностных вод, состояния подземных вод и охраняемых территорий.

Сложность управления водным хозяйством обусловлена тем, что с использованием воды и водных объектов, их охраной связана деятельность многих министерств, департаментов и ведомств (например, сельского хозяйства, транспорта, энергетики, промышленности, охраны окружающей среды и др.). Причем подходы к управлению водным хозяйством у них могут существенно отличаться.

Поскольку реализация водной политики требует скоординированных действий всех заинтересованных сторон как на национальном, так и на местном уровнях, то оправданным является функционирование организационных структур (органов), основной задачей которых является координация действий на национальном уровне, в пределах водосборных бассейнов, на уровне административных образований. Такие структуры имеют определенные полномочия и финансирование.

Структура управления водным хозяйством может различаться от страны к стране, но она обязана обеспечивать координацию и согласованность действий всех заинтересованных сторон при учете интересов

каждой стороны. Роли, сферы ответственности и функции организаций, входящих в структуру управления водным хозяйством, обычно определяются нормативным правовым актом (законом, кодексом и др.). Учитывая то, что организация и обеспечение устойчивого функционирования водоснабжения и водоотведения относятся к традиционным задачам, которые должны решать органы местного самоуправления (муниципалитеты и др.), то ряд вопросов регулируется и на этом уровне (ценовая политика, отдельные виды контроля и др.).

Эффективность управления водными ресурсами в значительной степени определяется тем, насколько хорошо отрегулированы процедуры, создающие условия для активного участия в принятии решений, контроле и управлении на всех уровнях заинтересованных сторон, в том числе общественных организаций, граждан.

Литература к разделу 2.2

- GWP, 2007. Совместное использование знаний для справедливого, действенного и устойчивого управления водными ресурсами. Интегрированное управление водными ресурсами. Global Water Partnership. http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/1-Fin-Rus-ToolBox.pdf
- Минприрода РБ, 2011. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года. www.minpriroda.gov.by/ru/legislation/new_url_1649710582
- Минприрода Германии, 2007. Water protection policy in Germany. <http://www.bmu.de/en/topics/water-waste-soil/water-management/policy-goals-and-instruments/water-protection-policy-in-germany>

2.2.1. Регламентирующая и законодательная база контроля и управления водными ресурсами

Основой для практической деятельности по Интегрированному управлению водными ресурсами (ИУВР) является водное законодательство. Оно определяет экономический механизм управления водными ресурсами, формирует среду, в которой осуществляется деятельность частных и государственных организаций. В нем излагаются обязанности и права ведомств, управляющих водными ресурсами и окружающей средой, поставщиков и потребителей воды и услуг, связанных с водой.

Несмотря на существенные отличия в законодательном регулировании водопользования, водопотребления и охраны водных ресурсов в разных странах, оно базируется на общих подходах и учитывает требования международных конвенций и договоров, которые подписаны и ратифицированы каждым государством.

Водное право устанавливает отношения в области водопользования, водопотребления и охраны водных ресурсов посредством нормативных актов, включающих положения, имеющие предупредительный или корректирующий характер.

Предупредительные меры включают в себя законодательные нормы, определяющие условия отведения сточных вод (расход, концентрация загрязняющих веществ, степень очистки, технологии очистки и др.), нормативы качества применительно к водоприемникам. Законодательно

регламентируется порядок разработки, согласования и утверждения национальных, региональных и местных программ, планов снижения нагрузки на водные объекты, в том числе от неорганизованных (диффузных) источников загрязнения.

Корректирующие меры включают в себя положения, устанавливающие:

- порядок приостановления или запрещения противоправной деятельности потребителя воды, наносящей ущерб водным ресурсам и приводящей в связи с этим к экономическим потерям;
- порядок и сроки устранения выявленных нарушений водного законодательства;
- порядок компенсации ущерба и экономических потерь, связанных с нарушением водного законодательства (принцип “загрязнитель платит”);
- порядок установления факта нарушения и привлечения к ответственности за нарушение законодательства;
- действия в период чрезвычайных ситуаций природного и техноприродного характера, связанных с водой;
- и другие правовые инструменты.

Важнейшими видами деятельности, которые подлежат правовому регулированию, являются мониторинг поверхностных и подземных вод, контроль за соблюдением нормативов в области водопотребления и водоотведения, учет и отчетность по водопотреблению и водоотведению.

Учитывая особую значимость подземных вод как источника питьевого водоснабжения и влияние на их характеристики условий землепользования и состояния площади водосбора, охрана подземных вод регулируется правовыми актами, устанавливающими требования к хранению и захоронению отходов, требования к используемым на земле удобрениям, пестицидам и условиям их применения, требования к выбору мест отбора подземных вод, водозаборным сооружениям и условиям их содержания и др.

Для того чтобы законодательство обеспечивало решение задач эффективного управления водными ресурсами, помимо перечисленных основных вопросов, необходимо законодательно и организационно обеспечить: аналитический контроль показателей, характеризующих состояние водных объектов и качества воды, используемой на различные нужды; порядок разработки и введения в действие нормативов качества воды; учет и обработку информации о состоянии водных объектов и др.

Европейское водное право, которое прошло долгий путь становления и совершенствования, в настоящее время является признанным образцом, на который ориентируются при разработке водного законодательства не только государства Европейского Союза (ЕС), но и другие страны (Норвегия, Украина, Беларусь, Молдова, Россия, Казахстан, Таджикистан и др.).

В развитии европейского законодательства по воде можно выделить несколько периодов, которые отличаются подходами, используемыми для обеспечения охраны водных ресурсов. Первый период (1975–1980 гг.) характеризовался принятием Директив и решений, устанавливающих

требования к качеству воды (целевых показателей качества воды) для различных направлений использования (поверхностные воды, рекреационные воды, питьевая вода и др.) либо устанавливающих предельно допустимые величины сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, в том числе и с учетом наилучших существующих (доступных) технологий.

Второй период (1980–1991 гг.) характеризовался введением в действие Директив, ориентированных на контроль за поступлением загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды (Директива по нитратам сельскохозяйственного происхождения, Директива по очистке городских сточных вод, Директива по интегрированному контролю и предотвращению загрязнения), а также ряда дочерних Директив, в том числе Директивы по опасным веществам. Директивы, принятые в течение этого времени, в основном ориентированы на контроль над источниками загрязнения как точечными (организованными), так и не точечными (диффузными).

Рассмотрим кратко основные Директивы, касающиеся воды в ЕС. Все Директивы ЕС могут быть найдены на веб-странице ЕС <http://eur-lex.europa.eu/>. Поиск – по номеру Директивы, приведенной в тексте ниже.

- Директива Совета 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 года по качеству воды для потребления людьми (Директива по питьевой воде: Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (Directive 98/83/EC)). Целью этой Директивы является охрана здоровья людей. В ней указаны стандарты качества питьевой воды. Государства – члены ЕС могут ввести дополнительные, более высокие стандарты, чем указаны в этой Директиве, но ни в коем случае – не ниже.
- Директива 2006/7/ЕС Европейского парламента и Совета от 15 февраля 2006 года касательно управления водами для купания (пляжных зон) (Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality). Целью Директивы является обеспечение европейцев чистой и безопасной водой для купания. Во многом эта Директива похожа на Водную рамочную Директиву, поскольку она требует разработки отдельного Плана управления каждой территорией для купания и обеспечения участия общественности в разработке соответствующих планов.
- Директива 91/271/ЕЕС от 21 мая 1991 года по очистке городских сточных вод (Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment). Директива устанавливает требования к очистке коммунальных и подобных им по составу производственных сточных вод.
- Директива Совета 91/676/ЕЕС от 12 декабря 1991 года касательно охраны вод от загрязнения нитратами сельскохозяйственного происхождения (Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources). Целью Директивы является предотвращение попадания нитратов с сельскохозяйственных земель в подземные и поверхностные

воды. Она требует определить уязвимые территории со значительным смывом нитратов, разработать программы мероприятий для уязвимых территорий, провести мониторинг и оценку эффективности мероприятий и пересматривать их для достижения целей Директивы.

- Директива 2006/118/ЕС Европейского парламента и Совета от 12 декабря 2006 года по охране подземных вод от загрязнения и ухудшения их состояния (Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration). Директива разрабатывает режим, касающийся стандартов качества подземных вод, и описывает мероприятия по предотвращению или ограничению попадания загрязняющих веществ в подземные воды.
- Директива 2007/60/ЕС Европейского парламента и Совета от 23 октября 2007 года по оценке и управлению рисками паводков (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks). Целью Директивы является снижение рисков, которые паводки несут человеческому здоровью, окружающей среде, культурному наследию и экономике. Директива требует, чтобы государства – члены ЕС провели предварительную оценку паводков до 2011 года с целью определения речных бассейнов и соответствующих прибрежных зон, находящихся под риском паводков. Для таких зон до 2013 года государства должны были разработать карты рисков затопления, до 2015 года – планы управления паводками, направленные на предотвращение рисков, охрану территорий и повышение готовности к паводкам.
- Директива 2008/1/ЕС (96/61/ЕС) от 15 января 2008 года по интегрированному контролю и предотвращению загрязнения (Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control). Эта Директива требует, чтобы отрасли промышленности и сельского хозяйства, имеющие значительный потенциал загрязнения окружающей среды (энергетика, производство и обработка металлов, горно-добывающая отрасль, химическая промышленность, захоронение и утилизация отходов), получали природоохранные разрешения. Эти разрешения можно получить только в случае выполнения соответствующих экологических условий, в том числе требований использования наилучших доступных технологий.

Анализ результатов практической реализации Директив, ориентированных на охрану вод, показал, что подход, в основе которого было положено решение частных проблем, не позволяет реализовать единую политику и обеспечить согласованность действий по различным направлениям. Вследствие этого результаты деятельности по водным Директивам в части улучшения состояния водных объектов оказались хуже, чем ожидалось. Это стало причиной доработки водной стратегии ЕС в направлении более тесного взаимоувязывания водных Директив и обеспечения целенаправленной работы по охране и улучшению состояния водных объектов. В 2000 году введена в действие Директива 2000/60/

ЕС Европейского парламента и Совета (от 23 октября 2000 года), устанавливающая рамки для действий Сообщества в сфере водной политики (Водная рамочная Директива – ВРД: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy), которая определяет направления деятельности по охране всех водных объектов, сочетает все вышеописанные подходы, включает упомянутые Директивы в свои основные положения (с помощью ссылок) или указывает сроки их отмены после переходного периода, в ходе которого будут выполнены соответствующие положения ВРД.

Целью данной Директивы является создание условий для: защиты внутренних поверхностных вод, промежуточных вод, прибрежных вод, а также подземных вод путем предупреждения дальнейшего их ухудшения; защиты и улучшения состояния водных и связанных с ними экосистем; пропаганды разумного использования воды, основанного на долгосрочной защите существующих водных ресурсов; принятия мер для уменьшения поступления опасных веществ в поверхностные, промежуточные, прибрежные и подземные воды; содействия смягчению последствий паводков и засух.

Требования Директивы касаются определения границ речных бассейнов (включая подземные воды) и организации органа управления водными ресурсами в пределах этого бассейна, а также проведения работ по: анализу характеристик водных объектов; анализу влияния деятельности человека на состояние поверхностных и подземных вод; экономическому анализу использования водных ресурсов в пределах выделенных речных бассейнов.

Директивой регламентируются вопросы учета и контроля водных объектов, используемых для получения питьевой воды, контроля состояния поверхностных и подземных вод и охраняемых территорий в пределах водосборных бассейнов, возмещения затрат на функционирование водного хозяйства. Специальные меры предусматриваются по ограничению поступления загрязняющих веществ из точечных и диффузных источников.

Согласно требованиям ВРД, каждое государство – член ЕС обеспечивает разработку программы мер по достижению требуемых показателей состояния водных объектов для всех речных бассейнов или части трансграничных речных бассейнов на своей территории, а также планов управления речными бассейнами. Государства должны способствовать активному привлечению всех заинтересованных сторон к выполнению данной Директивы, особенно в части разработки, пересмотра и обновления планов управления речным бассейном. В Директиве рассмотрены стратегия борьбы с загрязнением воды, вопросы профилактики и контроля загрязнения грунтовых вод.

В целом, Директива существенно изменила подходы к управлению водными ресурсами и создала предпосылки для эффективного взаимодействия заинтересованных сторон в этой области. В качестве одного из основных инструментов эффективного взаимодействия предлагается проводить экономический анализ услуг водоснабжения, который будет

базироваться на долгосрочном прогнозировании предложения и спроса воды в районе речного бассейна и учитывать затраты на водоснабжение, охрану окружающей среды и сохранение ресурсов, затраты, связанные с компенсацией причиненного вреда или отрицательного влияния на водную среду.

Можно констатировать, что Водная рамочная Директива связывает европейское водное законодательство в единую систему. Более подробно основные положения Директивы, касающиеся нормирования в области водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, будут рассмотрены ниже (раздел 2.2.3).

В США основным документом, регламентирующим деятельность в области охраны и использования вод, является Закон (Акт) о чистой воде, принятый в 1972 году. Он установил цели, согласно которым прекращение поступления большого количества токсичных веществ в воду должно было быть достигнуто к 1985 году, а поверхностные воды должны отвечать стандартам, установленным с учетом воздействия на человека, к 1983 году. Вторым важнейшим законом в этой области является Закон о безопасной питьевой воде (Safe Drinking Water Act), который установил стандарты качества питьевой воды. Закон о чистой воде непосредственно не касается загрязнения подземных вод.

Ряд поправок к Закону о чистой воде был принят в 1977 году и к Закону о качестве воды – в 1987 году. Все вопросы управления водными ресурсами, нормирования в области использования и охраны вод, порядка разработки стандартов качества воды и другие изложены в 50 законах (правилах), разработанных Агентством по охране окружающей среды США (40 Part 100–149). Управление водными ресурсами подробно рассматривается в: 40 Part 130 – Water quality planning and management.

Состояние учета и контроля за водопотреблением и водоотведением в мире, Европе, Норвегии рассмотрено ниже (разделы 2.2.2.7.1–2.2.2.7.3). В странах бывшего СССР Водные законодательства имеют сходную структуру и близкое содержание (Украина, Беларусь, Россия, Казахстан, Таджикистан). Они включают Водный кодекс, Законы “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения”, “Об охране окружающей среды”, “О питьевом водоснабжении”, а также многочисленные стандарты, правила, нормы, положения, разрабатываемые и вводимые в действие национальными министерствами и ведомствами (Министерства охраны здоровья, охраны природы, жилищно-коммунального хозяйства и др.) и устанавливающие нормативы качества воды, требования к сбрасываемым сточным водам, к охране поверхностных и подземных вод и др. На государственном уровне устанавливаются порядок и условия выдачи разрешений на забор воды, отведение сточных вод в водные объекты, порядок контроля за соблюдением режима водопотребления и водоотведения, экономические инструменты принуждения к выполнению водоохраных правил и норм и др. На уровне местного самоуправления решаются вопросы устойчивого функционирования систем водоснабжения и водоотведения путем принятия соответствующих документов (правил, условий и т.п.).

Литература к разделу 2.2.1

- EU, 2014a. Директива Совета 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 года по качеству воды для потребления людьми (Директива по питьевой воде): Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (Directive 98/83/EC). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0083:EN:NOT>
- EU, 2014b. Директива 2006/7/ЕС Европейского парламента и Совета от 15 февраля 2006 года касательно управления водами для купания (пляжных зон) (Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0007:EN:NOT>
- EU, 2014c. Директива 91/271/ЕЕС от 21 мая 1991 года по очистке городских сточных вод (Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0271:EN:NOT>
- EU, 2014d. Директива Совета 91/676/ЕЕС от 12 декабря 1991 года касательно охраны вод от загрязнения нитратами сельскохозяйственного происхождения (Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:EN:NOT>
- EU, 2014e. Директива 2006/118/ЕС Европейского парламента и Совета 12 декабря 2006 года по охране подземных вод от загрязнения и ухудшения их состояния (Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0019:0031:EN:PDF>
- EU, 2014f. Директива 2007/60/ЕС Европейского парламента и Совета от 23 октября 2007 года по оценке и управлению рисками паводков (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32007L0060:EN:NOT>
- EU, 2014g. Директива 2008/1/ЕС (96/61/ЕС) от 15 января 2008 года по интегрированному контролю и предотвращению загрязнения (Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control). <http://eur-ex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:0029:en:PDF>
- EU, 2014h. Директива 2000/60/ЕС Европейского парламента и Совета (от 23 октября 2000 года), устанавливающая рамки для действий Сообщества в сфере водной политики (Водная рамочная Директива – ВРД: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:EN:NOT>
- Clean Water Act – CWA. www2.epa.gov/laws.../summary-clean-water-act
- Safe Drinking Water Act – SDWA. www.epa.gov/safewater/sdwa/sdwa.html

2.2.2. Принципиальные Положения европейской и национальных систем мониторинга Природных Вод

2.2.2.1. Принципиальные положения европейской системы мониторинга природных вод

Объектами управления и мониторинга в Водной рамочной Директиве являются все виды вод, в том числе внутренние (поверхностные и подземные), транзитные и прибрежные. Статья 8 ВРД устанавливает требования для мониторинга состояния поверхностных и подземных вод

на охраняемых в экономическом отношении территориях и декларирует “Программы мониторинга, необходимого для создания последовательного и всестороннего обзора состояния воды в пределах каждого района речного бассейна”.

Целью мониторинга является обобщенное оценивание состояния природных вод в пределах каждого района речного бассейна, по результатам которого все поверхностные водные объекты относятся к пяти, а подземные воды – к двум группам (классам).

Результаты полноценного мониторинга должны включать следующую информацию:

- Отнесение водного объекта к определенному классу.
- Химическое состояние всех подземных водных объектов или групп объектов, находящихся в зоне экологического риска.
- Надежную оценку состояния всех подземных водных объектов или групп объектов.
- Оценка направления и скорости течения в подземных водных объектах, пересекающих границы государств – членов ЕС. Эта информация должна использоваться для прогнозирования долгосрочных тенденций, а также для оценки результатов изменений как в естественных условиях, так и вследствие антропогенной деятельности.
- Оценка нагрузки по загрязнениям, передаваемым через межгосударственные границы или сбрасываемым в море.
- Оценка изменения состояния водных объектов.
- Причины, препятствующие достижению экологических целей в разрезе водных объектов.
- Размеры и последствия аварийного загрязнения.
- Тренинги для отладки и координации совместных действий.
- Оценка соответствия стандартам и функциям охраняемых территорий.
- Количественную оценку исходных условий (если они существуют) для поверхностных водных объектов.

Виды мониторинга

Водная рамочная Директива выделяет три типа мониторинга поверхностных вод:

- наблюдение (surveillance monitoring);
- оперативный мониторинг (operational monitoring).
- расследование (investigative monitoring).

По химическому состоянию подземных вод наблюдение и оперативный мониторинг не требуются. Для подземных вод требуется сеть контроля уровня воды, которая обеспечит надежную оценку количественного состояния всех подземных объектов или групп объектов, включая оценку и пересмотр имеющихся ресурсов подземных вод. Эти виды мониторинга должны быть подкреплены программами контроля, учитывающими условия экологически охраняемых территорий.

Директива определяет качественные характеристики составляющих классификации экологического состояния, которые включают

гидроморфологические, химические и физико-химические показатели, обеспечивающие биологическую ценность и чистоту воды (подробнее – в п. 2.2.3.3).

- При **наблюдении** поверхностных вод государства – члены ЕС должны контролировать все параметры, указывающие на все биологические, гидроморфологические и общие физико-химические показатели качества как минимум год. Этот список первоочередных веществ, сбрасываемых в бассейны рек или под бассейны, должен контролироваться. Другие загрязнители также должны быть проверены, если они сбрасываются в значительных количествах в бассейны или под бассейны рек. Наблюдение проводится для сбора информации при разработке программ мониторинга, при оценке изменений природных условий и изменений под воздействием антропогенной деятельности, для последующей классификации водных объектов.

- При **оперативном мониторинге** в первую очередь проверяются те биологические и гидроморфологические показатели качества воды, которые наиболее чувствительны к техногенным или природным нагрузкам. При этом предметом контроля (исследований) являются как вещества-загрязнители, сбрасываемые в воду в значительных количествах, так и сам водный объект. При проведении оперативного мониторинга важно правильно выбрать место его проведения.

Наблюдение и оперативный мониторинг, а в некоторых случаях – расследование, проводятся для установления причин отклонения показателей состояния водного объекта, для определения масштабов загрязнения (случайного, аварийного).

Реализация и сроки

За последние годы государства – члены ЕС переработали свои программы мониторинга с целью удовлетворения требований Директивы. Программы должны были быть введены в действие к концу 2006 года; в крайнем случае, государства-члены обязаны были сообщить о реализации своих программ мониторинга в Европейскую комиссию еще в начале 2007 года. Достигнутые результаты выполнения Директивы представлены в базе данных Европейской информационной системы о воде (WISE).

2.2.2.2. Принципиальные положения норвежской системы мониторинга природных вод

Норвегия приняла Водную рамочную Директиву ЕС в качестве государственных требований вместе с установленными в ней требованиями по мониторингу и отчетности. Норвежское управление охраны окружающей среды является ответственным учреждением в области мониторинга и отчетности по качеству воды. Кроме того, различные программы мониторинга на условиях контракта реализуют и другие компетентные организации. Например, NIVA (Норвежский институт водных исследований) осуществляет мониторинг качества воды в озерах, реках, а также в прибрежных водах Норвегии. Качество подземных вод контролируется норвежской геологической службой.

Вся информация о результатах мониторинга норвежских вод находится в свободном доступе в различных и регулярно обновляемых базах данных. Например, база данных “Vannmiljø” является инструментом, который природоохранные органы используют для контроля, учета и анализа состояния рек, озер и прибрежных вод.

База данных способствует эффективному использованию информации, получаемой от широкой сети измерительных станций и от реализации плановых программ измерений, осуществляемых специализированными организациями и местными органами власти. Национальная система мониторинга вод обеспечивает обобщение и анализ результатов проведенных программных работ по мониторингу воды на национальном, региональном и местном уровнях, а также координацию существующих и планируемых мероприятий по мониторингу водных ресурсов Норвегии.

2.2.2.3. Основные положения системы мониторинга природных вод в некоторых странах Содружества Независимых государств

В странах Содружества Независимых Государств (СНГ), как и в странах ЕС и Норвегии, мониторинг является важнейшим инструментом обеспечения надлежащего состояния (качества) водных объектов. Объектом мониторинга являются поверхностные и подземные воды.

Мониторингом состояния поверхностных водных объектов в СНГ занимаются, как правило, специализированные организации, имеющие соответствующее методическое обеспечение, материально-техническую базу и квалифицированный персонал. Выбор параметров для осуществления мониторинга должен полностью соответствовать набору показателей, используемых для оценки экологического состояния водных объектов и их классификации.

Мониторинг водных объектов в Украине осуществляют несколько государственных органов, главным образом Министерство экологии и природных ресурсов (Минприроды), Государственное агентство водных ресурсов Украины. Мониторинг гидрохимических показателей ведется в 240 пунктах на 374 гидрометрических постах на 151 водном объекте. Гидробиологические наблюдения проводятся в 82 пунктах на 159 гидрометрических постах в 39 водных объектах. Обе сети представляют данные по 46 параметрам и помогают оценить химический состав, биогенные параметры и наличие взвешенных и органических частиц. Наблюдательные пункты расположены на крупных реках, водохранилищах и озерах, вблизи основных городских районов. Создана сеть мониторинга прибрежных вод, наблюдательные станции которой расположены в прибрежных районах Черного и Азовского морей.

В Беларуси мониторинг поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям на территории Республики Беларусь проводится в 301 пункте наблюдений, включая 35 трансграничных участков водотоков, расположенных вблизи государственной границы Республики Беларусь. Регулярными наблюдениями охвачен 161 водный объект, из них 87 водотоков и 74 водоема. Плотность сети мониторинга

на территории республики сегодня составляет 1,4 пункта наблюдений на 1 тыс. км² страны. Среди основных речных бассейнов Беларуси в наибольшей степени охвачены наблюдениями водные объекты бассейна р. Западная Двина (2,4 стационарных пункта на 1 тыс. км²), в наименьшей – бассейна р. Припять (0,9 стационарных пунктов на 1 тыс. км²). Важным направлением мониторинга поверхностных вод являются наблюдения за состоянием трансграничных участков рек в рамках выполнения международных соглашений. Сеть трансграничного мониторинга включает 35 пунктов наблюдений.

В Казахстане мониторинг водных объектов ведет Республиканское государственное предприятие “Казгидромет” Министерства окружающей среды и водных ресурсов Республики Казахстан. Большинство пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши совмещены с гидрологическими станциями и постами. При этом обязательным является определение не только гидрохимических, но и гидрологических характеристик (расходов и уровней воды, средней скорости потока и т.д.). Сеть наблюдений за состоянием качества поверхностных вод проводится на 105 водных объектах, включая 71 реку, 16 озер, 14 водохранилищ, 3 канала и 1 море на 176 гидрологических постах и 240 гидрохимических створах.

В Таджикистане уполномоченным органом в области охраны окружающей среды в Республике Таджикистан является Комитет по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Мониторинг водных объектов осуществляется подразделениями Комитета, такими как Государственное учреждение по гидрометеорологии и Центр аналитического контроля. До 90-х годов мониторинг предусматривал проведение наблюдения на всех крупных и важных в народном хозяйстве республики водоемах и водотоках – на 54 водных объектах: 47 реках, 5 озерах и 2 водохранилищах (26 станций, 104 пункта). В настоящее время количество пунктов и программа наблюдений несколько сократились.

Во всех странах информация о результатах мониторинга представляется в виде текстовых документов на сайтах организаций, которые ведут эту работу, и доступна для ознакомления.

С целью совершенствования национальных систем мониторинга поверхностных и подземных вод ведется работа по практической реализации основных положений ВРД в части мониторинга с учетом особенностей каждого государства.

В соответствии с приложением V к ВРД, необходимо наблюдать за состоянием всех водных объектов, используемых для потребления из них в среднем более 100 м³ воды в день (по обновленным положениям ВРД – более 10 м³ в день, или обслуживающим более 50 человек). Для проведения мониторинга природных вод в СНГ создана сеть наблюдения (постов наблюдения) на водных объектах, которая обеспечивает оценку состояния поверхностных вод и их классификацию в зависимости от значений установленных показателей.

Частота мониторинга устанавливается в зависимости от вида водного объекта (река, озеро, прибрежные воды, переходные воды) и со-

ставляет для биологических показателей от 1 раза в 6 месяцев до 1 раза в 3 года; гидроморфологических – 1 раз в 6 лет, за исключением гидрологического режима (для рек – ежедневно, для озер – 1 раз в месяц); физико-химических – 1 раз в 3 месяца; приоритетных загрязняющих веществ – 1 раз в месяц.

Предусматриваются дополнительные условия мониторинга для охраняемых водных объектов, в частности тех, что используются в качестве источника водоснабжения при расходах более 100 м³ в сутки. Частота мониторинга таких объектов устанавливается в зависимости от мощности (расхода воды) и составляет для расхода до 10 тыс. м³ – 4 раза в год, для расхода от 10 тыс. до 30 тыс. м³ – 8 раз в год, свыше 30 тыс. м³ – 12 раз в год. Контролируемыми показателями при этом должны быть приоритетные загрязняющие вещества и другие загрязняющие вещества, содержащиеся в значительных количествах.

Методы мониторинга показателей качества водных объектов и подземных вод в части отбора проб, выполнения измерений должны соответствовать международным стандартам ISO и европейским стандартам EN. Допускается также использование в СНГ национальных стандартов, гарантирующих получение данных такой же степени точности и сопоставимости, как ISO и EN. На национальном уровне составляются реестры (перечни) методик выполнения измерений, которые разрешено использовать для целей мониторинга. Эти методики должны проходить обязательную метрологическую аттестацию.

Методы анализа должны обеспечивать возможность определения загрязняющего вещества в воде в концентрациях на уровне 30% от установленного стандарта качества окружающей среды (СКОС) с неопределенностью не ниже 50%. Если СКОС отсутствует или отсутствует метод определения, контроль проводится с использованием наилучших имеющихся методов, не влекущих за собой чрезмерные затраты. Технические требования к химическому анализу и мониторингу состояния воды в СНГ устанавливаются, как правило, в соответствии Директивой ЕС 2009/90/ЕС.

Лаборатории и центры, которые проводят мониторинг качества воды, должны соответствовать требованиям ISO IEC 17025 “Общие требования к компетентности испытательных калибровочных лабораторий”. Лаборатории должны подтверждать компетентность путем участия в программах профессионального тестирования и использовать в практике работы стандартные образцы, позволяющие обеспечить контроль содержания загрязняющих веществ в соответствии с действующими требованиями.

2.2.2.4. Мониторинг качества природных вод для купания (рекреации)

Согласно Директиве 2006/7/ЕС, государства обязаны обозначить морские прибрежные и внутренние воды для купания и осуществлять мониторинг качества воды в течение пляжного сезона. Под воды для купания (для пляжных зон) подпадают такие воды, где купание официально разрешено компетентным органом (органом, ответственным за

определенный водоем), а также воды, где купание является привычной практикой со значительным количеством купающихся. Качество воды должно проверяться каждые две недели в течение пляжного сезона, а также за две недели до его начала.

На основе данных по качеству воды, собранных в течение пляжного сезона, водоемам присваивается 4-уровневая классификация: неудовлетворительный, удовлетворительный, хороший и отличный уровни. Классификация присваивается на основании наблюдений, которые ведутся определенное время (например, 1–3 года). Там, где качество воды сохранялось на неизменно хорошем уровне в течение трех лет, частота взятия проб может быть снижена, таким образом уменьшая затраты.

Там, где качество воды в водоемах неудовлетворительно на протяжении длительного периода времени, должны предприниматься своевременные меры по закрытию пляжей. Если качество воды не соответствует стандартам, то должны разрабатываться и осуществляться мероприятия по доведению показателей состояния водных объектов до требуемых.

Информация о присвоенной водоему классификации, результаты мониторинга качества воды и другая информация должны быть предоставлены общественности по первому требованию посредством размещения такой информации в непосредственной близости от водоемов, а также в средствах массовой информации и в Интернете.

2.2.2.5. Правовое регулирование охраны и использования водных ресурсов

Водная рамочная Директива ЕС является правовой основой для управления и охраны водных ресурсов и обязательной для всех государств – членов ЕС, а также для государств, которые приняли принципы этой Директивы. Во-первых, страны должны идентифицировать и проанализировать европейские воды на основе отдельных речных бассейнов и районов. Во-вторых, они должны разработать планы и программы мероприятий по охране и экологической стабилизации водных объектов применительно к каждому отдельному водному объекту (см. раздел 2.2.1).

Водная рамочная Директива создала основу для защиты внутренних поверхностных вод, подземных вод, переходных и прибрежных вод. В рамочной Директиве сформулирован ряд целей, таких как предотвращение и сокращение загрязнения, содействие устойчивому использованию воды, охрана окружающей среды, улучшение водных экосистем и смягчение последствий наводнений и засух.

Административные процедуры

Страны должны определить все бассейны рек, лежащих на их государственной территории, и вычленив соответствующее территориальное расположение речных бассейнов. Бассейны рек, охватывающие территорию более чем одного государства, будут отнесены к разряду международных речных бассейнов.

Страны должны назначить компетентный орган для применения правил, предусмотренных в рамочной Директиве, в пределах каждого очередного расположения речного бассейна.

Идентификация и анализ вод

Страны должны выполнять:

- анализ особенностей каждого района речного бассейна;
- обзор влияния антропогенной (человеческой) деятельности на воду;
- экономический анализ водопользования;
- регистрацию областей и регионов, требующих особой защиты;
- обследование всех водных объектов, используемых для потребления из них воды человеком, мощностью более 10 м³/день, или обслуживающих более 50 человек.

Этот анализ должен был быть представлен в 2004 году, пересмотрен в 2013 году и далее – пересматриваться каждые шесть лет.

2.2.2.6. Понятие о мониторинге и о контроле водопотребления и водоотведения

Все Директивы, регулирующие основные направления деятельности в области водоснабжения и водоотведения, содержат положения, касающиеся мониторинга и контроля. В охране окружающей среды мониторинг и контроль обычно разделяют, полагая, что мониторинг как система наблюдения, анализа и прогноза состояния компонентов окружающей среды создает информационную базу для разработки планов, программ. Цель **контроля** – определить соответствие объекта контроля требованиям законодательства. Контролируемыми параметрами являются нормативы качества и нормативы допустимого воздействия. По результатам контроля к нарушителям могут применяться различные санкции административного, экономического или юридического характера.

Параметры, характеризующие качество воды, подлежат контролю: при использовании централизованной системы (цистерны) – в помещениях на выходе из крана (цистерны), где обычно отбирают воду; для бутилированной воды и воды в контейнерах – в точке, из которой вода поступает в бутылки или контейнеры; при использовании воды на предприятиях по производству продуктов питания – в точке использования. Отбираемые образцы должны быть представительными относительно качества воды, поставляемой в течение года. В некоторых случаях несоответствие параметров воды нормативам связано с неудовлетворительным состоянием домашних водораспределительных систем, о чем владельцы должны быть оповещены для принятия соответствующих мер.

На государственном уровне должна быть создана система регулярного контроля воды, предназначенной для употребления людьми. В странах СНГ этой работой занимаются центры гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья. Компетентные органы должны разрабатывать программы мониторинга всей воды, предназначенной для употребления людьми. Порядок проведения контроля регулируется процедурой, регламентированной на уровне государства. Требования к системе контроля в области питьевого водоснабжения приведены в приложении 11 к Директиве 98/83/ЕС.

При проведении контроля должны соблюдаться технические условия проведения измерений, регламентированные нормативными документа-

ми. В странах ЕС должны использоваться методы, приведенные в приложении III к Директиве 98/83/ЕС. Государства должны время от времени проводить дополнительный контроль по веществам и микроорганизмам, для которых не установлены нормативы, но имеется информация, что они могут присутствовать в количествах, представляющих потенциальную опасность для здоровья людей.

2.2.2.7. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением

2.2.2.7.1. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в мире

Хотя в настоящее время нет такого глобального авторитетного органа, отслеживающего использование вод и борьбу с загрязнениями, различные комиссии и департаменты ООН пытаются собирать и предоставлять данные из различных источников. В частности, отчет по текущему состоянию и по изменениям (развитию) водных ресурсов мира (World Water Development Report), публикуемый каждые три года, предоставляет многоаспектные сведения по использованию водных ресурсов, загрязнению окружающей среды и по очистке вод.

Ежегодное глобальное использование пресной воды выросло с 3790 км³ (из которых потребление составило 2070 км³, или 61%) в 1995 году до 4430 км³ (из которых потребление составило 2304 км³, или 52%) в 2000 году. Рисунок 2.1 иллюстрирует водопотребление в мире. В 2000 году извлечено около 57% мировых запасов пресной воды, 70% из этого количества добыто в Азии, где расположены основные орошаемые земли в мире. В будущем ежегодное глобальное использование воды, как ожидается, будет расти примерно на 10–12% каждые 10 лет, дос-

Рисунок 2.1.

Водозабор и потребление воды по континентам (GRIDA-UNEP, 2008)

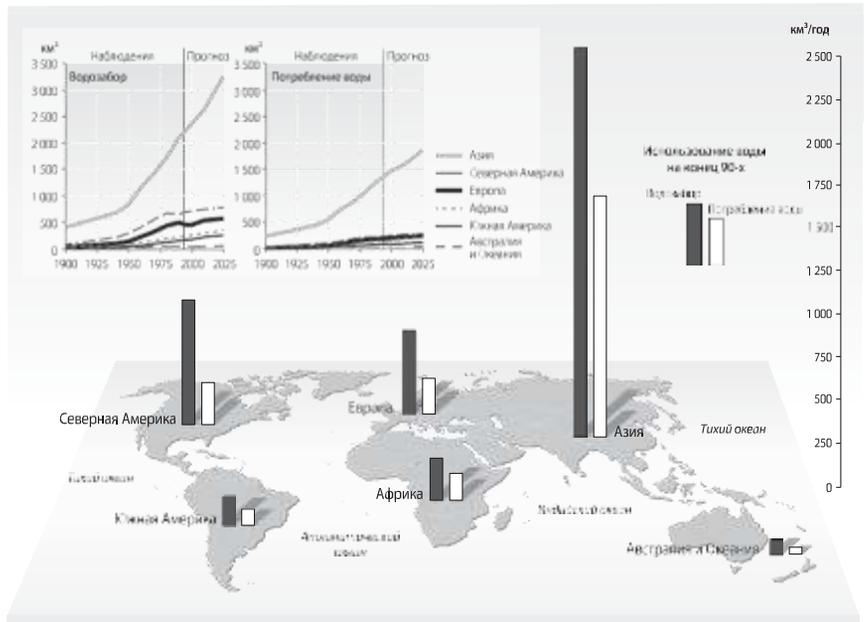


Рисунок 2.2.

Коэффициент очистки сточных вод (GRIDA-UNEP, 2010)



таблица 2.1. Состояние поступления (забора) и очистки сточных вод в мире (WHO&UNICEF, 2000)

Регион	Население с канализационной системой в больших городах, %	Доля очищенных сточных вод до вторичного уровня, %
Северная Америка	96	90
Европа	92	66
Азия (кроме Японии и Южной Кореи)	45	35
Латинская Америка и Гавана	35	14
Африка	18	< 1

тигнув примерно 5240 км³ (или увеличившись в 1,38 раза с 1995 года) к 2025 году. Расход воды будет расти более медленными темпами – в 1,33 раза. В ближайшие десятилетия наиболее интенсивной скоростью водозабора, как ожидается, будет в Африке и Южной Америке (рост в 1,5–1,6 раза), а наименьший рост пройдет в Европе и Северной Америке (в 1,2 раза). Отсутствие адекватной очистки сточных вод (рис. 2.2), особенно в развивающихся странах, является основной проблемой относительно качества воды и здоровья человека (табл. 2.1).

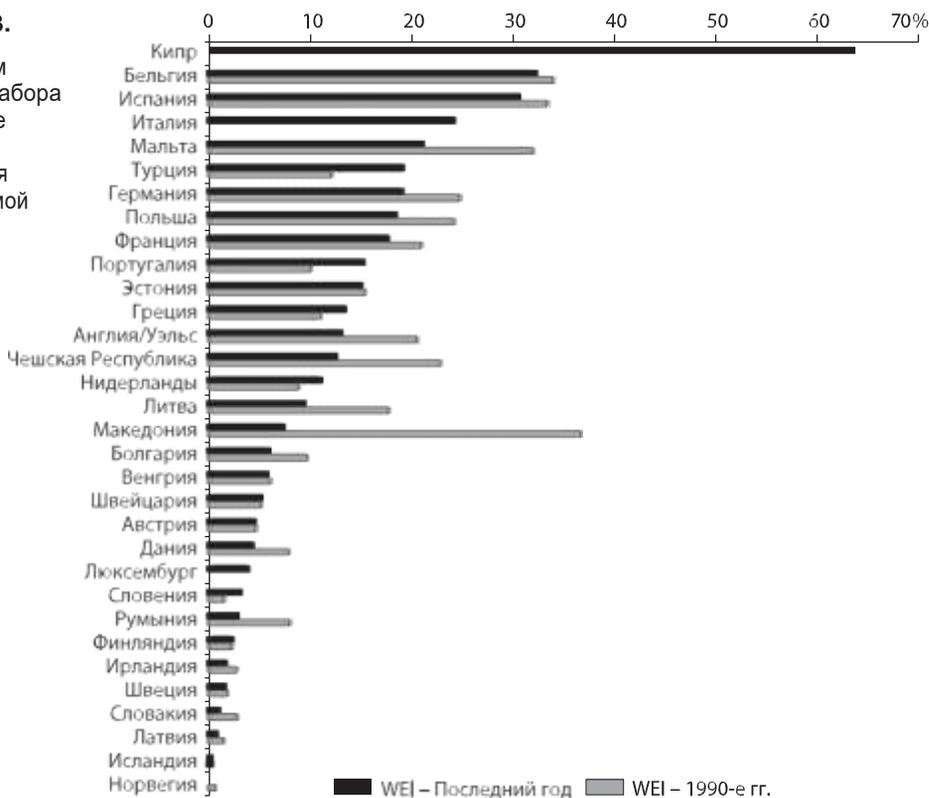
2.2.2.7.2. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением ЕС

Потребление воды и требуемая степень очистки сточных вод лучше документированы в ЕС и ряде других соседних стран, что обусловлено требованиями Водной рамочной Директивы ЕС, инициативой Европейского агентства по окружающей среде (ЕЕА).

Извлечение (рис. 2.3) и использование водных ресурсов может рассматриваться как стабильное в долгосрочной перспективе в большинстве стран Европы.

Рисунок 2.3.

Общий объем ежегодного забора воды в Европе в процентах от имеющейся возобновляемой воды в 1990 и 2010 годах (ЕЕА, 2012)



Тем не менее в конкретных регионах могут возникать проблемы, связанные с нехваткой воды, особенно в южной части Европы, где должно быть достигнуто повышение эффективности в сельскохозяйственном водопользовании с целью предотвращения сезонного дефицита воды. Регионы с малым количеством осадков, высокой плотностью населения или интенсивной производственной деятельностью также могут столкнуться с вопросами устойчивого состояния ресурсов пресной воды в ближайшие годы. Проблемы могут возникнуть и усугубляться спонтанными изменениями природных водных ресурсов, климатическими катаклизмами и особенностями систем управления состоянием и использованием пресной воды.

Уровень водоотведения и методы очистки сточных вод весьма различаются по странам в Европе (на рис. 2.4 представлено сравнение водоотведения и очистки сточных вод в разные годы).

2.2.2.7.3. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в Норвегии

Общий объем забора воды в Норвегии является крайне низким по сравнению с количеством возобновляемой воды. На рис. 2.5 представлено распределение водозабора в Норвегии.

Только 15% питьевой воды используется в Норвегии из подземных источников, что довольно сильно отличает ее от многих стран Европы (рис. 2.6).

Рисунок 2.4.

Водоотведение и методы очистки сточных вод в Европе в разные годы (ЕЕА, 2012)

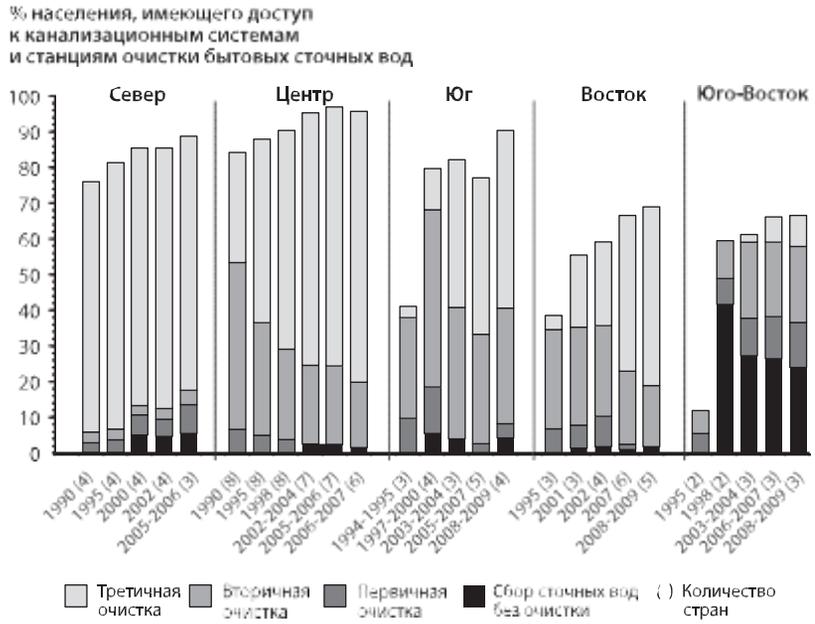


Рисунок 2.5.

Распределение извлеченной в Норвегии воды по основным потребителям в 1999, 2003 и 2007 годах (OECD, 2012)

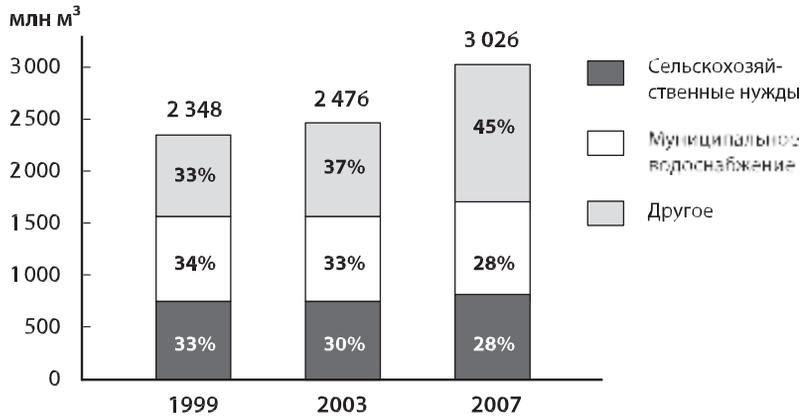


Рисунок 2.6.

Использование подземных вод для питьевого водоснабжения в Европе (NGU, 2008)

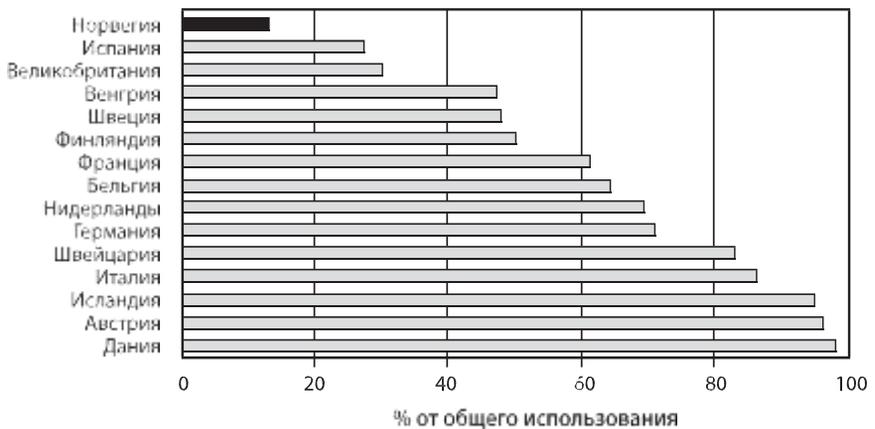
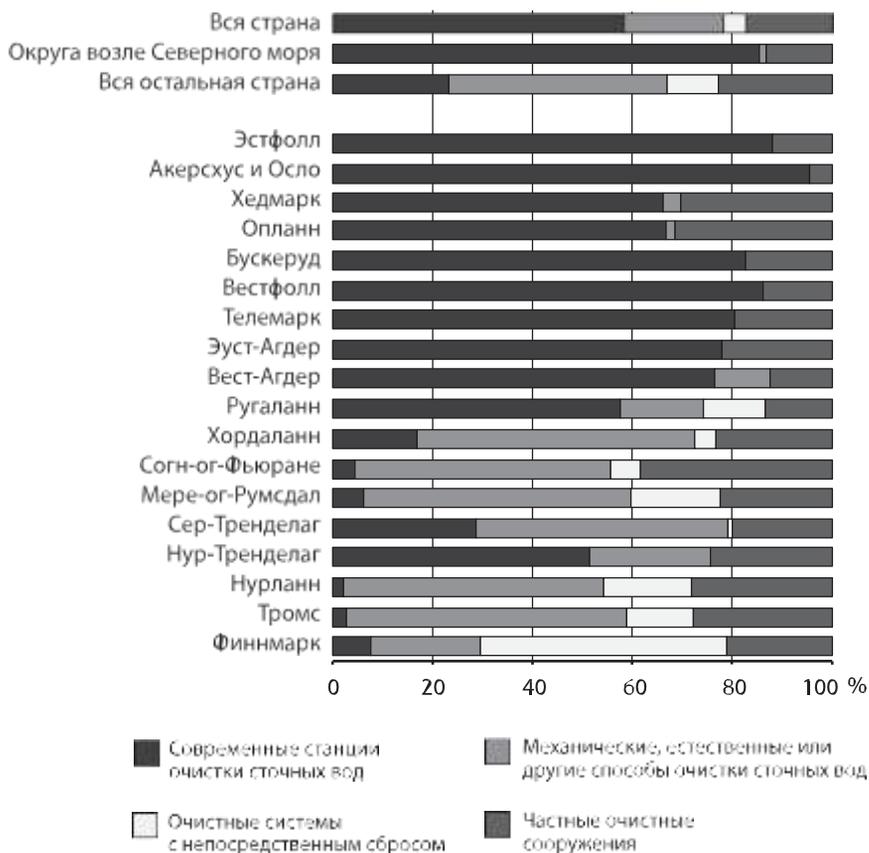


Рисунок 2.7.

Доля населения, обеспеченного станциями водоочистки разного типа в Норвегии (SSB, 2009)



Сточные воды в Норвегии, как правило, хорошо очищаются, особенно в районах вдоль Северного моря, где осуществляется очистка стоков третьего порядка с весьма хорошими результатами по остаточному содержанию фосфатов, органических веществ, взвешенных частиц, а также по удалению соединений азота (~70%). На рис. 2.7 представлено распределение систем водоочистки по регионам Норвегии.

2.2.2.7.4. Общие сведения о контроле водоотведения (сброса сточных вод) в странах СНГ

Контроль сброса сточных вод в поверхностные водные объекты, как правило, производится в странах СНГ специально уполномоченным органом с привлечением аккредитованных лабораторий. Контроль промышленных сточных вод, отводимых в сети канализации, проводит предприятие, где эти сточные воды образуются, и организация, которая владеет (эксплуатирует) очистные сооружения канализации. В обоих случаях по результатам контроля принимается решение о соответствии или не соответствии состава сточных вод установленным нормативам по допустимым концентрациям. На основании оформленных в установленном порядке результатов испытаний принимается решение (в случае превышения нормативов) о привлечении нарушителя к ответственности.

Литература к разделу 2.2.2

- EEA, 2012: The European environment – state and outlook 2010. <http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis>
- GRIDA-UNEP, 2008. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters – 2nd Edition, GRID-Arendal. <http://www.grida.no/graphicslib>
- GRIDA-UNEP, 2010. Sick Water – The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development, Grid Arendal. <http://www.grida.no/publications/rr/sickwater/>
- NGU, 2008, Groundwater management and monitoring, Geological survey of Norway. <http://www.ngu.no/en-gb/hm/Resources/Groundwater/Management-and-monitoring/>
- OECD, 2012. Environmental Performance Reviews – Norway 2011. <http://www.oecd.org/norway/47689079.pdf>
- Statistics Norway, 2009: Natural Resources and the Environment. Statistics Norway. <http://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/sa109/sa109.pdf>
- WHO & UNICEF, 2000. Global water supply and sanitation assessment 2000 report. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf?ua=1
- УНЕСЕ, 2009. Прогресс в совершенствовании наблюдений, сбора данных и представлении отчетности по окружающей среде. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2009/ECE/CEP/AC.10/ECE.CEP.AC.10.2009_5.r.pdf
- Казгидромет, 2014. Мониторинг окружающей среды, Гидрометслужба Казахстана. http://www.kazhydromet.kz/ru/mon_oksreda
- РЦПКМ, 2013. Результаты мониторинга за 2012 год. Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды (РЦПКМ). <http://rad.org.by/articles/voda/rezultaty-monitoring.html>

2.2.3. нОРмиРоВание ВоДопОтРебЛения и ВоДоотВеДения

В большинстве стран мира законодательно устанавливаются два основных вида нормативов, регулирующих деятельность в области водопотребления, водоотведения и охраны водных ресурсов: нормативы качества воды и нормативы допустимого воздействия (нагрузки) на водные объекты. В дополнение к ним могут устанавливаться технологические нормативы водопотребления и водоотведения, которые применяются для контроля за использованием водных ресурсов, для обоснования потребности в воде на различные нужды. Нормативы качества могут относиться к воде, подготовленной для использования, используемой или планируемой для использования на какие-либо нужды, к воде водных объектов или самим водным объектам.

Нормативы качества, в зависимости от того, к какому объекту контроля они применяются, являются основой для: выбора способов подготовки воды к использованию, для классификации состояния водных объектов, для оценки эффективности выполнения планов по улучшению состояния водных объектов и проведения контроля.

Нормативы допустимого воздействия относятся к источникам воздействия на водные объекты (сточные воды, диффузные источники загрязнения, другие потоки загрязняющих веществ, в той или иной форме поступающие в водные объекты). Нормативы качества в зависимости от того, исходя из каких условий и ограничений они установлены, можно разделить на гигиенические и экологические.

2.2.3.1. Принципиальные положения общей системы гигиенического нормирования экологических факторов

Гигиенические нормативы устанавливаются для защиты от негативного влияния на человека химических веществ и микроорганизмов, присутствующих в воде (питьевая вода, вода для купания и др.). Экологические нормативы устанавливаются для защиты водных экосистем, сохранения биоразнообразия и обеспечения их устойчивого функционирования.

Объектом гигиенического нормирования (в мире, Европе, странах СНГ) является вода, предназначенная для употребления людьми, поставляемая в централизованные системы водоснабжения, источники централизованного водоснабжения (поверхностные и подземные воды), источники нецентрализованного водоснабжения, вода для купания (пляжные зоны).

Определение значений гигиенических нормативов представляет собой довольно сложную задачу, решение которой требует обобщения и анализа большого объема информации и, часто, проведения экспериментальных исследований (испытаний).

Методология гигиенического нормирования базируется на двух подходах. Первый из них основан на положении, согласно которому для загрязняющего вещества может быть установлена такая концентрация (предельно допустимая концентрация – ПДК) в среде, взаимодействующей с человеком, при которой не фиксируются отрицательные изменения в здоровье человека на протяжении всей его жизни.

Второй базируется на оценке риска (вероятность наступления неблагоприятного исхода, связанного с потреблением воды, содержащей вредные вещества), исходя из допустимого значения которого устанавливаются допустимые значения концентраций загрязняющего вещества в воде. Эти подходы не исключают, а взаимодополняют друг друга.

Первый подход. При выполнении работы по установлению ПДК вредных химических веществ в воде, в компонентах окружающей среды основываются на принципах пороговости и этапности.

Принцип пороговости основан на учете того, что живой организм до определенных пределов способен приспосабливаться к воздействию вредных факторов. Если воздействие вредного фактора переходит этот предел, в организме происходит срыв приспособительных реакций, развиваются патологические процессы и возникает болезнь.

Согласно принципу этапности, работа по нормированию содержания опасных химических веществ в различных средах проводится в определенной последовательности и включает аналитический этап (оценка физико-химических свойств), токсикометрию (определение основных параметров токсичности). Токсикометрия, в свою очередь, включает проведение исследований по определению параметров острой токсичности (острая токсикометрия или, проще, острые опыты, в которых определяются среднесмертельные дозы и концентрации, – LD_{50} или CL_{50} , представляющие собой средние дозы (мг/кг) или концентрации (мг/дм³) вещества, вызывающие гибель половины членов испытываемой группы.

Далее следуют подострый эксперимент и хронический санитарно-токсикологический эксперимент. Все исследования проводятся на лабораторных животных.

Подострый эксперимент позволяет выявить наличие кумулятивных свойств у исследуемого вещества и наиболее уязвимые системы организма, объективно подойти к постановке основного этапа токсикометрии, связанного с определением параметров токсичного действия в условиях хронического эксперимента. В подостром эксперименте испытывается большой набор токсикологических тестов, оценивающих воздействие химического вещества на сердечно-сосудистую систему, нервную систему, желудочно-кишечный тракт, выделительную систему и иные функции и системы организма.

Пороговое значение концентрации вещества, обладающего выраженным токсическим действием, по которому устанавливается значение ПДК, определяется в хроническом эксперименте и представляет собой наименьшую концентрацию, вызывающую отрицательные изменения в организме лабораторного животного.

Экспериментально обоснованные гигиенические нормативы в установленном порядке утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей среды, санитарно-эпидемиологического надзора и вводятся в действие.

Существующие процедуры и методики обоснования нормативов ПДК, как правило, редко учитывают комбинированное действие нескольких веществ, а также эффекты комплексного воздействия, при котором вредные вещества поступают в организм с водой, через кожные покровы и др.

Перечисленных недостатков в определенной степени лишена процедура определения гигиенических нормативов на основе оценки риска. В основу *второго подхода* положена оценка риска для человека (индивидуального риска), определение экспозиции, или среднесуточной дозы (количества опасного вещества, поступившего в организм за определенный период времени, мг/(кг \square сут)) и оценка вероятности летального исхода или болезни, которая зависит, помимо экспозиции, от свойств опасного вещества. Этот подход наиболее развит и давно используется в практике нормирования содержания опасных веществ в различных средах в США. Активно используется он для определения степени опасности различных веществ и в странах Европы, и в ряде стран СНГ (страны бывшего Советского Союза – СССР). Нормативы максимальных среднегодовых концентраций загрязняющих веществ для водных объектов, в соответствии с требованиями ВРД, также устанавливаются на основе данных по оценке риска.

Для определения среднесуточной дозы необходимо оценить концентрацию загрязняющего вещества в соответствующей среде, контактирующей с человеком. Такая оценка может быть выполнена с использованием математических моделей (рассеивания, разбавления, осаждения, накопления и т.д.) или по результатам мониторинга (для реального – фактического – загрязнения).

В общем случае *среднесуточная доза I*, мг/(кг \square сут), может быть рассчитана из соотношения

$$I = (C \square CR \square ED \square EF) / (BW \square AT \square 365), \quad (2.1)$$

где C – концентрация вещества в среде; CR – объем (количество) носителя загрязняющего вещества (воздух, вода, пища и др.), поступающего в организм (контактирующего) человека в течение суток; ED – продолжительность воздействия, лет; EF – частота воздействия, сут/год; BW – масса тела человека; AT – период осреднения экспозиции, лет; 365 – число дней в году.

С учетом особенностей носителя загрязняющего вещества и продолжительности контакта, указанное соотношение может преобразовываться. Так, при оценке количества загрязняющего вещества, поступающего в организм человека с пищей, учитывается особенность восприятия химического вещества с пищей. В случае кожного контакта человека с загрязненной водой учитывается площадь контактирующей кожи и ее проницаемость для конкретного вещества. Среднесуточная доза определяется для каждой среды и по каждому веществу.

При прогнозировании индивидуального риска в расчетах значения I используют усредненные характеристики: потребление воды – 2 дм³/сут, поверхность кожи, контактирующая с водой (при купании), – 0,7–1,9 м², средняя масса человека – 70 кг, средняя продолжительность жизни – 70 лет и т.д.

Наибольшую сложность представляет поиск количественных закономерностей, связывающих суточную дозу с вероятностью ущерба здоровью человека (зависимость “доза – эффект”). Такие закономерности могут быть получены в токсикологических экспериментах на группах животных с последующей экстраполяцией на человека, что связано с большой неопределенностью. Зависимость “доза – эффект”, обоснованная большим объемом статистических данных по здоровью населения, находящегося под воздействием вредного фактора, более надежна. Однако зависимость, найденная для одной человеческой популяции, необязательно справедлива для другой, подвергающейся воздействию иного комплекса сопутствующих факторов. Располагая данными по суточной дозе и зависимостью “доза–эффект”, можно дать количественную оценку индивидуального риска.

Зависимость “доза–эффект” принципиально различается для канцерогенных и неканцерогенных веществ. Для неканцерогенных токсических веществ исходят из концепции пороговости действия и при оценке риска используют так называемые *референтные дозы* (RFD – Reference Dose) или *референтные концентрации* (RFC – Reference Concentration), при действии которых, как предполагается, не наблюдается отклонений в состоянии здоровья человека в течение всего периода жизни. Указанные дозы определяются для различных маршрутов поступления загрязняющих веществ и периодов действия.

Величину риска в этом случае можно оценить *показателем* R_{nk} , который может быть определен по следующему выражению:

$$R_{nk} = I / RFD. \quad (2.2)$$

Однако такую оценку риска следует рассматривать только как вероятностную. Полученный показатель, характеризующий риск, дает

лишь представление об опасности повышения среднего уровня заболеваемости.

При оценке зависимости “доза – эффект” для канцерогенов, которые относятся к веществам с беспороговым действием, исходят из того, что любой дозе этого вещества в среде, контактирующей с человеком, соответствует определенный уровень опасности (риска). Основным параметром для расчета индивидуального риска, связанного с действием канцерогенных факторов, является так называемый *фактор наклона* (Slope Factor – SF), который представляет собой коэффициент пропорциональности между среднесуточной дозой и вероятностью онкологического заболевания у человека. SF выражается в $[мг/(кг \cdot сут)]^{-1}$ и является мерой риска, возникающего на единицу среднесуточной дозы канцерогена. SF различается в зависимости от маршрутов поступления вещества. Для расчета индивидуального риска используется линейная или экспоненциальная модель, описывающая зависимость “доза – эффект”.

При относительно малых среднесуточных дозах индивидуальный риск канцерогенной опасности может быть определен по соотношению

$$R_i = I \cdot SF. \quad (2.3)$$

Для высоких среднесуточных доз индивидуальный риск может рассчитываться по экспоненциальной модели

$$R_i = 1 - e^{-I \cdot SF}. \quad (2.4)$$

Показатели индивидуального риска рассчитываются для всех канцерогенных веществ и маршрутов поступления (контакта). Суммарный индивидуальный риск воздействия канцерогенных факторов определяется как сумма показателей индивидуального риска по всем веществам и маршрутам поступления.

Индивидуальный риск для человека равен произведению фактора канцерогенного потенциала на экспозицию.

При определении экспозиции и оценки риска учитываются все возможные пути поступления опасного (загрязняющего) вещества в организм человека. Для питьевой воды это перорально, ингаляция (поступление химических веществ, испаряющихся из питьевой воды), накожно (купание, душ). Для водного объекта, который используется в качестве источника водоснабжения, для добычи рыбы и других гидробионтов, а также для купания учитывается поступление опасного вещества с водой, рыбой, которая обитает в водоеме, другими гидробионтами, которые используются в пищу, а также через кожу при купании. Определение величин популяционных канцерогенных рисков (P_k), отражающих дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, проводится по формуле

$$P_k = R_i \cdot P, \quad (2.5)$$

где R_i – индивидуальный канцерогенный риск; P – численность исследуемой популяции, чел.

Суммарный индивидуальный риск определяется для всех возможных путей поступления и для всех известных канцерогенных (потенциаль-

но канцерогенных) веществ, содержащихся в среде, контактирующей с человеком. Затем рассчитывается суммарная величина риска для всех канцерогенных веществ, присутствующих в окружающей среде:

$$R_s = \sum R_1^i + \sum R_2^i + \dots + \sum R_j^i + \sum R_m^i, \quad (2.6)$$

где $i=1\dots n$ – пути поступления канцерогенов в организм человека; $j=1\dots m$ – канцерогенные вещества.

Затем необходимо сравнить полученное значение с уровнем приемлемого риска. Как правило, значения индивидуального допустимого (предельно допустимого) риска находятся в пределах 10^{-4} – 10^{-6} . Для оценки уровня риска используется следующая классификация (табл. 2.2).

таблица 2.2. Уровни риска

Уровень риска	Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск	Коэффициент опасности развития неканцерогенных эффектов (HQ)
Чрезвычайно высокий	10–1	>10
Высокий	10–1–10–3	5–10
Средний	10–3–10–4	1–5
Низкий	10–4–10–6	0,1–1,0
Минимальный	менее 10–6	менее 0,1

Пример расчетного определения риска здоровью человека, связанного с потреблением питьевой воды, а также задачи для самостоятельного решения, приведены в приложении к главе 2.

Используя величину допустимого индивидуального риска (в разных странах она разная, обычно это не более 10^{-6}) и оценку риска, выполненную для какого-либо вещества, можно рассчитать концентрацию загрязняющего вещества для воды водного объекта, при которой не превышает допустимый риск для человека. Численное значение индивидуального риска представляет собой отношение числа летальных исходов (болезни) к числу подверженных неблагоприятному воздействию (рискующих) за год. Индивидуальный риск 10^{-6} означает, что один человек из миллиона в течение года может заболеть (умереть) от действия неблагоприятного фактора (например, от загрязнения воды).

Информацию по указанным показателям, используемым для оценки риска, можно найти, например, в интегральной информационной системе по риску EPA (Integrated Risk Information System – IRIS) на сайте www.epa.gov/iris.

Литература к разделу 2.2.3.1

ЕCHA, 2003. Technical Guidance Document on Risk Assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances. http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/risk_assessment_of_Biocides/doc/tgd

- EPA, 2014. Integrated Risk Information System – IRIS. US Environmental Protection Agency. www.epa.gov/iris
- WHO, 2011. Руководство по обеспечению качества питьевой воды, Всемирная организация здравоохранения. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/ru/
- Минздрав РФ, 2004. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals). Р 2.1.10.1920-04. Москва, 2004.

2.2.3.2. Гигиеническое регламентирование качественных и количественных показателей питьевой воды

Стандартизация качества питьевой воды. Научное обоснование гигиенических требований и нормативов качества питьевой воды является основанием для разработки и утверждения официальных нормативных документов (государственных стандартов, санитарных правил и норм), внедрение которых в практику водоснабжения населения является одним из важнейших профилактических мероприятий. Стандартизация качества питьевой воды имеет глубокие исторические корни. Основания для признания воды безопасной для здоровья населения изменялись с накоплением знаний в сфере медицины и биологии. На протяжении столетий был пройден сложный путь от простой органолептической оценки по внешним признакам до разработки современных гигиенических принципов нормирования и стандартов качества питьевой воды.

Гигиенические нормативы для воды, принятые в разных странах, могут отличаться, что связано как с уровнем развития гигиены и эпидемиологии, так и с экономическими, национальными и другими факторами. Государства – члены ЕС обязаны проводить мониторинг качества питьевой воды, поставляемой их жителям, а также воды, используемой в пищевой промышленности, по 48 микробиологическим и химическим параметрам, указанным в Директиве 98/83/ЕС. Контроль качества питьевой воды проводится непосредственно у потребителя. Не является объектом гигиенического нормирования в ЕС вода, предназначенная для употребления людьми из индивидуального источника производительностью менее 10 м³ в день, или обслуживающего менее 50 человек, если эта вода не попадает в коммерческую или общественную сеть.

Питьевая вода должна отвечать требованиям 4 групп критериев безопасности: микробиологические, химические, индикаторные и радиационные. Для воды, используемой человеком на различные нужды, помимо оценки токсичности проводится оценка влияния вещества на органолептические свойства воды. Критерии безопасности питьевой воды в различных странах принципиально не отличаются. Отличия касаются перечня нормируемых веществ и подходов к их обеспечению. В табл. 2.3 приведен пример нормативов качества питьевой воды, принятых в различных странах.

В основу европейских стандартов положены критерии и стандарты ВОЗ для питьевой воды. Государства – члены ЕС должны устанавливать стандарты не ниже тех, что установлены Директивой 98/83. Они могут включать дополнительные показатели безопасности питьевой воды

таблица 2.3. Нормативы качества питьевой воды (химические параметры) в различных странах

Наименование показателя	Украина	Беларусь	Казахстан	Таджикистан	США	ЕС
Запах, баллы	2*	2*	21	2	3* ^в	Пр ^{1,и}
Привкус, баллы	2*	2*	21	2	–	Пр ^{1,и}
Цветность, град.	20 (35)**	20 (35)**	20 (35) ²	20 (35)****	15** ^в	Пр ^{1,и}
Жесткость общая, ммоль/дм ³ не более	7 (10)***	7,0	7,0 (10) ²	7,0 (10)****	–	–
pH	6,5–8,5	6,0–9,0	6,0–9,0	6–9	6,5–8,5 ^в	6,5–9,5
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ не более	4,0	5,0	5,0	5	–	5,0
Нефтепродукты, мг/дм ³ не более		0,1	0,1	0,1	–	
Алюминий (остаточный), мг/дм ³ не более	0,2	0,5	0,5	0,5	0,05–0,2 ^в	0,2 ^и
Нитраты, мг/дм ³ не более	45,0	45,0	45,0	45,0	44,0	50,0
Свинец, мг/дм ³ не более	0,01	0,03	0,3	0,03	0,015	0,01
Селен, мг/дм ³ не более	0,01	0,01	0,1	0,01	0,05	0,01
Фториды, мг/дм ³ не более	1,5	1,5	–	В условиях: высокогорья – 1,5; среднегорья – 1,2; долины – 0,7	2,0 ^в	1,5
Железо, мг/дм ³ не более	0,3	0,3	0,3 (1,0) ²	0,3 (1,0)****	0,3 ^в	0,2 ^и
Марганец, мг/дм ³ не более	0,1	0,1	0,1 (0,5) ²	0,1 (0,5)****	0,05 ^в	0,05 ^и
Сульфаты, мг/дм ³ не более	250 (500)	500,0	500,0	500	250,0 ^в	250,0 ^и
Сухой остаток, мг/ дм ³ не более	1000 (1500)	1000,0	1000 (1500) ²	1000 (1500)****	500 ^в	–
Хлориды, мг/дм ³ не более	250 (350)	350,0	350,0	350	250,0 ^в	250,0 ^и
Цинк, мг/дм ³ не более	–	5,0	5,0	5,0	5,0 ^в	–
Хлороформ, мг/дм ³ не более	0,06	0,2	0,2 ²	0,2***	0,082	0,1 ³
Медь, мг/дм ³ не более	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0–1,3 ^в	2,0

Примечание: * – показатель разведения (ПР), до исчезновения запаха, привкуса; ** – нефелометрические единицы мутности (НЕМ); *** – указанные в скобках величины допускаются с учетом конкретной ситуации; **** – величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водо-подготовки; ² – нормативы приняты в соответствии с рекомендациями ВОЗ; Пр^{1, и} – приемлемый для потребителей; ^и – индикаторные показатели качества питьевой воды; ^в – вторичные (рекомендуемые) стандарты качества питьевой воды; ³ – общее содержание тригалометанов.

в том случае, если доказана их значимость для здоровья населения на их территории (статья 5 Директивы 98/83).

Микробиологические параметры, установленные для питьевой воды в разных странах, отличаются несущественно. В табл. 2.4 и 2.5 приведены микробиологические и индикаторные параметры питьевой воды, установленные Директивой 98/83/ЕС.

Отличием Директивы 98/83/ЕС от украинского, белорусского, российского водного законодательства является требование проводить

таблица 2.4. Микробиологические параметры питьевой воды

Параметр	Величина параметра (число/100 см ³)
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0
<i>Enterococci</i>	0
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0/250 см ³
<i>Enterococci</i>	0/250 см ³
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 см ³
Подсчет колоний при 22°C	100/см ³
Подсчет колоний при 37°C	20/см ³

таблица 2.5. Индикаторные параметры питьевой воды

Параметр	Величина параметра
Алюминий, мкг/дм ³	200
Аммоний, мг/дм ³	50
Хлориды, мг/дм ³	250
<i>Clostridium perfringens</i> (включая споры)	0
Цвет	Приемлемый для потребителя
Проводимость, мкСм/см	250
pH	6,5–9,5
Железо, мкг/дм ³	200
Марганец, мкг/дм ³	50
Запах	Приемлемый для потребителя
Окисляемость, мг/дм ³	50
Сульфаты, мг/дм ³	250
Натрий, мг/дм ³	200
Радиоактивность	
Тритий, Бк/дм ³	100
Общая индикационная доза, мСв/год	0,10

контроль качества питьевой воды непосредственно у потребителя, а не только на выходе из водоочистных сооружений. Объектом контроля является также питьевая вода, расфасованная в емкости (цистерны, бутылки и пр.), и вода, используемая для производства в пищевой промышленности. К питьевой воде, расфасованной в бутылки, предъявляются более жесткие требования по микробиологическим показателям, чем к водопроводной (табл. 2.5).

Обращает внимание тенденция сокращения перечня контролируемых показателей. До введения в действие Директивы 98/83/ЕС перечень обязательных для контроля параметров включал 66 показателей, после введения – 48. Подчеркивая, что задачей Директивы ЕС 98/83 является защита здоровья потребителей в Евросоюзе, новый перечень стандартов качества содержит только те показатели, влияние которых на здоровье человека доказано.

Невозможно обеспечить стабильное качество питьевой воды, только используя соответствующие технологии очистки. Лишь комплексный подход, предполагающий установление критериев качества для всех этапов подготовки воды к использованию – от источника до потребителя, обеспечение их безусловного выполнения, в том числе и за счет контроля, позволяет решить эту задачу. Этот подход декларируется ВРД путем установления требований по определению и полной характеристике водных объектов, которые используются или будут использоваться для получения питьевой воды, разработке и реализации планов поддержания или обеспечения “хорошего” состояния таких объектов, в том числе и путем ограничения поступления загрязняющих веществ из организованных и диффузных источников. В странах ЕС, согласно требованиям Директивы, все поверхностные и подземные воды с немногими допустимыми исключениями к 2015 году должны достичь “хорошего состояния”.

В США требования к качеству питьевой воды установлены Safe Drinking Water Act (Закон о безопасной питьевой воде). Данный Закон распространяется на все государственные системы водоснабжения в США. Контроль качества воды должен проводиться независимыми лабораториями. Закон не распространяется на частные колодцы и на воду в бутылках. Бутилированная вода регулируется Законом о пищевых продуктах, лекарствах и косметических средствах. Отличительной особенностью нормирования качества питьевой воды в США является то, что они разработаны Агентством по охране окружающей среды (EPA) на основе оценки риска для здоровья населения, связанного с потреблением воды, и подразделяются на первичные (обязательные – National Primary Drinking Water Regulations) и вторичные (рекомендуемые – National Secondary Drinking Water Regulations).

В обязательных стандартах, которые должны соблюдаться на всей территории США, установлены нормативы по 83 веществам, в том числе по 53 органическим и по 7 микробиологическим показателям.

Вторичные (рекомендуемые) стандарты (табл. 2.6) регулируют органолептические (вкус, запах или цвет) показатели, а также содержание веществ, которые могут вызвать внешние, “косметические” изменения в организме (например, изменение цвета кожи или зубов). В то же время, EPA хотя и не обязывает, но рекомендует соблюдать эти стандарты на уровне отдельных штатов и принимать их в качестве обязательных. Тем самым устанавливаются стандарты качества воды, действующие на территории определенного штата.

В стандартах качества питьевой воды США, в отличие от аналогичных документов стран ЕС и других стран, указываются потенциальные эффекты воздействия на здоровье в случае превышения установленных нормативов, а также наиболее распространенные источники загрязнения питьевой воды.

Объектом нормирования является, помимо питьевой воды, и качество воды для купания (в природных водоемах), культурно-бытового водопользования, для рыбохозяйственных целей, для купания (для пляжных зон) как в пресных водоемах, так и в морских прибрежных водах. Например, в табл. 2.7 приведены значения предельно допустимых кон-

таблица 2.6. Вторичные (рекомендуемые) стандарты качества питьевой воды в США (EPA, 2013а)

Показатель	Рекомендуемый норматив
Алюминий	от 0,05 до 0,2 мг/дм ³
Хлориды	250 мг/дм ³
Цветность	15 град.
Медь	1,0 мг/дм ³
Коррозионная активность	Отсутствие
Фториды	2,0 мг/дм ³
Пенообразователи	0,5 мг/дм ³
Железо	0,3 мг/дм ³
Марганец	0,05 мг/дм ³
Запах	Три пороговых числа (балла) запаха
pH	6,5–8,5
Серебро	0,1 мг/дм ³
Сульфаты	250 мг/дм ³
Общее количество растворенных твердых веществ	500 мг/дм ³
Цинк	5 мг/дм ³

таблица 2.7. ПДК некоторых веществ в воде водоемов различного назначения Российской Федерации

Показатель	ПДК р.-х., мг/дм ³	ПДК к.-б., мг/дм ³
БПК ₅	2,0–3,0	4,0–6,0
Азот аммонийный	0,4	2,0
Фосфаты	0,2 – для эвтрофных водоемов	–

Примечание: ПДК р.-х., мг/дм³ – предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей; ПДК к.-б., мг/дм³ – предельно допустимая концентрация в водоемах питьевого и культурно-бытового водопользования.

центраций (ПДК) для некоторых веществ в воде водоемов различного назначения в Российской Федерации.

Директива ЕС по качеству воды, например, для купания, принятая в 1976 году, была одной из самых первых составляющих природоохранного законодательства в Европе. Новая Директива, принятая в 2006 году (Директива 2006/7/ЕС) взамен старой, отменила последнюю в 2014 году.

Основными инструментами, обеспечивающими достижение целей, поставленных в Директиве 2006/7/ЕС, являются установление стандартов качества воды, требований по мониторингу, отчетности и проведению измерений на соответствие стандартам. В то время как Директива 1976 года требовала мониторинга девятнадцати параметров, новая Директива сократила данный список всего до двух микробиологических показателей, характеризующих наличие кишечных инфекций: коли-инфекция и кишечный энтерококк. Это объясняется тем, что фекалии,

например, из-за недостаточно эффективной очистки канализационных вод и загрязнений отходами животноводства, представляют собой основную угрозу для здоровья купающихся, а все остальные возможные загрязнители контролируются в рамках ВРД. Успех в выполнении требований Директивы 2006/7/ЕС напрямую зависит от других природоохранных мероприятий, особенно принятых в рамках Директивы 91/271/ЕЕС, Директивы 2008/1/ЕС и Директивы 91/676/ЕЕС по нитратам сельскохозяйственного происхождения.

В Украине, Беларуси, России, Казахстане, Таджикистане и других странах СНГ гигиенические требования к качеству питьевой воды, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения и предназначенной для потребления населением в питьевых и бытовых целях, для использования в процессах переработки продовольственного сырья и производства пищевых продуктов, их хранения и продажи в торговой сети, а также для производства продукции, требующей применения воды питьевого качества, независимо от типа источника водоснабжения (поверхностный, подземный), от системы обработки воды на водопроводной станции и от количества потребителей, централизованно устанавливаются национальными правилами и нормами.

Так, например, в Украине это новые, введенные в 2010 году, государственные санитарные правила и нормы (ГСанПиН (в украинской транскрипции “ДСанПиН”) 2.2.4-171-10 “Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения”.

Применяемые в Республике Кыргызстан стандарты и технические регламенты основаны на системе нормативов качества поверхностных вод (НКПВ), разработанной еще в 1960–1970 годах, либо заимствуют положения современных нормативов Российской Федерации и международных стандартов ISO. При этом нередко используются морально устаревшие нормы, не учитывающие специфику состояния водного фонда и условий водопользования в Республике Кыргызстан, появления новых технологий и технических средств мониторинга, а также новые подходы к регулированию качества вод, выработанных странами Европейского Союза. Они также не предусматривают проведения отдельного учета контролируемых химических веществ, а также систематического контроля ряда химических и микробиологических ингредиентов, наличие которых зарегистрировано в отдельных водных объектах страны. Часть требований, содержащихся в национальных стандартах и регламентах, фактически не реализуется вследствие дефицита государственного финансирования соответствующих мероприятий, а также слабости материально-технического и кадрового потенциала организаций, осуществляющих мониторинг. Поэтому в Республике Кыргызстан фактически контролируется ограниченное число показателей качества воды, причем в сокращенном числе створов.

Приоритетными действиями по дальнейшему развитию национальной кыргызской системы стандартов и регламентов, связанных с водой и здоровьем, должны являться:

- определение и утверждение классов качества водных ресурсов, критериев и показателей качества вод, отнесенных к каждому классу;
- разработка и утверждение нового национального стандарта классификации качества водных ресурсов на основе унифицированных показателей;
- уточнение видов загрязняющих веществ, характерных для водных бассейнов Республики Кыргызстан, их воздействие на состояние водных экосистем и ограничение важнейших видов водопользования;
- разработка и утверждение на уровне национального стандарта нового Приоритетного перечня загрязняющих веществ;
- пересмотр и утверждение новых редакций национальных стандартов, нормирующих требования к процедурам мониторинга, методам и средствам измерений показателей качества воды;
- разработка и утверждение технического регламента, регулирующего условия приема сточных вод в централизованные системы канализации и сброса сточных вод в водные объекты.

В последние годы в Республике Кыргызстан предпринимаются меры по совершенствованию стандартов и регламентов в указанных направлениях. В частности, в 2012 году вступил в силу Технический регламент “О безопасности питьевой воды”, который регулирует принципы, процедуры и организационные меры по обеспечению безопасности питьевой воды. Регламент установил уточненные нормативные показатели безопасности питьевой воды для централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения и транспортных средств, требования к качеству воды нецентрализованных источников, а также к количеству и периодичности отбора проб воды для лабораторных исследований в пунктах водозабора. Предусмотренные в Регламенте виды исследований питьевой воды включают микробиологические и паразитологические показатели, обобщенные показатели (запах, привкус, цветность, мутность, рН, жесткость, общее солесодержание, окисляемость, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества), содержание неорганических и органических веществ, радиологические показатели и показатели, связанные с технологией водоподготовки.

Содержание этого Регламента гармонизировано с Директивой совета ЕС “О качестве воды, предназначенной для употребления людьми” (98/83/ЕС) и Руководством ВОЗ по обеспечению качества питьевой воды. В нем также учтены основные положения международных договоров и Соглашения Всемирной торговой организации (ВТО) по техническим барьерам в торговле и требования природоохранных конвенций, стороной которых является Республика Кыргызстан.

Дальнейшие меры внедрения норм Регламента предусматривают:

- расширение номенклатуры исследований для проведения оценки соответствия воды установленным требованиям, разработку проектных предложений по поддержке лабораторной сети региональных Центров профилактики здоровья и экспертизы (ЦПЗиЭ) оборудованием, расходными материалами, оказание содействия в подготовке и прохождении аккредитации лабораторий, стандартизации проводимых исследований;

- проведение тренингов и обучающих семинаров для специалистов оперативных отделов и лабораторий ЦПЗиЭ по внедрению новых методик, технологий и оценке риска для здоровья человека;
- отработку системы межведомственного взаимодействия по проблеме водоснабжения населенных пунктов;
- обучение на регулярной основе специалистов методам отбора проб и лабораторных исследований воды на 3,4-бензпирен, ПХБ, тригалометаны.

В Казахстане принят ряд нормативно-правовых документов, таких как Программа “Питьевые воды” на 2002–2010 годы (СанПиН 2.1.4.1074-01 “Питьевая вода – Казахстан”); Концепция развития сектора водных ресурсов и политики гидроэлектроэнергии до 2010 года; Концепция экологической безопасности на 2004–2015 годы; Национальный план по интегрированному управлению водными ресурсами и водосбережению в Казахстане, и заключен ряд международных Соглашений по охране и использованию трансграничных рек с Российской Федерацией, со странами Центральной Азии, что стало важным шагом в решении водохозяйственных вопросов в стране.

В Беларуси качество воды централизованных систем водоснабжения регламентируется СанПиН 10-124 РБ 99 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества”, нецентрализованных – СанПиН 2.1.4.12-23-2006 “Санитарная охрана и гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения населения”.

В Республике Таджикистан правительством принята (постановление от 2 декабря 2006 года № 514) программа улучшения обеспечения населения чистой питьевой водой на 2008–2020 годы и утверждены СанПиН 2.1.4.004-07 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества”. Этим гигиеническим требованиям должна соответствовать вода перед поступлением в водораспределительные сети, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети, т.е. там, где потребитель (в частности, население) будет брать воду из кранов в помещениях жилых, общественных и других зданий и сооружений или же из еще имеющихся водозаборных устройств (колонок и прочее).

Следует отметить, что, к сожалению, контроль качества питьевой воды непосредственно у потребителя во многих развивающихся странах проводится эпизодически (нерегулярно, по требованию, в спорных ситуациях). В этом отличие от Директивы 98/83/ЕС, которая устанавливает требование проводить контроль качества питьевой воды непосредственно у потребителя, а не только на выходе из водоочистных сооружений.

Хотя национальные требования к качеству питьевой воды в странах СНГ по большинству установленных показателей соответствуют или близки к нормам в странах ЕС и США (табл. 2.3), все же есть ряд отличий.

В качестве примера можно привести Украину, где, в отличие от США и стран ЕС, перечень контролируемых показателей качества питьевой

воды увеличивается. Так, в 2010 году расширен перечень микробиологических показателей эпидемиологической безопасности питьевой воды за счет термотолерантных колиформных бактерий, спор сульфитредуцирующих клостридий и колифагов (табл. 2.8). В случае их обнаружения в повторно взятых пробах воды, а также по эпидемиологическим показаниям проводят исследование по определению патогенных бактерий кишечной группы и энтеровирусов; обязательным является также определение паразитологических показателей, в частности цист лямблий.

Введены нормативы питьевой воды по химическому составу (частично представлены в табл. 2.3): интегральные (окисляемость перманганатная, общий органический углерод), а также содержание в питьевой воде бария, бора, кадмия, никеля, ртути, хрома, цианидов, пестицидов (суммарно, а также отдельных веществ с учетом конкретной ситуации).

В перечень токсикологических показателей безвредности химического состава питьевой воды введены (табл. 2.9) тригалогенметаны (ТГМ), самым опасным среди которых является хлороформ. В 1994 году Международными нормами рекомендовано предельное содержание в воде суммы ТГМ на уровне 0,2 мг/дм³ и хлороформа – на уровне 0,03 мг/дм³. По данным экспертов ВОЗ, ежедневное употребление 2 дм³ такой воды на протяжении 70 лет жизни может привести к возникновению одного дополнительного случая новообразования на 100 тыс. лиц.

Определение ТГМ является обязательным при обеззараживании воды хлором. Согласно требованиям ВОЗ, соблюдение нормативов содержания ТГМ не должно быть достигнуто за счет ухудшения обеззараживания.

таблица 2.8. Показатели эпидемической безопасности питьевой воды в Украине (ГСанПиН 2.2.4-171-10)

Показатель, единица измерения	Показатель
Микробиологические	
Количество бактерий в 1 см ³ воды (общее микробное число, ОМЧ), КОЕ/см ³	Не более 100*
Количество бактерий группы кишечных палочек (колиформных микроорганизмов), т.е. индекс БГКП, КОЕ/дм ³	Не более 3**
Количество термостабильных кишечных палочек (фекальных колиформ), т.е. индекс ФК, КОЕ/100 см ³	Отсутствуют***
Количество патогенных микроорганизмов, КОЕ/дм ³	Отсутствуют***
Количество колифагов, БОЕ/дм ³	Отсутствуют***
Паразитологические	
Количество патогенных кишечных простейших (клетки, цисты) в 25 дм ³ воды	Отсутствуют
Количество кишечных гельминтов (клетки, яйца, личинки) в 25 дм ³ воды	Отсутствуют***

Примечание: * – для 95% проб воды в водопроводной сети, исследуемой в течение года; ** – для 98% воды, поступающей в водопроводную сеть и исследуемой в течение года. При превышении индекса БГКП на этапе идентификации выросших колоний воду дополнительно исследуют на наличие фекальных колиформ; *** – если обнаружены фекальные колиформы в двух последовательно отобранных пробах, следует в течение 12 часов начинать исследование воды на наличие возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной или вирусной этиологии (по эпидемиологической ситуации).

таблица 2.9. Токсикологические показатели безвредности химического состава питьевой воды

Показатель	Норматив (не более), мг/дм ³
Неорганические компоненты:	
Алюминий	0,2 (0,5)*
Барий	0,1
Бериллий	–
Молибден	–
Мышьяк	0,01
Полиакриламид остаточный	–
Селен	0,01
Свинец	0,01
Стронций	–
Никель	0,1
Нитраты	45,0
Фтор: I–II климатический пояс	1,5
III – климатический пояс	
IV – климатический пояс	
Органические компоненты:	
Тригалогенметаны (ТГМ, сумма)	0,1
Хлороформ	0,06
Дибромхлорметан	0,01
Тетрахлоруглерод	0,002
Пестициды (сумма)	0,0001
Интегральные показатели:	
Перманганатная окисляемость	4,0
Общий органический углерод	3,0

Примечание: * – величина, указанная в скобках, допускается при обработке воды реагентами, содержащими алюминий.

2.2.3.3. Гигиеническое регламентирование химических веществ в природных водах

Объектом управления водными ресурсами являются поверхностные (сосредоточены в реках, озерах, прибрежных и переходных водах) и подземные воды. Отправной точкой разработки планов управления водными ресурсами в пределах речного бассейна является исходное (начальное) и желаемое состояние водных объектов. На практике используются различные подходы к оценке состояния водных объектов и установлению показателей (нормативов), на основании которых она (оценка) производится.

Вопросам оценки экологического состояния и нормированию показателей, характеризующих это состояние, большое внимание уделяется в Водной рамочной Директиве. При оценке исходного состояния по результатам мониторинга поверхностные водные объекты делятся на пять классов экологического состояния: “высокий”, “хороший”, “умеренный”, “низкий” и “плохой”. Так как природные (естественные, фоновые) условия для поверхностных вод в разных странах разные, то государства должны разрабатывать собственные показатели экологического состояния (эталонные показатели), используя которые водные объекты относят к соответствующему классу – от “высокого” до “плохого”. В ВРД поставлена цель достижения “хорошего состояния” всех вод (по-

верхностных и подземных) к 2015 году. Это позволит в свою очередь обеспечить надлежащее качество питьевой воды при меньших расходах реагентов и затратах на очистку.

В США используются подходы и критерии для оценки качества водных экосистем, аналогичные действующим в странах ЕС.

Для характеристики состояния водных объектов используются биологические, гидроморфологические, физические и физико-химические (характеризующие условия существования компонентов водной экосистемы) показатели содержания загрязняющих веществ. Набор показателей может отличаться в зависимости от вида водного объекта (река, озеро и др.).

Биологические показатели характеризуют состав и обилие водной флоры; состав и численность донных беспозвоночных; состав, численность и возрастную структуру рыбной фауны (ихтиофауны).

К **гидроморфологическим показателям** относятся гидрологический режим, количество и динамика потоков воды, связь с подземными водами, глубина реки, структура прибрежной зоны и др.

К **физико-химическим показателям**, которые используются для классификации состояния поверхностных вод, относятся такие общие показатели, как температура, кислородный режим, содержание основных ионов и минерализация, рН, содержание питательных веществ (азот общий, нитриты, нитраты, фосфор общий, фосфаты).

Загрязняющие вещества, подлежащие контролю и нормированию, подразделяются на специфические (приоритетные) загрязняющие вещества и другие загрязняющие вещества, которые обнаруживаются в данном водном объекте в значительных количествах.

Перечень приоритетных веществ, которые подлежат обязательному контролю, приведен в ВРД и включает 33 вещества. По этим веществам должны в первоочередном порядке разрабатываться скоординированные планы действий по уменьшению или предотвращению их попадания в природные воды.

Процедура установления нормативов содержания химических веществ, в том числе приоритетных загрязняющих веществ (приложение VIII к ВРД), для охраны водной флоры и фауны предполагает их определение для воды, осадков или живых организмов.

Где это возможно, нужно получить данные о влиянии химических веществ на таксоны (организмы), характерные для данного типа вод (водоросли и /или макрофиты, дафнии или другие простейшие, представленные в соленых водах, рыба).

При определении максимальных среднегодовых концентраций загрязняющего вещества в соответствии с принципами, изложенными в техническом руководящем документе по оценке риска, разработанном в поддержку Директивы комиссии 93/67/ЕЕС по оценке рисков для новых регистрируемых веществ, и Регламенте комиссии (ЕС) № 1488/94 по оценке риска для существующих веществ, должны быть выбраны коэффициенты безопасности (1000, 100, 50, 10) с учетом полноты и надежности полученных данных по LD₅₀ или CL₅₀, или по хроническим дозам для перечисленных таксонов.

Хорошее экологическое состояние водных объектов характеризуется тем, что: биологические показатели состояния отклоняются от эталонных лишь незначительно; основные физико-химические показатели находятся на уровне, при котором обеспечивается нормальное функционирование экосистемы и все виды водопользования; содержание приоритетных загрязняющих веществ соответствует стандартам качества окружающей среды (СКОС).

Нормы содержания в воде веществ или групп веществ, борьба с загрязнением которыми требует первоочередных мер, устанавливает Директива 2008/105/ЕС “О стандартах качества окружающей среды в области водной политики”. Перечень включает 41 вещество (33 приоритетных вещества, определенных ВРД, и дополнительно 8 загрязняющих веществ, в том числе пестициды, тяжелые металлы, полиядерные ароматические соединения и др.).

Стандарты качества воды водных объектов установлены в виде нормативов среднегодовых допустимых концентраций и максимальных допустимых концентраций, значения которых для отдельных соединений приведены в табл. 2.10.

По результатам мониторинга качество экологического состояния поверхностных водных объектов оценивается по худшему из двух показателей: биологическому (экологическому) и химическому.

Состояние водных объектов по химическим показателям характеризуется только двумя оценками – плохое или хорошее. Химическое состояние водного объекта считается хорошим, если по результатам мониторинга все нормативы содержания загрязняющих веществ в воде, установленные соответствующими Директивами ЕС, не превышены.

Состояние поверхностного водного объекта определяется как “хорошее”, если его экологическое и химическое состояние можно назвать по меньшей мере хорошим.

таблица 2.10. Стандарты качества воды водных объектов, мкг/дм³
(Директива 2008/105/ЕС)

Наименование вещества	Внутренние поверхностные воды (реки, озера и связанные с ними искусственные или сильно измененные водные объекты)		Другие водные объекты	
	максимально допустимая концентрация	среднегодовая	максимально допустимая концентрация	среднегодовая
Бензол	10	8	50	50
Кадмий и его соединения	0,08–0,25	0,2	0,45–1,5	0,45–1,5
Дихлорметан	20	20	Не установлено	Не установлено
Свинец и его соединения	7,2	7,2	Не установлено	Не установлено
Пентахлорфенол	0,4	0,4	1,0	1,0
Бенз(а)пирен	0,05	0,05	0,1	0,1

В Казахстане, Украине, Российской Федерации, Кыргызстане, Таджикистане и в Беларуси длительное время водные объекты, как и в бывшем СССР, классифицировались **на водотоки и водоемы хозяйственно-питьевого** (использование водоема для централизованного или децентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности), **культурно-бытового** (использование водоема для массового отдыха населения, купания, занятий спортом) и **рыбохозяйственного водопользования**. В зависимости от направления водопользования устанавливались нормативы, характеризующие состав и свойства воды по общезначимым и органолептическим, химическим и бактериологическим показателям.

Для химических веществ были установлены ПДК. В нормативных документах для водных объектов хозяйственно-питьевого и **культурно-бытового водопользования**, наряду с величинами ПДК, указывался класс опасности и лимитирующий показатель вредности, по которому установлена ПДК: санитарно-токсикологический; общесанитарный; органолептический с расшифровкой характера изменения органолептических свойств воды (изменяется запах воды, увеличивает мутность и др.).

Нормативы качества воды рыбохозяйственных водных объектов устанавливались, исходя из обеспечения нормальной жизнедеятельности водных экосистем, в частности гидробионтов.

Нормативы качества (безопасности) воды водных объектов для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) водопользования устанавливались, исходя из обеспечения безопасного использования водных объектов по соответствующему направлению.

Требования к качеству воды водных объектов должны были соблюдаться в контрольном створе, расположенном в проточных водоемах ниже по течению от места сброса сточных вод на определенном расстоянии выше ближайшего пункта водопользования, в непроточных – на определенном расстоянии по обе стороны от него. Вид водопользования устанавливали, исходя из того, как этот водоем используется населением в ближайшем пункте от места сброса сточных вод. Вид водопользования устанавливают учреждения санитарно-эпидемиологической службы.

Водные объекты хозяйственно-питьевого водопользования, которые используются в качестве источников централизованного водоснабжения, по степени загрязнения воды делятся на три класса, в соответствии с которыми выбирается схема очистки и методы обработки. В свою очередь, рыбохозяйственные водные объекты делят на две категории.

В Республике Беларусь, к примеру, в перечне ПДК для водных объектов рыбохозяйственного водопользования содержится 672 вещества, однако из перечня приоритетных загрязняющих веществ ЕС нормативы установлены для 13 веществ. В перечне ПДК водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования содержится 1359 веществ, из перечня приоритетных загрязняющих веществ ЕС нормативы установлены для 17 веществ. В табл. 2.11 для сравнения приведены значения ПДК, установленные в ЕС и в Украине, Беларуси, Казахстане, Таджикистане для нескольких веществ.

таблица 2.11. Значения ПДК для некоторых веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования стран ЕС и ряда стран СНГ

Наименование вещества	Макс. СКОС/Средн. СКОС, мкг/дм ³	Беларусь ПДК р/х, мкг/дм ³	Украина ПДК р/х, мкг/дм ³	Казахстан ПДК р/х, мкг/дм ³	Таджикистан ПДК р/х, мг/дм ³
Кадмий и его соединения	0,45–1,5/ 0,08–0,25 (в зависимости от жесткости воды)	5	<0,1	1	0,001
Ртуть и ее соединения	0,07/0,05	0,01	<0,2	0,5	0,005
Никель и его соединения	Не уст./20	10	<20	100	0,1

В Украине, Беларуси, Российской Федерации, Кыргызстане, Казахстане, Таджикистане и др. при оценке качества (состояния) водных объектов широко использовались различные индексы, которые дают представление о степени загрязненности воды либо о ее качестве через систему показателей (химических, гидрохимических, бактериологических). Химические и гидрохимические показатели используются для расчета *индексов загрязнения воды (ИЗВ)*, комбинаторных индексов загрязнения воды (КИЗВ), удельных комбинаторных индексов загрязнения воды (УКИЗВ). Они рассчитываются по определенному числу показателей. По значениям индексов и принятой шкале (4–7 классов) устанавливается класс качества воды водных объектов.

Для оценки состояния водных объектов используется ряд индексов, коэффициентов, которые базируются на гидробиологических показателях (показатели, характеризующие степень эвтрофикации водного объекта, присутствие или отсутствие показательных организмов, биологического разнообразия и др.). Наиболее часто используются индексы сапробности (по Пантле и Букку, Ротшайну и др.), биотические индексы, которые рассчитываются по результатам микробиологического анализа видового состава организмов-сапробионтов (показательных организмов) в водных сообществах. Под влиянием загрязняющих веществ происходят изменения в качественном и количественном составе биоценозов. Сапробность дает представление о степени загрязнения воды разлагающимися органическими веществами и может характеризоваться *индексом сапробности S* (по Пантле и Букку):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^N h_i}, \quad (2.7)$$

где S_i – значение сапробности (индивидуальный индекс сапробности) гидробионта, которое задается специальными таблицами; h_i – относительная встречаемость индикаторных микроорганизмов; N – число выбранных индикаторных организмов.

Каждому индикаторному организму присвоено условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее его

таблица 2.12. Классификация водных объектов по индексу сапробности

Качество воды объекта	Значение S	Класс качества воды
Очень чистая	До 0,5	1
Чистая	Свыше 0,5–1,5	2
Умеренно загрязненная	Свыше 1,5–2,5	3
Загрязненная	Свыше 2,5–3,5	4
Грязная	Свыше 3,5–4,0	5
Очень грязная	Свыше 4,0	6

физиолого-биохимические свойства, обуславливающее его способность обитать в воде с содержанием определенных органических веществ. Достоверность результатов наблюдений обеспечивается в том случае, если в пробе содержится не менее 12 индикаторных организмов при общем числе особей в поле наблюдения не менее 30.

Классификация водных объектов по значению индекса сапробности приведена в табл. 2.12.

Аналогичная классификация производится на основе значений других индексов.

Как уже отмечалось, при совершенствовании водоохранного законодательства ряда стран СНГ (Беларусь, Украина, Казахстан и др.) ставка делается, прежде всего, на ВРД ЕС. Из нее предполагается позаимствовать не только принцип бассейнового управления водными ресурсами, но и оценку качества поверхностных вод при проведении мониторинга, приблизить схемы комплексного использования и оценки водных ресурсов к планам управления речным бассейном.

Для подземных вод нормативы качества в странах СНГ, как правило, не устанавливаются. Так как подземные воды являются приоритетным источником питьевой воды, то для оценки их качества часто используются нормативы, установленные для питьевой воды.

В ЕС Директивой 2006/118/ЕС установлены стандарты качества подземных вод по содержанию нитратов (50 мг/дм³) и пестицидов (0,1 мкг/дм³ – для индивидуальных веществ и 0,5 мкг/дм³ – для суммы пестицидов). По другим загрязняющим веществам государства ЕС устанавливают пороговые значения на национальном уровне, на уровне бассейнового района реки или части международного района бассейна реки, находящегося в пределах территории государства, или на уровне подземных вод или группы подземных вод. При определении перечня веществ, для которых должны быть установлены пороговые значения, руководствуются минимальным перечнем, приведенным в приложении II, часть В Директивы 2006/118, который включает вещества или ионы, которые попадают в подземные воды естественным путем или в результате деятельности человека (мышьяк, кадмий, свинец, ртуть, ионы аммония, сульфаты, хлориды), синтетические вещества (трихлоэтилен, тетрахлоэтилен), общее солесодержание (характеризуется электропроводимостью).

Литература к разделу 2.2.3

- EPA, 2013. Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals, US Environmental Protection Agency. <http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm>
- EPA, 2013a. Safe Drinking Water Act – SDWA. <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/index.cfm>
- EPA, 2013b. Drinking Water Contaminants, US Environmental Protection Agency. <http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>
- EU, 2013. Директива Совета 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 года по качеству воды для потребления людьми (Директива по питьевой воде): Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (Directive 98/83/EC). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0083:EN:NOT>
- Минздрав РК, 2010. Санитарные правила “Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, хозяйственно-питьевому водоснабжению, местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов”, Приказ министра здравоохранения Республики Казахстан. http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/standards.htm
- Минэкологии и биоресурсов РК, 1994. Правила охраны поверхностных вод Республики Казахстан, РНД 01.01.03-94. http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/standards.htm
- Минюст РФ, 1995. Перечень ПДК и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов, Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству, 1990.
- Показатели качества воды рыбохозяйственных водных объектов. Утверждены постановлением Минприроды Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь 8 мая 2007 г. № 43/42. <http://losbel.by/wp-content/uploads/2012/06/6.pdf>
- Росгидромет, 2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям РД 52.24.643-2002. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
- Росгидромет, 2003. Методические рекомендации Госкомгидромета по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
- Санитарные нормы Белоруссии, 2003. Гигиенические нормативы 2.1.5.10-21-2003. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минск. www.minzdrav.gov.by/dadwfiles/000351_738427_Gigiena_2152B_2003.pdf
- Санитарные нормы Украины, 2010а. Государственные санитарные нормы и правила “Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком”, ГСанПиН 2.2.4-171-10. http://home.chem.univ.kiev.ua/sol/specifications/water/sanpin_2.2.4-171-10.pdf
- Санитарные нормы Украины, 2010b. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН 4630-88. www.lawua.info/bdata5/ukr567/index.htm

2.3. нормирование сбросов химических веществ в водные объекты

У воды прекрасная память, и она вечно будет пытаться вернуться в исходное положение.

Тони Моррисон, писатель-фантаст

Поддержание надлежащего состояния водных объектов обеспечивается регулированием потоков загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами через организованные выпуски и диффузные источники (сток с территории, прилегающей к водному объекту).

Организованные источники. Основными инструментами регулирования сбросов загрязняющих веществ через организованные выпуски являются нормативы и требования, которые устанавливаются для: очистных сооружений; сточных вод, сбрасываемых в водные объекты и системы канализации; объектов, на которых образуются сточные воды и др. Общие подходы к регулированию водоотведения в большинстве стран схожи.

В странах ЕС очистка и сброс очищенных коммунальных сточных вод в водные объекты регламентируется Директивой 91/271/ЕЕС от 21 мая 1991 года “Об очистке коммунальных сточных вод”. Данная Директива касается сбора, очистки и удаления хозяйственно-бытовых, смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, а также очистки и удаления стоков предприятий некоторых отраслей промышленности. Директива устанавливает требования к сточным водам и частоте их контроля. Директивой установлены сроки введения в действие систем сбора сточных вод и очистных сооружений (биологическая очистка) в населенных пунктах в зависимости от эквивалента населения (определяется по показателю БПК₅ сточных вод).

Требования к сточным водам, отводимым в водный объект, устанавливаются по показателям БПК₅, ХПК, взвешенных веществ. По этим показателям устанавливается минимальная степень очистки, которая должна быть достигнута в процессе очистки (табл. 2.13).

При характеристике производственных сточных вод, близких по составу к хозяйственно-бытовым стокам, и коммунальных сточных вод используется показатель эквивалентного (приведенного) населения (*population equivalent*, эквивалент населения – ЭН), который, как правило, рассчитывается по БПК₅, но может быть рассчитан и по таким важным показателям, как ХПК (химическое потребление кислорода), содержание взвешенных веществ, фосфора общего, азота общего, ПАВ. Расчет эквивалентного населения ЭН, чел., производится по формуле

$$\text{ЭН} = (q_{\text{ст}} C) / N, \quad (2.8)$$

где $q_{\text{ст}}$ – расход сточных вод, м³/сут; C – концентрация загрязняющих

таблица 2.13. Требования к очищенным сточным водам (Директива 91/271/ЕЕС)

Название показателя	Значение	Минимальная степень очистки, %
БПК ₅ при 20 °С без нитрификации	25 мг О ₂ /дм ³	70–90 40, требование статьи 4, пункт 2 РВД
ХПК	125 мг О ₂ /дм ³	75
Взвешенные частицы	35 мг/дм ³ , 60 мг/дм ³ 35 – требование статьи 4, пункт 2 (при ЭН* 10 000); 60 – требование статьи 4, пункт 2 РВД (при ЭН* 2000–10 000)	90; 70 90 – требование статьи 4, пункт 2 (при ЭН* 10 000); 70 – требование статьи 4, пункт 2 РВД (при ЭН* 2000–10 000)

Примечание: * ЭН – эквивалент населения.

веществ в сточной воде, г/м³; *N* – количество загрязняющих веществ на одного человека, г/сут.

Количество загрязняющих веществ на одного человека должно составлять не более, г/сут: взвешенные вещества – 65; БПК₅ – 60; ХПК неосветленной жидкости – 120; азот общий – 9,9; фосфор общий – 1,8; поверхностно-активные вещества (ПАВ) – 2,5.

Требования к сточным водам, отводимым в водный объект, устанавливаются в зависимости от показателя “эквивалент населения” по БПК₅, поэтому он всегда рассчитывается для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации, а также используется при проектировании очистных сооружений.

При отведении сточных вод в водные объекты или участки водных объектов, склонные к эвтрофикации, устанавливаются дополнительные требования по содержанию соединений фосфора и азота (табл. 2.14).

Сточные воды крупных населенных пунктов с развитой промышленностью могут содержать множество загрязняющих веществ, отражающих профиль производственной деятельности предприятий и масштабы производства. Поэтому требуется регулирование содержания в сточных водах ряда специфических веществ, в первую очередь – опасных для человека и водных экосистем.

Примерный список основных загрязняющих веществ, для которых устанавливаются предельные величины сбросов, содержится в Директи-

таблица 2.14. Требования к содержанию соединений фосфора и азота в сточных водах, которые сбрасываются в чувствительные водные объекты (Директива 91/271/ЕЕС)

Название показателя	Значение	Минимальная степень очистки, %
Фосфор (P) общий	2 мг/дм ³ P (10 000–100 000 ЭН); 1 мг/дм ³ P (> 100 000 ЭН);	80
Азот (N) общий*	15 мг/дм ³ N (10 000–100 000 ЭН); 10 мг/дм ³ N (> 100 000 ЭН);	70–80

Примечание: * – азот общий обозначает сумму азота общего, определенного по методу Кьельдаля (сумма азота органического и аммонийного), азота нитратного и азота нитритного.

ве 96/61/ЕС “О комплексном предотвращении и контроле загрязнения (КПКЗ)”.

Список включает:

- хлорорганические и фосфорорганические соединения;
- оловоорганические соединения;
- вещества и препараты, обладающие канцерогенными или мутагенными свойствами;
- стойкие органические соединения и стойкие биоаккумулируемые органические токсические вещества;
- цианиды;
- мышьяк, металлы и их соединения;
- биоциды и препараты для защиты растений;
- взвешенные вещества;
- вещества, способствующие эвтрофикации (в особенности нитраты и фосфаты);
- вещества, влияющие на кислородный баланс (БПК и ХПК), и т.д.

В Директиве 2006/11/ЕС “О загрязнении, вызванном сбросами некоторых вредных веществ в водную среду”, которая развивает отдельные положения ВРД, установлены два списка химических веществ. Список 1 практически полностью повторяет вышеприведенный список. Загрязнение за счет сброса веществ, включенных в этот список, должно быть исключено. Для всех сбросов в воду, содержащих такие вещества, требуется предварительное разрешение компетентного органа государства – члена ЕС.

Список 2 включает вещества, оказывающие вредное воздействие на воду, которое имеет локальный характер и зависит от особенностей водного объекта, в который эти вещества сбрасываются, и места сброса.

В списке 2 приведены:

- 20 металлов и металлоидов: Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Se, As, Sb, Mo, Ti, Sn, Ba, Be, B, U, V, Co, Ta, Te, Ag;
- биоциды и их производные, не входящие в список 1;
- вещества, которые негативно влияют на вкус и/или запах продуктов питания, полученных из водной среды;
- токсичные или стойкие органические соединения кремния;
- неорганические соединения фосфора и элементарный фосфор;
- минеральные масла, углеводороды нефтяного происхождения;
- цианиды, фториды;
- вещества, негативно влияющие на кислородный баланс, в частности аммиак, нитриты.

В Беларуси, Украине и ряде других стран СНГ для всех выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты должны быть установлены “Нормативы допустимого сброса (предельно допустимого сброса) НДС”. Для отведения сточных вод используются в основном водотоки (реки). НДС (предельно допустимый сброс) – это масса загрязняющего вещества в сточных водах, максимально допустимая к сбросу в установленном режиме в единицу времени, при которой не превышаются нормативы качества воды (ПДК) в контрольном створе. НДС устанавливаются с учетом ПДК (предельно допустимых концентраций) в местах водопользования, ассимилирующей способности водного объекта. Исходными данными

для обоснования ПДС являются расход и концентрация загрязняющих веществ в сточных водах и их ПДК, гидрохимические и гидрологические характеристики водного объекта, в который отводятся сточные воды.

НДС устанавливаются для каждого загрязняющего вещества, в том числе, продуктов его трансформации, исходя из условия, что их концентрации не будут превышать гигиенические нормативы химических веществ и микроорганизмов в воде водного объекта в контрольном створе, расположенном на определенном расстоянии (например, не далее 500 м) от места выпуска. Нормативы допустимых сбросов используются при выдаче разрешения на водопользование, при осуществлении государственного контроля использования и охраны водных объектов, при установлении размеров платежей, связанных с использованием водными объектами, при оценке эффективности водоохраных мероприятий.

При обосновании нормативов допустимого сброса учитываются нормативы качества воды водных объектов применительно к виду водопользования; возможное смешение и разбавление водой водного объекта сточных вод на участке от места выпуска сточных вод до ближайшего контрольного створа (пункта) анализа качества воды; фоновый состав и качество воды водного объекта выше места рассматриваемого выпуска сточных вод по имеющимся данным за последние три года.

Основным показателем, используемым для расчета НДС, является коэффициент смешения сточных вод с водой водотока, который характеризует степень возможного смешения и разбавления сточных вод водой водотока на пути от места выпуска сточных вод до контрольного створа ближайших пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования. На коэффициент смешения влияют гидрологические характеристики водотока – расход воды в водотоке, скорость течения, глубина, извилистость, шероховатость дна и др. Немаловажное значение имеют расположение выпуска сточных вод, соотношение расхода сточных вод и расхода воды в водотоке, способность его к самоочищению, наличие других предприятий, использующих водный объект в качестве приемника сточных вод. Коэффициент смешения используется для расчета допустимой концентрации ($C_{д.к}$) загрязняющего вещества в сточных водах, сбрасываемых в водный объект. Допустимая концентрация химических веществ представляет собой максимальную концентрацию загрязняющего вещества в составе отводимых вод в поверхностный водный объект, соблюдение которой обеспечивает установленные нормативы качества воды водного объекта в контрольном створе.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод устанавливаются, как уже указано выше, для каждого нормируемого загрязняющего вещества с учетом типа сточных вод, нормативов качества воды водного объекта, фоновой концентрации нормируемых загрязняющих веществ в воде водного объекта, ассимилирующей способности водного объекта.

Для коммунальных сточных вод допустимые концентрации устанавливаются в порядке, который рассмотрен в *примере 3* (приложение к главе 2):

- по показателям БПК₅, ХПК, взвешенным веществам, азоту общему, фосфору общему – исходя из допустимых концентраций загрязняющих веществ;
- по остальным веществам, обязательным к нормированию, проводятся расчеты.

Для производственных сточных вод допустимые концентрации и нормативы допустимых сбросов устанавливаются по отраслям производства для веществ, обязательных к нормированию.

Величина НДС i -го загрязняющего вещества в составе отводимых вод в водный объект (за исключением поверхностного стока) определяется по формуле

$$ДС_i = q \square С_{ДС_i}, \quad (2.9)$$

где $ДС_i$ – НДС i -го вещества, г/ч; q – максимальный среднечасовой расход фактического периода отведения сточных вод, м³/ч; $С_{ДС_i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сбрасываемых сточных водах, мг/дм³.

Допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах без учета неконсервативности $С_{ДС_i}$, мг/м³, рассчитывается по формуле

$$С_{ДС_i} = [n (С_{ПДК_i} - С_{Ф_i})] + С_{Ф_i}, \quad (2.10)$$

где n – кратность разбавления отводимых вод в водотоке, служащем приемником сточных вод; $С_{ПДК_i}$ – норматив ПДК i -го вещества в воде рыбохозяйственного водного объекта, мг/дм³; $С_{Ф_i}$ – фоновая концентрация i -го вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм³.

Кратность разбавления сточных вод в воде водотока для соотношения расходов воды в водотоке и отводимых сточных вод $Q/q=10-400$ определяется по формуле

$$n = (q + k_{см} \square Q) / q, \quad (2.11)$$

где q – расход отводимых сточных вод, м³/с; $k_{см}$ – коэффициент смешения сточных вод с водой водотока; Q – расход воды в водотоке, м³/с.

Коэффициент смешения показывает, какая часть речного расхода водотока смешивается с отводимыми водами и зависит от гидравлических условий в водотоке, расстояния от выпуска отводимых вод до контрольного створа, расходов отводимых вод и водотока. При этом в случае если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод более 400, кратность разбавления определяется при расходе воды в водотоке $Q=q \square 400$, а в случае если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод менее 10, расчет коэффициента кратности разбавления не производится и НДС устанавливаются исходя из значений ПДК.

Коэффициент смешения $k_{см}$, показывающий, какая часть расхода воды водотока участвует в смешении со сточными водами в максимально загрязненной струе контрольного створа, рассчитывается по формуле

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{дв} \sqrt[3]{q}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-k_{дв} \sqrt[3]{Q}}}, \quad (2.12)$$

где $k_{г\gamma}$ – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке; l – расстояние от выпуска отводимых сточных вод до контрольного створа по фарватеру водотока, м.

Коэффициент $k_{г\gamma}$, учитывающий гидравлические условия в водотоке, рассчитывается по формуле

$$k_{г\gamma} = k_{изв} \cdot k_{вып} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (2.13)$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости, определяемый как отношение расстояния от места выпуска сточных вод в водоток до контрольного створа по фарватеру водотока к расстоянию по прямой; $k_{вып}$ – коэффициент, зависящий от типа выпуска сточных вод (при выпуске у берега $k_{вып}=1$, при выпуске в стрежень реки $k_{вып}=1,5$); D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с.

Коэффициент турбулентной диффузии D , м²/с, рассчитывается по формуле

$$D = (V_{ср} H_{ср}) / 200, \quad (2.14)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, м/с; $H_{ср}$ – средняя глубина реки, м.

Допустимые концентрации $C_{дсi}$, мг/дм³, загрязняющих веществ, которые нормируются по допустимому приращению к фоновой концентрации (например, взвешенные вещества), рассчитываются по формуле

$$C_{дсi} \leq C_{допi} \cdot (1 + k_{см} Q / q) + C_{фi}, \quad (2.15)$$

где $C_{допi}$ – допустимое увеличение содержания i -го загрязняющего вещества в воде водотока после сброса i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, мг/дм³; $C_{фi}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм³;

Директивой 91/271/ЕЕС требования к коммунальным сточным водам, отводимым в водный объект, устанавливаются по показателям БПК₅, ХПК, взвешенным веществам. По этим показателям устанавливается минимальная степень очистки, которая должна быть достигнута на очистных сооружениях.

При отведении сточных вод в водные объекты или участки водных объектов, склонные к эвтрофикации, Директивой 91/271/ЕЕС устанавливаются дополнительные требования по содержанию соединений фосфора и азота (см. табл. 2.14).

Эти требования являются основой для выбора технологии очистки и состава очистных сооружений, который производится исходя из расхода сточных вод и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистку.

Для определения концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку, необходимо располагать информацией о расходе и составе сточных вод, всеми пользователями (абонентами) канализации.

Требуемая степень очистки определяется, исходя из концентрации загрязняющего вещества на входе очистных сооружений и требований, предъявляемым к очищенным сточным водам (например, Директивой 91/271/ЕЕС).

Концентрация загрязняющего вещества i в сточных водах, поступающих на очистку, определяется по соотношению

$$C_i = (Q_1 C_{i1} + Q_2 C_{i2} + \dots + Q_n C_{in} + WN_i) / (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n + WV), \quad (2.16)$$

где $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ – расход производственных сточных вод, сбрасываемых в сети канализации предприятиями 1, 2, ..., n , м³/сут; $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в сточной воде предприятия 1, 2, ..., n , г/м³; N_i – количество i -го загрязняющего вещества, сбрасываемого в канализацию на одного человека, г/сут; V – потребление воды на одного человека, м³/сут; W – население города, человек.

Требуемая степень очистки (Δ , %) по i -му загрязняющему веществу определяется по соотношению

$$\Delta = 100 (C_i - C_{di}) / C_i, \quad (2.17)$$

где C_{di} – требования, установленные для сточных вод по i -му загрязняющему веществу Директивой 91/271/ЕЕС.

В настоящее время для нормирования сбросов коммунальных очистных сооружений в ряде стран СНГ (в Беларуси, Украине и др.) в основном используется подход, установленный Директивой 91/271/ЕЕС.

В Директиве 91/271/ЕЕС не приведены конкретные нормативы содержания загрязняющих веществ для промышленных сточных вод, сбрасываемых в сети канализации и направляемых на очистные сооружения канализации совместно с хозяйственно-бытовыми. Сформулированы требования к степени очистки, которая должна быть такой, чтобы были обеспечены:

- защита здоровья персонала очистных сооружений и систем сбора;
- исключение повреждений сетей канализации, очистных сооружений и их оборудования;
- бесперебойное функционирование сооружений по очистке сточных вод и обработке осадков;
- исключение воздействия сбросов с очистных сооружений на окружающую среду или такого воздействия на принимающие водотоки, в результате которого они перестают соответствовать требованиям, сформулированным в Директивах ЕС, касающихся воды;
- использование осадков, безопасное для окружающей среды.

Каждая страна устанавливает свои правила нормирования сбросов загрязняющих веществ со сточными водами, отводимыми в сети канализации. В странах СНГ эти вопросы решаются, чаще всего, на местном уровне, так как очистные сооружения канализации обычно являются муниципальной (коммунальной) собственностью.

На государственном уровне принимаются правила, регламентирующие порядок разработки и содержание условий приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов. Условия приема производственных сточных вод в городскую канализацию разрабатываются организациями, осуществляющими эксплуатацию этих систем, и утверждаются местными исполнительными и распорядительными органами (муниципалитетами).

В условиях приема сточных вод приводятся нормативы допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, отводимых в систему канализации. Эти нормативы могут быть едиными для всех пользователей сетей, индивидуальными, а также групповыми (установленными для групп близких по характеру производства предприятий). В табл. 2.15 приведен пример допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах машиностроительных предприятий, отводимых в канализацию.

Муниципалитет устанавливает цены на водопотребление и водоотведение, а также условия оплаты за сверхнормативное водопотребление, водоотведение или загрязнение отводимых сточных вод. Такой порядок нормирования сбросов производственных сточных вод в канализацию не всегда способствует принятию взвешенных и обоснованных решений.

В Германии нормативы содержания загрязняющих веществ в производственных сточных водах, отводимых в канализацию предприятиями (по отраслям), регламентируется на уровне государства (постановление по сточным водам). Аналогичный подход используется в США, где для производственных сточных вод устанавливаются не только допустимые концентрации, но и удельный норматив сброса загрязняющего вещества, а также запрет на достижение допустимой концентрации загрязняющего вещества за счет разбавления.

Основное требование к очистным сооружениям заключается в обеспечении заданной (требуемой) степени очистки и соответствии очистных сооружений наилучшим доступным технологиям.

таблица 2.15. Допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах машиностроительных предприятий, отводимых в канализацию (мг/дм³)

Показатель	Бельгия	Франция	Германия	Хельсинки, Финляндия	Минск, Беларусь
Ag (серебро)	0,1		0,1	0,2	3,0
Al (алюминий)	10,0	5,0	3,0		
Cd (кадмий)	0,6	0,2	0,2	0,01	0,5
CN (свободный цианид)		0,1	0,2	0,5	
Cr (хром VI)	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
Cr (хром общий)	5,0	3	0,5	1,0	0,4
Cu (медь)	4,0	2	0,5	2,0	1,0
F (фтор)	10	15	50		
Fe (железо)	20	5	3		2,0
Hg (ртуть)		0,1		0,01	
Ni (никель)	3,0	5	0,5	0,5	1,0
P (фосфаты)	2,0	10	2		5,0
Pb (свинец)	1,0	1	0,5	0,5	0,5
Sn (олово)	2,0	2	2	2,0	2,0
Zn (цинк)	7,0	5	2	3,0	2,0
ХПК (БПК)	300,0	150,0	400,0		400,0
Нефтепродукты		5,0	0,1		0,9

Диффузные источники. На состояние водных объектов, наряду с водопотреблением и сбросом сточных вод, значительное влияние оказывает хозяйственная деятельность человека на определенной территории. В этом контексте состояние водных объектов является зеркалом состояния природной среды территории. Значительное, часто определяющее влияние на качество поверхностных и подземных вод оказывает вынос загрязняющих веществ с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий, выпадение с осадками. Суммарное влияние рассредоточенных (диффузных) источников по большинству водных объектов превышает влияние организованных и сложнее контролируется.

Ограничение поступления загрязняющих веществ от диффузных источников (сток с территории, прилегающей к водному объекту) является более сложной задачей в сравнении с очисткой сточных вод и требует принятия комплекса мер технического и организационного характера, аналогичных тем, что используются для защиты подземных вод. Для подземных вод, помимо защиты от загрязнения, необходимо предотвращать их истощение.

Следует разработать комплекс мероприятий по ограничению поступления загрязняющих (в первую очередь, опасных) веществ в объекты окружающей среды и регламентации хозяйственной деятельности на территории, состояние которой оказывает прямое воздействие на качество поверхностных и подземных вод. Ограничение поступления загрязняющих веществ в странах ЕС включает уже упоминавшиеся мероприятия по охране вод от загрязнения нитратами сельскохозяйственного происхождения (Директива совета 91/676/ЕЕС), интегрированный контроль и предотвращение загрязнения (Директива 2008/1/ЕС) и др.

Одно из требований ВРД касается создания реестра всех территорий, находящихся в районе речного бассейна, которые требуют специальной защиты в соответствии с законодательством Сообщества, для охраны поверхностных и подземных вод, или сохранения среды обитания видов, существование которых непосредственно зависит от воды. В странах СНГ такими территориями являются водоохранные зоны. Водоохранные зоны прилегают к акватории водных объектов и в них устанавливаются специальные режимы лимитированного водой землепользования. Территории водоохранных зон относятся к землям природоохранного назначения. Часть территории водоохранной зоны, непосредственно примыкающая к территории водного объекта (прибрежная полоса), характеризуется более жестким ограничением хозяйственной деятельности и относится к особо охраняемым природным территориям. Для установления границ водоохранных зон конкретных объектов и обоснования в них режимов природопользования необходимо проведение специальных исследований по оценке природных условий (эрозионная устойчивость, особенности подземного стока и др.) и факторов антропогенной нагрузки системы «водосбор – водный объект» (характер землепользования территории, природоохранные мероприятия и др.).

Требования к водоохранным зонам, порядок установления размеров водоохранных зон определяется законодательством. Учитывая то, что в водоохранные зоны водных объектов могут попадать значительные

по площади территории, особенно актуальным является определение экологических условий на размещение в них хозяйственных объектов. Такие условия могут быть сформулированы на основании проведения оценки воздействия на водный объект для различных вариантов использования территории. Детально вопросы проектирования водоохраных зон рассматриваются при разработке бассейновых и территориальных схем комплексного использования и охраны вод.

Первоочередной защите подлежат все водные объекты, которые используются для забора воды, предназначенной для потребления человеком, и дают в среднем более 10 м³ воды в сутки или используются при обеспечении водой более пятидесяти человек; водные объекты, которые планируется использовать для таких же целей в будущем.

Для защиты источников водоснабжения и сооружений, обеспечивающих транспортировку и очистку воды, должны быть предусмотрены зоны санитарной охраны (ЗСО), представляющие собой территорию или акваторию с особым санитарно-противоэпидемиологическим режимом для предотвращения ухудшения качества воды источника хозяйственно-питьевого водоснабжения и охраны водопроводных сооружений. В странах СНГ зона санитарной охраны состоит из трех поясов: первый – строгого режима (для предотвращения случайного или умышленного загрязнения воды источника в месте нахождения водозаборных и водопроводных сооружений), второй и третий – режимов ограничения (для предотвращения негативного влияния на качество и количество воды источника водоснабжения за счет целенаправленных мероприятий). Для водоводов устанавливаются санитарно-защитную полосу.

Литература к разделу 2.3

- ЕС, 2006. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. 2007–2012. http://eippcb.jrc.europa.eu/reference/BREF/stm_bref_0806.pdf (Дата доступа: 14.03.2014).
- GPO, 2003. Code of Federal Regulations, Subchapter DWater Programs (Continued) (Parts 100–149). www.gpo.gov.
- Минприроды Белоруссии, 2012. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. ТКП 17.06-08-2012 (02120), Минск. 73 с. www.ecolog.by/download/?id=1021
- Минюст Германии, 2004. Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625). <http://www.gesetze-im-internet.de/abwv/BJNR056610997.html>
- Правительство РФ, 2013. Правила установления для абонентов организаций, осуществляющих водоотведение, нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в водные объекты через централизованные системы водоотведения и лимитов на сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2013 г. № 393 г. Москва. <http://www.rg.ru/2013/05/20/sbrosy-site-dok.html>
- Право Беларуси, 2011. Об условиях приема сточных вод в коммунальную хозяйственно-фекальную канализацию г. Минска. Решение Минского городского исполнительного комитета от 23 января 2003 г. № 55. <http://pravo.levonevsky.org/bazaby09/sbor43/text43636.htm>

2.4. Показатели взаимного воздействия техногенных факторов на объекты водного хозяйства

Капля воды дороже алмаза.

Д.И. Менделеев

В отличие от большинства природных ресурсов, воде характерна особая способность естественного восстановления. Если обеспечить эффективное использование поверхностных и подземных вод, не допуская серьезного отклонения значений их параметров от фоновых показателей, то этот ресурс может устойчиво выполнять свои функции достаточно длительное время.

Учитывая особенности формирования, существования в окружающей среде и свойства подземных и поверхностных водных ресурсов, следует помнить о тесной их взаимосвязи и взаимозависимости. Изменение свойств любого из упомянутых видов ресурсов немедленно скажется на свойствах другого.

Поверхностные воды более доступны к использованию, их качество зависит от многих факторов, они более чувствительны к различным антропогенным воздействиям. Свойства поверхностных вод, под влиянием ряда внешних благоприятных факторов, способны к относительно быстрому восстановлению. Подземные воды более защищены от внешнего влияния. Качество подземных вод, несмотря на широкий диапазон его изменения, характеризуется значительной инерционностью. Однако именно эта особенность подземных вод обуславливает более сложный процесс их восстановления. Подземные воды требуют более бережного к себе отношения.

Подземные воды играют важную роль в водохозяйственных комплексах, в том числе как надежные источники доброкачественной питьевой воды. Лучшая защищенность от поверхностного (наиболее интенсивного) загрязнения, качественный состав воды наиболее полно отвечает биологическим требованиям – все это позволяет отнести данный вид водных ресурсов к весьма ценным.

Одними из важнейших факторов, оказывающих существенное влияние на качество поверхностных и подземных вод, являются объекты водопроводно-канализационного хозяйства. Утечки питьевой воды из водораспределительных сетей сказываются не только на тарифе питьевой воды, но и обуславливают значительные убытки городской инфраструктуры – разрушаются дороги, подземные части инженерных коммуникаций, негативно влияя на экологию окружающей среды. Утечки же воды из систем водоотведения, наряду с упомянутым, обуславливают значительное загрязнение грунтовых вод, отрицательно влияя на качество более глубоких их ресурсов. Значительные воздействия на качество как поверхностной, так и подземной воды имеют сооружения ее конди-

ционирования, с территории которых в грунтовые воды попадают ионы тяжелых металлов, ионы биогенных элементов, продукты органического происхождения и т.п. (рис. 2.8).

Чрезмерная сложность и, в принципе, недостаточная изученность данной проблемы во многих странах требуют более пристального внимания ученых, задействованных в разработке надежных инженерных решений, составлении технологических регламентов эксплуатации и наладки эффективного мониторинга влияния сооружений водопроводно-канализационного хозяйства на окружающую среду, на качественные показатели пресной воды.

В основу методики оценки влияния водопроводно-канализационного хозяйства на качество поверхностных и подземных вод положен сбор, обработка и анализ статистических материалов качества воды источников водоснабжения, эффективности работы сооружений кондиционирования и транспортировки воды к потребителям, качества работы сетей водоотвода и очистки сточных вод и эффективности утилизации осадков.

Качественный состав подземных вод формируется в результате взаимодействия ряда природных факторов, основными из которых следует считать климат (атмосферные осадки, температура, испарение и т.д.)

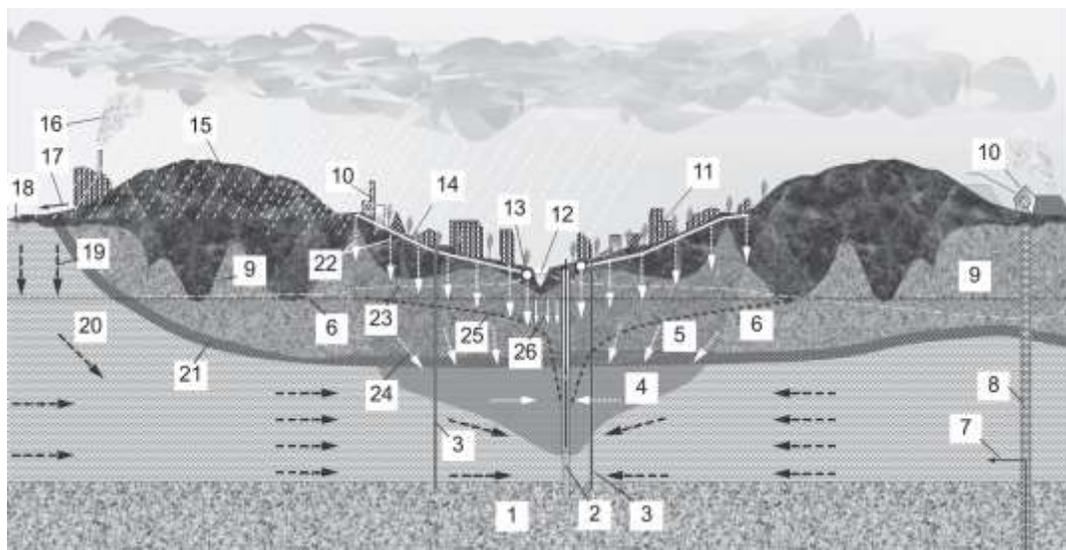


Рисунок 2.8.

Схема антропогенного воздействия на качество поверхностных и подземных вод (Гироль, 2013)

1 – водоупор нижнего горизонта, 2 – действующая скважина, 3 – неактивная скважина, 4 – зона инфильтрационной воды второго горизонта, 5 – зона инфильтрационной воды первого горизонта, 6 – пьезометрическая линия второго напорного горизонта, 7 – шахтная вода, 8 – ствол шахты, 9 – первый горизонт, 10 – промышленные предприятия, 11 – жилая застройка, 12 – река, 13 – канализационный коллектор, 14 – система водоотведения (водоснабжение, теплоснабжение), 15 – осадки, 16 – атмосферные загрязнения, 17 – поверхностный сток; 18 – зона питания горизонта, 19 – фильтрационные потоки подземной воды, 20 – второй горизонт, 21 – кровля второго горизонта, 22 – утечки загрязненных вод из системы водопроводно-канализационного хозяйства, 23 – пьезометрическая линия первого безнапорного горизонта, 24 – инфильтрационные потоки, 25 – депрессионная кривая второго водоносного горизонта, 26 – инфильтрационный поток из поверхностных источников

и геологическое строение (состав горных пород, тектоника, гидрогеологические условия). В зависимости от сочетания и последовательности проявления этих факторов формируются основные пространственные закономерности природного состава подземных вод. Однако в последние десятилетия природный качественный фон значительно нарушается вследствие влияния интенсивной антропогенной и техногенной деятельности.

Основными факторами антропогенного и техногенного воздействия на окружающую среду являются выбросы твердых и газообразных веществ в атмосферный воздух, сбросы загрязненных сточных вод (рис. 2.9, пример Украины), накопления на свалках твердых отходов, применение искусственных (синтетических) химических веществ в сельском хозяйстве, производственная деятельность, разработка месторождений полезных ископаемых. Все перечисленные факторы вызывают интенсивное загрязнение почв, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, особенно в промышленно развитых регионах.

Преобладающая часть питьевого водоснабжения в мире обеспечивается поверхностными водами. Поэтому экологическое состояние поверхностных водных объектов, качество воды в них, особенно на участках централизованного питьевого водоснабжения, являются решающими факторами экологической безопасности общегосударственной системы питьевого водоснабжения.



Рисунок 2.9.

Выпуски хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод в водоемы Украины (Гироль, 2013)

Таким образом, качество питьевой воды в значительной степени зависит от состояния поверхностных водоемов – основных источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако обеспечение населения Земли водой в полном объеме и надлежащего качества сейчас все больше осложняется из-за неудовлетворительного качества воды в водных объектах.

Основными причинами загрязнения поверхностных вод являются:

- сброс неочищенных и недостаточно очищенных коммунально-бытовых и промышленных сточных вод непосредственно в водные объекты и через системы городской канализации;
- поступление в водные объекты загрязняющих веществ с поверхностным стоком воды из застроенных территорий и сельхозугодий;
- эрозия почв на водосборной площади.

Наблюдение в последние годы за качеством воды в поверхностных водных объектах многих стран мира свидетельствует об их усиливающемся загрязнении неочищенными и недостаточно очищенными сточными водами из канализационных очистных сооружений, о нарушении процессов их самоочищения (вследствие образования искусственных водохранилищ и неудовлетворительного режима эксплуатации последних) и др.

На состояние рек также негативно влияют изменения, происходящие на территории их водосборов. Так, излишняя распашка земель при невысокой лесистости территории не соответствует требованиям рационального природопользования. Нарушается экологически допустимое соотношение площадей пашни, естественных кормовых угодий и лесных насаждений, что отрицательно влияет на устойчивость агроландшафта.

Чернобыльская катастрофа с всемирowymi последствиями (особенно для Украины, Беларуси, России) также вызвала повышение загрязнения поверхностных вод, в частности в водосборных бассейнах ряда стран. Следует сказать, что уровень содержания радионуклидов в поверхностных водах, например, Украины и Беларуси в течение нескольких последних лет оставался стабильным, в пределах допустимых концентраций, однако во время наводнений (паводков) в водосборных бассейнах указанных стран отмечалось некоторое его повышение.

Поверхностные водные объекты особенно чувствительны к загрязнителям из промышленных стоков, в основном к соединениям хрома, марганца, азота, к сульфатам, нефтепродуктам, пестицидам. В летний же период в воде повышается содержание фитопланктона. Качество воды в реках зависит также от времени года, в результате чего изменяются и требования к очистке воды водопроводными станциями, использующими поверхностные воды.

Следует отметить, что текущее состояние качества поверхностных вод выдвигает серьезные требования к водоподготовке, а достижение полного соответствия стандартам качества воды требует усовершенствования и использования передовых технологий очистки. На сегодня, к примеру, в Украине практически не осталось водных объектов, которые по их санитарно-химическим и микробиологическим показателям можно было бы отнести к первой категории качества воды: практически все

водоемы страны по уровню загрязнения приблизились к 3-й категории качества.

Остается острой проблема загрязнения поверхностных вод, гидравлически связанных с подземными водами, сбросами сточных вод.

Основными источниками загрязнения подземных вод являются промышленные, коммунальные и сельскохозяйственные сточные воды, места складирования промышленных и бытовых отходов, хранилища нефтепродуктов. Известно, что существенную долю жидких и твердых отходов составляют вещества органического происхождения. Так, многочисленными исследованиями выявлено, что на территории городских свалок в подземных водах содержится более 50 различных соединений органического происхождения, среди которых преобладают различные кислоты и фенолы. Известно также, что после устранения источника загрязнения, действовавшего длительное время, попадание в подземную воду загрязняющих веществ продолжается еще десятки, а иногда и сотни лет.

Источниками локального интенсивного загрязнения подземных вод являются многочисленные фильтрующие накопители, неупорядоченные свалки промышленных и бытовых отходов, склады минеральных удобрений и ядохимикатов и т.д.

К основным факторам природного и техногенного характера, что сказывается на формировании гидрохимического режима подземных вод, относятся:

- общая техногенная нагрузка на геологическую среду;
- отбор подземных вод, расположенный в зоне селитебных территорий и промышленных районов города;
- естественная защищенность эксплуатационных водоносных горизонтов;
- распространение природных гидрогеохимических аномалий;
- техническое состояние водозаборов, водопроводных и канализационных сетей и соответствующих сооружений очистки воды.

Наблюдения, проводимые, в частности, в Украине, за качеством артезианской воды на действующих водозаборах позволяют констатировать тенденцию ее ухудшения (табл. 2.16).

таблица 2.16. Относительное загрязнение подземных вод Украины промышленно-городской агломерации (Bzowski и др., 2006)

Водные среды	Al	Fe	Mn	NH ₄	SO ₄	Ф	Н	ХП
Снеговые осадки	■		■	■	■	■		■
Поверхностные воды	■		■	■	■	■	■	■
Грунтовые воды	■	■	■	■	■	■	■	■
Воды надмергельных горизонтов	■	■	■	■	■	■	■	■
Воды подмергельных горизонтов	■	■	■	■	■	■	■	■
Артезианские воды	■	■	■	■	■	■	■	■

Примечание: Ф – фенолы; Н – нефтепродукты; ХП – хлорсодержащие соединения и пестициды.

Содержание в таких водах железа, марганца, азотсодержащих соединений, жесткость воды, ее общая минерализация и т.п. превышают допустимые уровни по некоторым из указанных показателей до 10 и более раз. В общем, нередко питьевая вода из подземных источников систем централизованного водоснабжения не отвечает требованиям действующего стандарта по следующим показателям:

- соединения железа (их концентрация может находиться в достаточно широком диапазоне – от 1 до 20 мг/дм³);
- соединения марганца (он почти всегда сопутствует железу и его концентрация обычно невысока – 0,2–1,5 мг/дм³);
- жесткость воды (повышена повсеместно в южной и центральной частях Украины, при этом ее величина может колебаться от 8–12 до 20–22 мг-экв/дм³);
- хлориды, сульфаты, общая минерализация (сопутствующие компоненты жесткости, их повышенные или высокие концентрации характерны для тех же регионов);
- соединения фтора (характерные для подземных вод в районе Украинского кристаллического щита: содержание этого компонента составляет 2–6 мг/дм³, в отдельных случаях – 10–12 мг/дм³).

В результате многолетней хозяйственной деятельности на территории городов заметны существенные перемены гидрогеологических условий, активизируются неблагоприятные инженерно-геологические процессы. Среди них особое место занимает процесс подтопления территорий, последствием которого является деформация сетей, подтопление подвальных помещений зданий и сооружений, заболачивание территорий, коррозия и разрушение подземных коммуникаций, что может привести к аварийным и катастрофическим ситуациям.

Повышенное значение минерализации подземных вод наиболее характерно для центральной части городов и в местах расположения промышленных объектов. В этих зонах, как правило, наблюдается повышенное содержание сульфат- и хлорид-ионов, нередко возрастает жесткость воды. В случае недостаточной защищенности водоносного горизонта в подземной воде оказываются нитраты и аммонийный азот, заметный рост окисляемости которая достигает 1–4,5 а иногда и 8 мг/дм³. Заметно загрязнение подземных вод нефтепродуктами, содержание которых местами превышает ПДК в 2–5 раз. В таких местах обнаруживаются следы фенолов, пестицидов, что свидетельствует о существовании взаимосвязи подмергельных горизонтов с загрязненными грунтовыми водами.

Такому перетеканию воды могут способствовать “гидрогеологические окна”, появляющиеся в зоне размывания водоупорных горизонтов. Процесс размывания очень медленный и проявляется при следующих условиях:

- при работе водозабора к нему “подтягиваются” некачественные воды из других горизонтов;
- несоблюдение регламента эксплуатации водозабора;
- наличие источников техногенного загрязнения;
- отсутствие санитарно-защитных зон;

- перетоки воды через негерметичное затрубное пространство действующих скважин и неустраненные старые скважины.

Величины перетока воды из горизонта в горизонт зависят от комбинации перечисленных причин и могут измеряться даже на локальном уровне сотнями миллионов кубометров.

Влияние городской застройки на подземные воды достигает глубины более 100–300 м. При этом существенно изменяется уровень стояния, температура и химический состав подземных вод, формируются зоны подпора и депрессии, нарушается равновесие взаимодействия поверхностных и подземных вод, загрязняется почва, поверхностные водные источники, вода в централизованных системах водоснабжения.

В зависимости от геологических условий под влиянием техногенных факторов расчетная продолжительность проникновения загрязнений с поверхности земли составляет от нескольких суток до нескольких десятков и даже сотен лет. Однако такая продолжительность перетекания существенно меньше продолжительности индустриального развития города. О влиянии техногенного фактора на качество подземной воды свидетельствует присутствие в ней таких примесей, как соединения азота, кадмия, нефтепродуктов, фенолов и т.д.

Качество подземных вод в течение эксплуатации водозабора, вследствие снижения уровня воды в водоносном горизонте и, как следствие, проникновения в него агрессивных вод из расположенного выше горизонта, ухудшается. Происходит выщелачивание карбоната кальция и таких микроэлементов, как стронций, фтор, литий, переход в растворенное состояние железа, марганца и т.д. Очевидно, что предотвратить развитие такого явления можно путем прекращения загрязнения воды (своевременный и качественный ремонт транспортирующих воду систем, снижение влияния других факторов техногенного происхождения) или сокращения давления в расположенном выше горизонте, сокращения отбора воды из эксплуатационного горизонта.

Таким образом:

1. На качество воды поверхностных и подземных водных бассейнов имеют существенное влияние факторы антропогенного и техногенного происхождения, среди которых достаточно значимыми являются объекты водопроводно-канализационного хозяйства.

2. В состав определяющих мероприятий, направленных на уменьшение негативного влияния на качество воды поверхностных и подземных водных бассейнов, относятся:

- уменьшение общей техногенной нагрузки на геологическую среду;
- снижение отбора подземных вод в зоне селитебных территорий и промышленных районов города;
- разработки эффективных и надежных водоочистных технических решений для промышленных, сельскохозяйственных коммунальных объектов, объектов водопроводно-канализационного хозяйства, направленных на предотвращение проникновения загрязнений в водоемы и в почву;
- соблюдение регламента эксплуатации техногенного влияния на все водные системы.

Литература к разделу 2.4

- Florczyk B., Karaskiewicz K.* Role of the central wastewater treatment plant in protecting of the Warta river // XIX-th National, VII-th International Conference “Water Supply and Water Quality”. Т. 1. Poznań – Zakopane, Polska, 2006. – С. 197–208.
- Wawrentowicz D.* The impact of wastewater treatment plant performance on the quality of receiving water. A case study: Hajnywka // XIX-th National, VII-th International Conference “Water Supply and Water Quality”. Т. 1. Poznań – Zakopane, Polska, 2006. – С. 335–346.
- Walery M., Talalaj I.A.* Evaluation of water quality in rivers of podlaskie voivodship. XIX-th National, VII-th International Conference “Water Supply and Water Quality”. Т. 2. Poznań – Zakopane, Polska, 2006. – С. 249–258.
- Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році. (Национальный доклад о качестве питьевой воды и состоянии питьевого водоснабжения в Украине в 2012 году). Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства (НДКТИ мг), 2013.
- Гироль А.М.* Вплив систем водопровідно-каналізаційного господарства на якість поверхневих і підземних вод (Влияние систем водопроводно-канализационного хозяйства на качество поверхностных и подземных вод) // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, Збірник наукових праць. Вип. (61), Технічні науки. – 2013. – С. 95–107. <http://er3.nuwm.edu.ua/1028/1/Vt6115.pdf>
- Гироль М.М., Бойчук С.Д., М'якішев О.О., Котовська О.Е.* Аналіз технологічних схем утилізації виробничих стічних вод станцій очистки води на комунальних водопроводах. (Анализ технологических схем утилизации производственных сточных вод станций очистки воды на коммунальных водопроводах) // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Частина 1. Зб. наук. праць. Вип. 4 (23), Технічні науки. Рівне, 2004. – С. 122–128.
- Bzowski Z., Dawidowski A., Korczak D.* Danger of ground water contamination in Chelm region and the liquidation of danger. XIX-th National, VII-th International Conference “Water Supply and Water Quality”. Т. 1. Poznań – Zakopane, Polska, 2006. – С. 167–176.

2.5. основы проектирования систем водоснабжения и водоотведения

2.5.1. системы и схемы Водоснабжения

Воде дана волшебная власть. Стать соком жизни на земле.

Леонардо да Винчи

Системой водоснабжения называют комплекс инженерных сооружений, машин и аппаратов, которые предназначены для получения воды из природных источников, улучшения ее качества, хранения, транспортировки и подачи водопользователям. Она состоит из водоприемных, водоподъемных, очистных, водонапорных и регулирующих сооружений, магистральных водоводов и распределительных сетей, средств автоматизации. В зависимости от местных условий некоторые из сооружений могут не использоваться или быть объединенными друг с другом.

Системы водоснабжения подразделяют по следующим признакам: по функциональному назначению (хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные), сфере обслуживания (объединенные и раздельные), по виду объектов (городские, поселковые, промышленные), по территориальному охвату водопотребителей (местные, централизованные, групповые), продолжительности действия (временные и постоянные), типу природного источника (с использованием подземных или поверхностных вод), способу подъема воды (гравитационные и с механической подачей воды), характеру использования воды (прямоточные, обратные и с повторным использованием), надежности обеспечения водой.

Хозяйственно-питьевые системы водоснабжения подают воду для питья, приготовления пищи и проведения санитарно-гигиенических процедур. Вода в этой системе должна быть питьевого качества¹. Производственные водопроводы подают воду на технологические цели, качество воды определяется технологами. Противопожарные системы водоснабжения предназначены для подачи воды при тушении пожара. Вода в противопожарных водопроводах может быть и санитарного качества.

Объединенные водопроводы удовлетворяют потребности всех водопотребителей, раздельные – отдельно подают воду на различные нужды. Местные (локальные) системы обслуживают водой отдельных водопотребителей, централизованные – всех потребителей данного населенного пункта. Групповые или районные системы водопроводов предна-

¹ Задача бережного и экономного использования ресурсов пресной воды (и особенно питьевых кондиций) не всегда оправдывает приведенное требование.

значены для обеспечения водой нескольких населенных пунктов, ферм или предприятий, удаленных друг от друга (проектируются, как правило, при отсутствии пресных вод и характеризуются большой протяженностью водоводов).

Взаимное расположение отдельных элементов и сооружений в каждой конкретной системе водоснабжения называют схемой водоснабжения (рис. 2.10, 2.11).

Выбор состава сооружений зависит в основном от вида природного источника водоснабжения и качества воды в нем, категории водопотребителей, количества и качества потребляемой воды, надежности подачи воды, рельефа местности (рис. 2.10).

На водоочистной станции улучшается качество воды, после чего она поступает в резервуар чистой воды (РЧВ), откуда насосами станции второго подъема по водоводам подается в водопроводную сеть потребителей. На территории населенного пункта сооружают водонапорную башню, которая, как и РЧВ, предназначена для хранения воды, регулирования работы насосов и поддержания в сети необходимого напора. Накопление в башне происходит в то время, когда насосы подают воды больше, чем тратят потребители; расходуется – когда потребление превышает подачу.

Для водоснабжения используют и подземные воды, имеющие, по сравнению с поверхностными, меньшее содержание различных примесей, в том числе и радиоактивных, а также более простой состав водо-

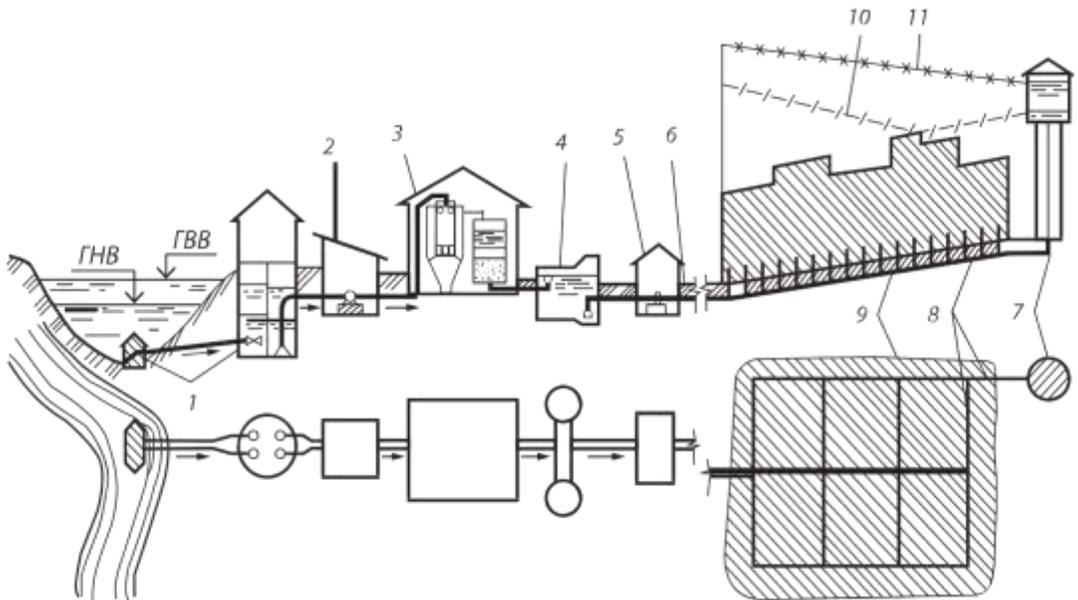


Рисунок 2.10.

Схема водоснабжения из поверхностных водных источников

ГНВ – горизонт низких вод, ГВВ – горизонт высоких вод; 1 – речной водозабор, 2 – насосная станция 1-го подъема, 3 – водоочистная станция; 4 – резервуар чистой воды, 5 – насосная станция 2-го подъема, 6 – водовод, 7 – водонапорная башня, 8 – водопроводная сеть, 9 – объект водоснабжения, 10 – пьезометрическая линия в сети во время максимального водопотребления, 11 – то же во время максимального транзита воды в башню

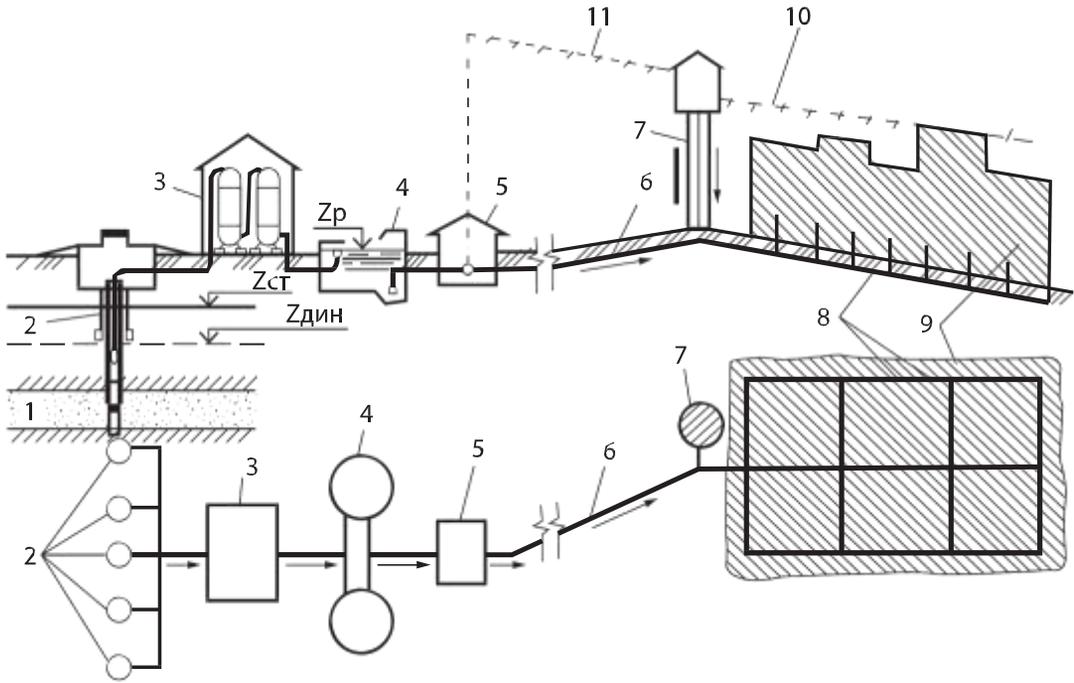
**Рисунок 2.11.**

Схема водоснабжения с очисткой подземных вод

Z_p – расчётный уровень воды, $Z_{ст}$ – статический уровень воды, $Z_{дин}$ – динамический уровень воды; 1 – водоносный пласт, 2 – скважина, 3 – водоочистная станция, 4 – резервуар чистой воды, 5 – насосная станция 2-го подъема, 6 – водовод, 7 – водонапорная башня, 8 – водопроводная сеть, 9 – объект водоснабжения, 10 – пьезометрическая линия в сети во время максимального водопотребления, 11 – то же самое в водоводе

проводных сооружений. Если качество подземных вод не удовлетворяет требованиям потребителей, применяют схему с очисткой воды.

2.5.2. удельное Водопотребление

Для проектирования систем водоснабжения необходимо знать количество воды, которое должно быть подано водопроводом, виды и количество водопотребителей (с учетом перспективного плана развития объекта), расчетные нормы потребления воды и режим использования ее в течение суток.

Нормой водопотребления называют количество воды, расходуемой на определенные потребности в единицу времени или на единицу продукции. В населенных пунктах нормы хозяйственно-питьевого водопотребления назначают (определяют) на основании изучения фактического объема и режима водопотребления в аналогичных условиях или, если это невозможно, по рекомендациям действующих нормативов. Величина этого показателя (q_w) для разной степени благоустройства районов жилой застройки изменяется в широком диапазоне – 30–350 $дм^3/сут$.

Удельные затраты воды на промышленные нужды предприятий зависят от типа выпускаемой продукции, принятой технологии, установ-

ленного оборудования. Эти данные определяют по технологическим паспортам предприятия.

Кроме производственных, на промышленных предприятиях необходимо учитывать хозяйственно-питьевые нужды воды и расход воды на душ. Расход воды на душ после окончания рабочей смены принимают по расчетным расходам воды на одного работника из расчета $0,2 \text{ дм}^3/\text{с}$ ($500 \text{ дм}^3/\text{ч}$) на одну душевую сетку. Число душевых и умывальников следует определять по наибольшему количеству работников, одновременно оканчивающих работу. Кроме того, следует учитывать удельный расход воды на полив газонов, мытье проездов.

При отсутствии данных о площади проездов и зеленых насаждений удельные расходы на полив определяют из расчета $50\text{--}90 \text{ дм}^3/\text{сут}$ на одного жителя в зависимости от климатических условий (в южных странах и районах больше), мощности источника (меньшее из малообеспеченного источника), степени благоустройства домов и других условий, количества поливов (для северных районов – один, для южных – два).

Помимо регулярного обеспечения хозяйственно-питьевых и производственных нужд, система водоснабжения при необходимости должна подавать воду на тушение пожаров.

Расчетную продолжительность тушения пожара принимают 3 час. Подача воды на тушение пожара должна быть обеспечена в часы наибольших расходов воды для других целей. При этом объемы воды на полив, душевые, мытье полов и технологического оборудования предприятий не учитываются.

2.5.3. Режим Водопотребления. определение Расчетных Расходов Воды и необходимых наПорОВ в населенном Пункте

Режим хозяйственно-питьевого водопотребления в течение суток, месяца, года в населенном пункте не бывает равномерным и зависит от многих факторов (уклада жизни и трудовой деятельности человека, времени года, местных условий и т.п.). В расчетах эти колебания оценивают коэффициентами суточной и часовой неравномерности.

В течение суток почасовые расходы имеют значительное колебание, которое учитывается коэффициентом часовой неравномерности (K_r).

В зависимости от максимального значения $K_{r,\text{max}}$ принимают типовой график распределения суточных расходов по часам суток (рис. 2.12). Почасовые расходы воды q_{hr} потребителем, $\text{м}^3/\text{ч}$, равны

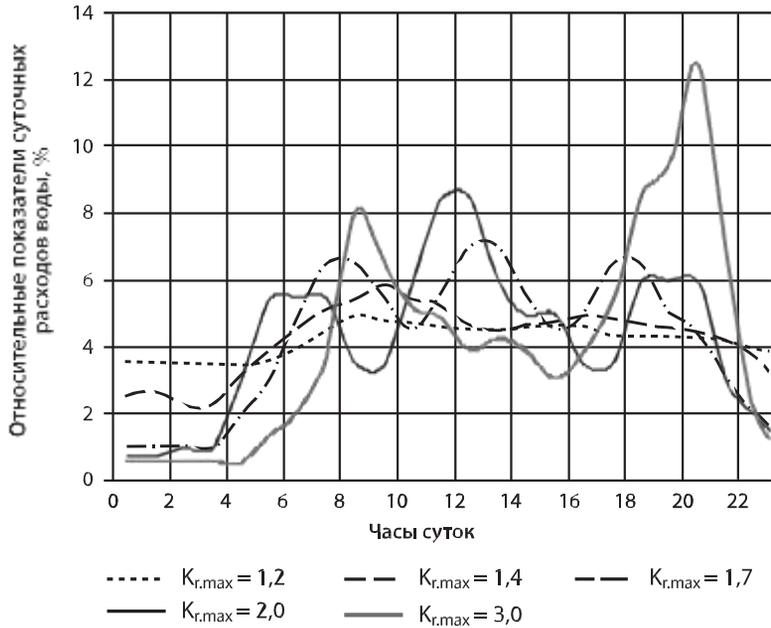
$$q_{hr} = \frac{a \cdot Q_{\text{сут}}}{100 \cdot 24}, \quad (2.18)$$

где a – распределение суточных расходов, %; $Q_{\text{сут}}$ – расчетный (средний за год) суточный расход воды, $\text{м}^3/\text{сут}$.

По часовым расходам воды строят график водопотребления в населенном пункте. В течение часа в расчетах предполагается равномерное водопотребление. Время, на которое приходится наибольшее значение расхода воды всего населенного пункта, является временем наибольшего

Рисунок 2.12.

Распределение
суточных расходов
воды по часам, %



водопотребления, а расходы воды за это время принимаются как расчетные. Максимальное часовое водопотребление в населенном пункте определяют по графику водопотребления.

Давление в водопроводной сети населенного пункта должно обеспечивать подъем и излив воды в наивысшей водоразборной точке, т.е. свободный требуемый напор, м, в сети (H_b):

$$H_b = h_r + \sum h_w + h_p, \quad (2.19)$$

где h_r — геометрическая высота подъема воды от поверхности земли до наиболее высоко расположенной точки, м; $\sum h_w$ — потери напора от точки подключения водопроводной сети к водоразборной арматуре, м; h_p — рабочий напор на излив с водоразборной арматуры, м.

Для отдельных многоэтажных домов, расположенных среди малоэтажных, или домов, расположенных в повышенных местах, можно предусмотреть местные насосные установки для повышения давления. Свободный напор у водоразборной колонки должен быть не менее 10 м. Свободные напоры в наружной сети производственного водопровода определяют по техническим данным в зависимости от принятого оборудования.

Свободный напор в водопроводной сети при тушении пожара зависит от принятой системы пожаротушения. Есть системы высокого и низкого давления. В системе высокого давления пожар тушат непосредственно из сети с помощью пожарных рукавов, которые подсоединяют к пожарным гидрантам (рис. 2.13).

Свободный напор в сети водопровода высокого давления должен быть достаточным, чтобы подать воду в самую высокую точку горящего строения, по пожарным рукавам длиной 120 м и обеспечить вылет из

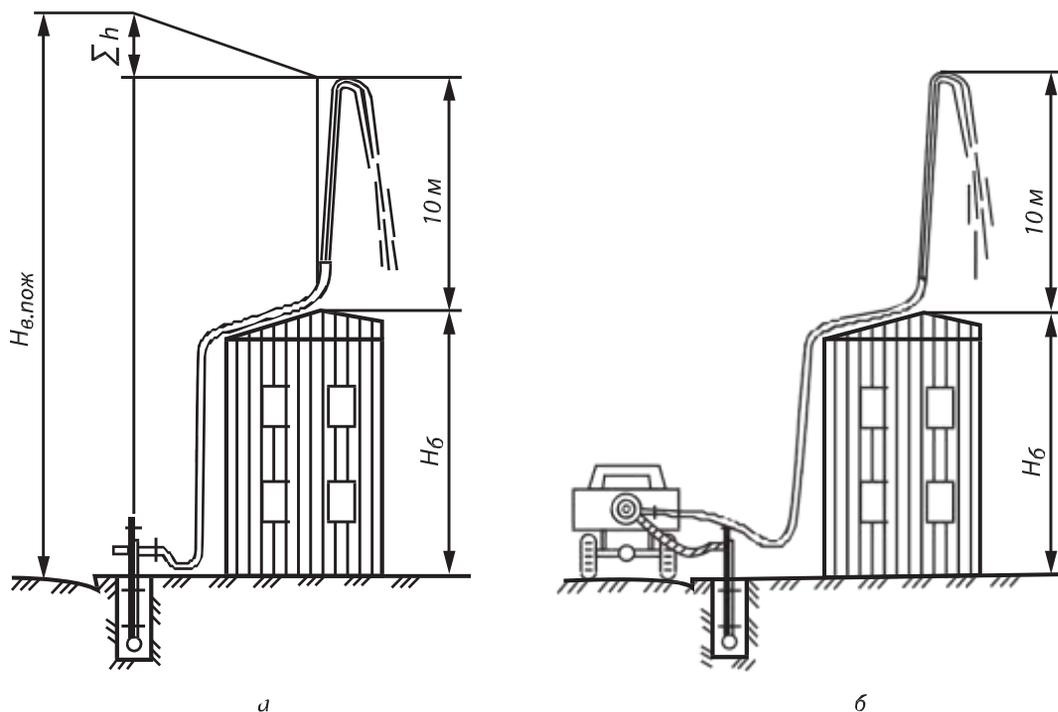


Рисунок 2.13.

Схемы тушения пожара из водопровода высокого (а) и низкого (б) давления

ствола (брандспойта) компактной струи на высоту 10 м. Ориентировочно этот свободный напор можно определить по формуле

$$H_{в.пож} \approx H_6 + 28 \text{ м}, \quad (2.20)$$

где H_6 – высота здания, м.

В системе пожаротушения низкого давления вода из гидрантов водопроводной сети забирается насосами пожарных машин и подается рукавами к месту пожара с тем же напором, что и в случае использования систем высокого давления (рис. 2.13, б). В сети при пожаре поддерживается относительно небольшой свободный напор, равный 10 м.

2.5.4. источники Водоснабжения

В источниках водоснабжения качество воды оценивают по ее составу и свойствам, после чего определяется ее пригодность для тех или иных целей. В природных водах содержатся разнообразные примеси, которые так или иначе загрязняют воду.

Источник водоснабжения должен обеспечивать нужное количество воды с учетом роста водопотребления на перспективу, бесперебойное снабжение, минимальные затраты на ее очистку и подачу потребителю. Кроме того, мощность источника должна быть такой, при которой отбор

воды на нужды объекта не нарушал бы сложную экологическую систему. Различают поверхностные и подземные источники водоснабжения.

Поверхностные источники водоснабжения (реки, озера, каналы, водохранилища) характеризуются значительными изменениями качества воды в отдельные сезоны года. Качество воды рек, озер, водохранилищ в значительной степени зависит от интенсивности атмосферных осадков, таяния снега, сельскохозяйственной и производственной деятельности человека в зоне водозабора.

Речная вода имеет значительную мутность, особенно в период весенних паводков и ливней, богата органическими примесями и содержит большое количество микроорганизмов. Воды озер и водохранилищ характеризуются меньшей мутностью, но могут иметь значительную окраску вследствие развития водорослей и планктона. Качество воды поверхностных источников, как правило, не соответствует требованиям стандартов и норм, и поэтому ее нужно очищать и обеззараживать. При использовании поверхностных вод следует также учитывать требования санитарно-эпидемиологической службы, органов рыбоохраны, водного транспорта и инспекций по охране водных ресурсов.

Подземные воды (рис. 2.14) по условиям залегания подразделяют на грунтовые безнапорные и напорные межпластовые (артезианские).

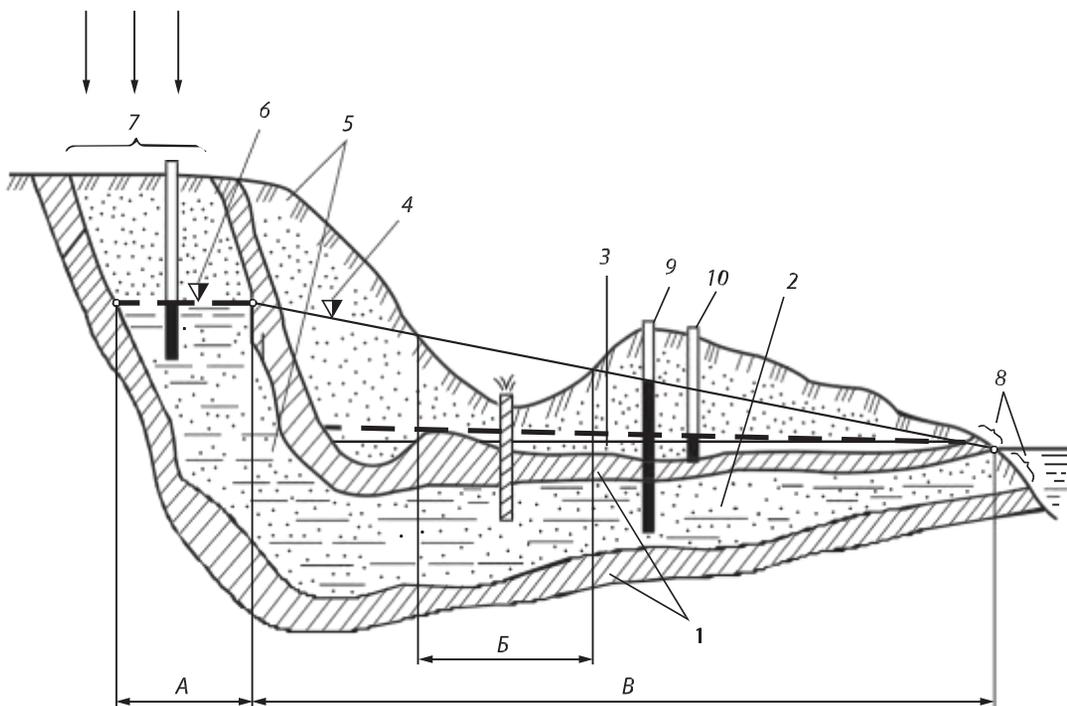


Рисунок 2.14.

Схема залегания подземных вод

А – зона безнапорных вод, Б – зона фонтанирующих вод, В – зона напорных вод: 1 – водо-непроницаемые пласты (водоупоры), 2 – межпластовая артезианская вода, 3 – грунтовая вода, 4 – пьезометрический уровень напорных вод, 5 – фильтрующие породы, 6 – уровень свободной поверхности напорных вод, 7 – бассейн питания, 8 – зона источников, 9, 10 – колодцы в напорных и безнапорных водах

Естественные выходы на поверхность земли грунтовых вод образуют так называемые источники воды. К подземным также относят инфильтрационные воды, которые являются поверхностными водами и которые фильтруются через дно и берега рек или водоемов и дренируются из пласта водопроницаемым сооружением.

При выборе источника водоснабжения по санитарной надежности предпочтение следует отдавать источникам в такой последовательности: артезианские, грунтовые, подрусовые воды рек, а также поверхностные воды рек, озера, водохранилища. Во всех случаях следует проводить технико-экономические расчеты и обоснования.

Подземные воды (грунтовые, артезианские, родниковые) в основном не содержат нерастворимых примесей, не имеют цвета, отличаются высокой прозрачностью и их довольно часто можно использовать без очистки для хозяйственно-питьевых нужд. По сравнению с поверхностными подземные воды более минерализованы и, как правило, имеют более высокое содержание железа.

На всех источниках водоснабжения и водопроводных сооружениях хозяйственно-питьевого назначения для обеспечения санитарно-эпидемиологической надежности систем централизованного и местного водоснабжения населенных пунктов устанавливают зоны санитарной охраны.

2.5.5. Водозаборные сооружения

Для забора воды поверхностных источников применяют в основном русловые или береговые водозаборные сооружения, которые отличаются расположением мест приема воды по отношению к берегу. На реках небольшой глубины с наклонными берегами устраивают русловые водозаборы, состоящие из водоприемника (оголовка), самотечных или сифонных трубопроводов, берегового колодца (рис. 2.15).

Водопроницаемые отверстия в оголовках располагают на высоте 0,5–1,5 м от дна и защищают решетками от попадания мусора, плавающих предметов, рыбы и т.д. Самотечные линии, которые соединяют оголовки и береговой колодец, проектируют для обеспечения надежности в виде двух независимых друг от друга труб. Береговой колодец оборудуют приемными сетками с размерами ячеек от 2×2 до 5×5 мм. Процеживание воды через решетки и сетки обеспечивает ее предварительную грубую очистку и предотвращает повреждение насосов и другого оборудования. Береговой колодец располагают на незатопляемом во время паводка берегу, но при этом следует отдаляться далеко от оголовка, поскольку это приводит к увеличению потерь напора в самотечных линиях. Там, где это возможно, береговой колодец сочетают с насосной станцией I-го подъема, что уменьшает капитальные затраты и упрощает эксплуатацию.

В отличие от русловых, береговой водозабор не имеет самотечных линий и полностью располагается на берегу. Такие водозаборы сооружают на реках в местах с крутым берегом и достаточной глубиной воды.

Вода в водоприемный колодец поступает через окна, оборудованные решетками для задержания мусора. В течение года уровень воды

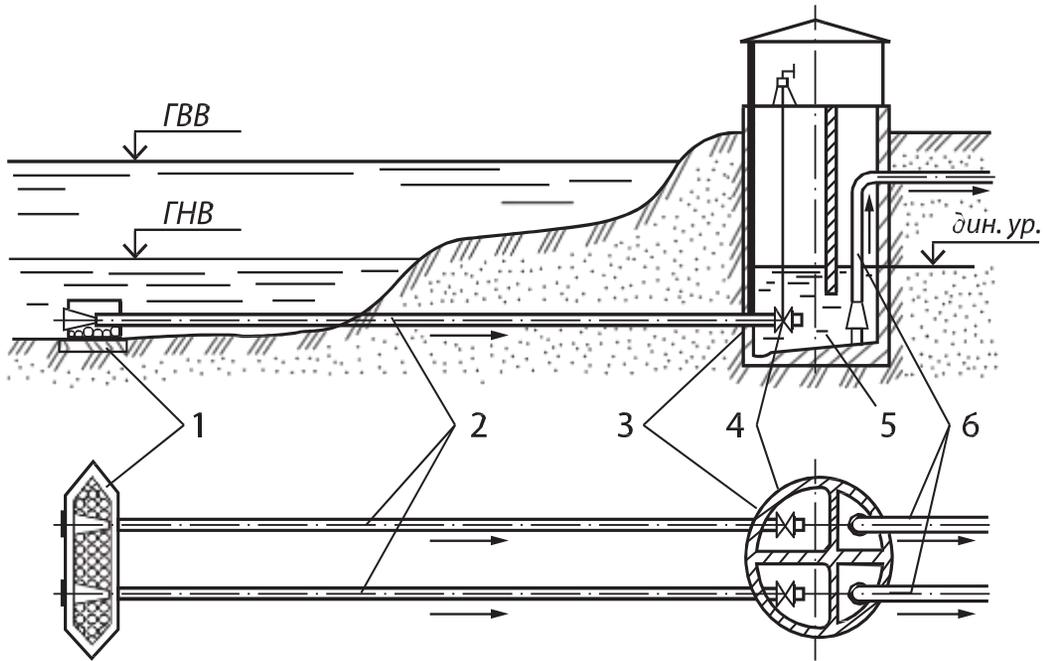
**Рисунок 2.15.**

Схема руслового водозабора с самотечными линиями

ГНВ – горизонт низких вод, ГВВ – горизонт высоких вод; 1 – оголовок, 2 – самотечные трубы, 3 – береговой колодезь, 4 – задвижки, 5 – сетка, 6 – всасывающие трубы насосов

в реке колеблется, поэтому, как правило, предусматривают два яруса водоприемных окон для забора более чистой воды. После решеток вода процеживается через сетки и забирается насосами первого подъема.

В ряде случаев на реках с недостаточной шириной и большим содержанием взвешенных веществ или шуги в зимнее время береговые водозаборы располагают в специальных сооружениях – ковшах.

Для временных водопроводов устраивают передвижные и плавающие водозаборы.

Речные водозаборы устраивают выше населенного пункта по течению реки на участках с необходимыми глубинами, как можно ближе к основному потоку, желательно у вогнутого берега.

Для забора подземных вод применяют различные сооружения – скважины, шахтные колодцы, горизонтальные и лучевые водозаборы, каптажные камеры.

Шахтные колодцы используют в основном для получения подземных безнапорных или межпластовых вод верхних горизонтов. Обычно глубина шахтных колодцев не превышает 10 м, но в отдельных случаях может достигать 30 м. Единичные колодцы используются преимущественно для местных систем водоснабжения, поэтому они получили наибольшее распространение в сельской местности. Для централизованного водоснабжения используют группы шахтных колодцев, соединенных трубопроводами со сборным колодезем для забора воды из него насосами.

Водозаборные скважины (трубчатые колодцы) применяют в тех случаях, когда подземные воды залегают на глубине более 10 м, а мощность водоносного пласта не более 5 м. Скважина состоит из трех основных элементов: оголовка, ствола и водоприемной части. Оголовок предназначен для закрепления устья скважины, защиты от попадания в нее загрязненных поверхностных вод, а также размещения арматуры и оборудования. Высота оголовка должна быть не менее 2,5 м.

Ствол скважины крепится обсадными трубами для защиты стенок от обвала в сыпучих породах. Водоприемную часть скважины оборудуют фильтром, который не должен пропускать частицы водоносной породы. Используют фильтры различных типов: трубчатые с круглыми и щелевыми отверстиями; сеточные, в которых фильтровая сетка наматывается на каркас; гравийные, в которых крупнозернистый песок или гравий располагается между водоносным грунтом и опорным каркасом.

Расчет параметров водозаборных сооружений следует проводить по специальным методикам.

Горизонтальные водозаборы сооружают при небольшой мощности (до 10 м³/ч) потока подземных вод и глубине залегания водоносного пласта до 8 м, преимущественно вблизи поверхностных водостоков и водоемов, а также при необходимости перехвата инфильтрационного подземного потока на возможно большей ширине.

Лучевые водозаборы являются разновидностью шахтных колодцев и состоят из водосборного колодца и водоприемных лучей (дрен). Довольно часто их используют для отбора подземных (подрусловых) вод вблизи рек. Для отбора воды подруслового потока применяют также водозаборы инфильтрационного типа. Они по конструкции аналогичны шахтным колодцам и их располагают вдоль реки.

В местах, где подземная вода выходит на поверхность, образуются источники. Сбор такой воды осуществляют через каптажные камеры, которые предназначены для защиты источника от поверхностного загрязнения и обеспечения поступления воды в сборную камеру. Их целесообразно устраивать только в случаях отсутствия более надежных источников водоснабжения, при достаточном дебите, возможности санитарной охраны от загрязнения или для специального пользования (например, источник лечебных минеральных вод).

2.5.6. насосы и насосные станции

Насосы – это гидравлические машины, которые передают жидкости, протекающей внутри них, энергию, полученную извне. Благодаря этому жидкость поднимается на некоторую высоту или получает соответствующее давление. Преимущественно к насосам подводят механическую энергию (центробежные, поршневые насосы и т.п.) или, что реже, используют потенциальную или кинетическую энергию жидкой или газообразной среды (струйные насосы, эрлифты и т.п.). По принципу работы и конструкции рабочих органов насосы подразделяют на объемные и динамические. В динамических насосах жидкость под действием силы

перемещается в камере, постоянно соединенной с входом и выходом насоса. Объемные насосы работают по принципу, при котором жидкость перемещается путем периодического изменения объема камеры при переменном сочетании ее с входом и выходом. Жидкость за каждый цикл подается определенными порциями – объемами.

В состав насосных станций входят основные (рабочие) и резервные агрегаты, насосы специального назначения (противопожарные, дренажные и другие), а также вспомогательное оборудование, которое обеспечивает нормальную работу рабочих агрегатов (электрооборудование, подъемно-транспортные механизмы, контрольно-измерительные и сигнальные устройства и т.д.). Преимущественно здания насосных станций проектируют круглыми или прямоугольными в плане.

По месту расположения в общей схеме водоснабжения и назначению насосные станции подразделяют на станции первого и второго подъема, повышающие и циркуляционные.

Станции первого подъема предназначены для перекачивания воды из источника водоснабжения на очистные сооружения, а если очистка не требуется, то в резервуары чистой воды. Для обеспечения стабильной работы водоприемных и очистных сооружений насосы станции первого подъема рассчитывают на равномерную подачу воды в течение суток. Подачу насосов при круглосуточной работе станции первого подъема следует принимать, как правило, равной среднечасовому расходу воды в сутки наибольшего водопотребления с учетом расхода воды на восстановление противопожарного запаса и собственных нужд сооружений для очистки воды и системы водоснабжения в целом.

Станции второго подъема перекачивают воду из резервуаров чистой воды к потребителю. Поскольку потребление воды на хозяйственно-питьевые нужды неравномерное в течение суток, то насосные станции обеспечивают подачу воды с учетом этой неравномерности.

2.5.7. наРужные сети и сооРужения систем ВодоотВедения

Использование воды на различные нужды сопровождается изменением состава и свойств, что делает невозможным или нецелесообразным дальнейшее применение и вызывает необходимость ее отведения. Воду, изменившую после использования в бытовой и производственной деятельности свои физико-химические свойства и подготовленную для отведения, называют сточной. В зависимости от условий образования выделяют бытовые (*domestic waste water*), производственные (*industrial waste water*) и поверхностные (дождевые, атмосферные – *run-off rain water*) сточные воды.

Бытовые сточные воды отводятся от жилых, административных и коммунальных зданий, а также бытовых помещений промышленных предприятий, и содержат отходы жизнедеятельности человека, а также вещества из средств гигиены, косметики, бытовой химии и т.п.

Производственные сточные воды образуются в процессе производства различных товаров, изделий, продуктов, материалов и характери-

зуются чрезвычайным разнообразием состава и свойств, отражающим специфику конкретных производств.

Поверхностный сток формируется в процессе выпадения дождей (дождевые, ливневые воды) и таяния снега (талые воды) на территориях населенных пунктов и промышленных предприятий и других объектов, поверхность которых застроена, а также полностью или частично покрыта материалами, характеризующимися меньшей проницаемостью для воды.

Смесь бытовых, производственных и/или поверхностных сточных вод называют городскими, или коммунальными, сточными водами (*urban waste water*).

Основными характеристиками сточных вод являются: расход сточных вод, измеряемый в $\text{дм}^3/\text{с}$ или $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{смену}$, $\text{м}^3/\text{сут}$ и т.д.; величина показателей, характеризующих содержание загрязняющих веществ в $\text{мг}/\text{дм}^3$ или $\text{г}/\text{м}^3$; степень равномерности их образования и поступления в водоотводящие системы по часам, суткам, сезонам.

Для отведения образующихся сточных вод создается система, состоящая из следующих основных элементов: внутренних водоотводящих сетей в зданиях, оснащенных санитарно-техническим оборудованием; внутриквартальных водоотводящих сетей; наружной водоотводящей сети; аварийно-регулирующих резервуаров; специальных сооружений; насосных станций и напорных трубопроводов; станций очистки сточных вод; выпусков сточных вод.

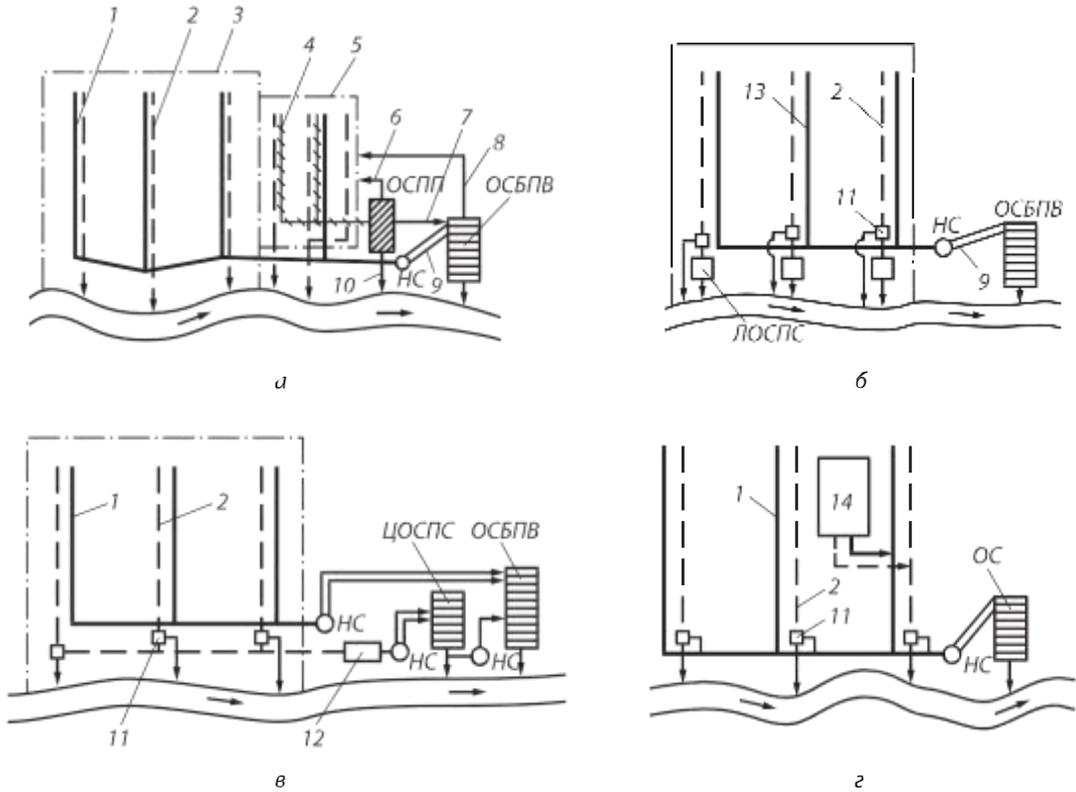
В зависимости от способа отведения сточных вод различного вида выделяют общесплавные и отдельные системы, которые в свою очередь подразделяются на полные отдельные, неполные отдельные и полураздельные.

Общесплавная система водоотведения имеет единую водоотводящую сеть для отведения бытовых, производственных и поверхностных сточных вод. Особенностью этой системы является оснащение главного коллектора ливнепуском для сброса смеси сточных вод в водоем без очистки в период дождя определенной интенсивности. При общесплавной системе водоотведения значительно усложняется эксплуатация насосных и очистных сооружений вследствие неравномерного притока дождевых вод.

Полная раздельная система водоотведения имеет несколько водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отведения и очистки сточных вод определенного вида (рис. 2.16, а). Производственные сточные воды, близкие по составу бытовым, могут отводиться по бытовой сети без ограничений при соблюдении установленных правил.

При разработке системы водоотведения городов и промышленных предприятий необходимо предусмотреть очистку наиболее загрязненной части поверхностного стока, образующегося в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий в количестве 70% годового стока для селитебных территорий и всего объема стока для площадок предприятий, содержащего токсичные вещества.

При полной раздельной системе водоотведения очистка поверхностного стока может быть реализована дифференцированно с созданием

**Рисунок 2.16.**

Схемы полной раздельной и полураздельной систем водоотведения

Раздельные: а – без очистки поверхностного стока; б и в – с очисткой поверхностного стока на локальных и централизованных очистных сооружениях; г – полураздельная; ОСБПВ – очистные сооружения бытовых и производственных сточных вод; ОСПП – очистные сооружения промышленного предприятия; ЛОСПС – локальные очистные сооружения поверхностного стока; ЦОСПС – централизованные очистные сооружения поверхностного стока; НС – насосная станция; 1 – бытовая сеть; 2 – ливневая сеть; 3 – граница города; 4 – производственная сеть; 5 – граница промышленного предприятия; 6 – возврат воды на производство после очистки; 7 – подача воды для доочистки на очистные сооружения города; 8 – подача очищенных вод на промышленное предприятие; 9 – напорные трубопроводы; 10 – выпуск очищенных производственных сточных вод в водный объект; 11 – распределительные камеры; 12 – регулирующий резервуар; 13 – производственно-бытовая сеть; 14 – промышленное предприятие

локальных очистных сооружений поверхностного стока (см. рис. 2.16, б) или централизованных очистных сооружений за пределами обслуживаемого объекта (рис. 2.16, в).

Неполная раздельная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, состоящую из подземных трубопроводов и каналов, предназначенную для отведения смеси бытовых и производственных сточных вод на городские очистные сооружения. Отведение и сброс дождевых вод без очистки в водоем производится по открытым лоткам, кюветам и канавам.

Полураздельная система водоотведения имеет две водоотводящие сети – производственно-бытовую и дождевую (рис. 2.16, г), в местах пересечения этих сетей устраиваются разделительные камеры. При малых расходах воды в дождевой сети камеры перепускают весь расход дожде-

вых вод в главный общесплавной коллектор производственно-бытовой сети. При больших расходах воды в дождевой сети менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки.

Комбинированная система водоотведения обычно возникает исторически, в результате разной технической политики, реализуемой на различных этапах развития степени благоустройства города. При этом часть обслуживаемого объекта имеет общесплавную систему, а часть – полную раздельную. В силу происхождения комбинированные системы водоотведения занимают по санитарно-технической эффективности промежуточное положение.

Системы водоотведения промышленных предприятий также подразделяются на общесплавные и раздельные.

Трассировка канализационной сети. Под трассировкой канализационной сети понимают определение расположения уличных коллекторов на плане населенного пункта. Основная задача трассировки сети заключается в том, чтобы отвести стоки по трубам и каналам самотеком с максимально возможной территории.

Исходными данными для проектирования канализации населенного пункта или промышленного предприятия служит генеральный план населенного пункта или предприятия, который учитывает перспективу их развития.

Канализация проектируется на полный расчетный период времени, в течение которого сети должны иметь определенную пропускную способность и соответствовать своему назначению без реконструкции и расширения. Для городов этот период составляет 20–25 лет, а для промышленных предприятий он равен сроку, в течение которого они работают на полную мощность.

Проект системы канализации выполняют в соответствии с действующими нормативными документами, в которых приведены правила выбора системы канализации, нормативные материалы для определения расчетных расходов сточных вод и размеров канализационных сооружений, гидравлического расчета сетей и оборудования, технологического расчета очистных сооружений.

Нормы и режим водоотведения. Для определения расходов сточных вод на конец расчетного периода нужны сведения о численности населения и данные о предприятиях.

Нормы водоотведения от районов жилой застройки ($q_{ж}$) зависят от степени благоустройства районов жилой застройки и находятся в пределах 125–350 дм³/сут.

Расходы производственных сточных вод зависят от нормы водоотведения производственных вод и количества продукции.

Сточные воды поступают в канализационную сеть неравномерно как в отдельные дни, так и в отдельные часы суток. Неравномерность поступления характеризуется ступенчатым графиком, аналогичным соответствующему графику водопотребления.

Расчетные часовые и секундные расходы воды определяют по общему коэффициенту неравномерности притока сточных вод, который зависит от средних расходов бытовых сточных вод.

Канализационные сети рассчитывают по максимальным секундным расходам сточных вод. При этом удобно расчетные расходы определять по модулю стока q_0 , $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{га})$.

Модуль стока определяют для каждого квартала, который отличается от других плотностью населения и нормой водоотведения.

Перед проведением гидравлического расчета канализационной сети ее разбивают на расчетные участки. Расчетным называют участок канализационной сети между двумя точками (колодцами), на котором расчетные расходы сточных вод принимают постоянными.

Расчетные расходы на участке определяются как сумма расходов¹:

- путевых – поступающих от жилой застройки, расположенной вдоль участка;
- транзитных – от расположенных выше кварталов;
- боковых – от боковых линий, которые подключаются;
- сосредоточенных, поступающих в расчетный участок сети от отдельных крупных водопотребителей (например, промышленных предприятий).

Для упрощения расчетов условно считают, что все путевые расходы от жилых кварталов поступают только в начальную точку участка. При этом величину путевых расходов сточных вод для расчетных участков уличной канализационной сети определяют в зависимости от ее расположения в плане.

Минимальные диаметры труб самотечной канализации: для уличной сети – 200 мм, для дворовой и квартальной бытовой сети – 150 мм, для дождевой и общесплавной уличной сети – 250 мм, дождевой квартальной – 200 мм.

Стоимость и сроки строительства канализационной сети в значительной степени зависят от заглубления труб, которое назначают минимальным с учетом следующих требований:

- предотвращение замерзания сточных вод в трубах;
- защита труб от механического повреждения;
- обеспечение возможности подключения к уличной сети дворовых и внутриквартальных сетей.

Если нет данных об эксплуатации канализации в районе строительства или в аналогичных условиях, наименьшее заглубление лотка труб для диаметров до 500 мм принимается на 0,3 м меньше наибольшей глубины промерзания грунта в данном районе, а для больших диаметров – на 0,5 м, но не менее 0,7 м до верха трубы. Размещение труб в зоне промерзания грунта допускается потому, что температура сточных вод не опускается ниже 7°C даже в холодный период года.

Для предупреждения повреждения канализационных сетей наземным автотранспортом, как правило, принимают минимальное заглубление труб дворовой и квартальной сети 0,7 м, а уличных городских сетей – 1,5 м до верха трубы.

Нормальные гидравлические условия работы канализационной сети обеспечиваются не только правильным гидравлическим расчетом, но

¹ См. литературу к разделу 2.5.

и правильным конструированием отдельных ее элементов. При проектировании канализационных сетей необходимо выполнять следующие условия:

- 1) канализационные линии между колодцами следует прокладывать прямолинейно;
- 2) соединение труб и коллекторов в колодцах делают в виде открытых лотков, выполненных плавными линиями;
- 3) трубы и каналы в колодцах необходимо соединять по верху труб или по уровням воды;
- 4) расчетная скорость течения должна нарастать вдоль коллектора;
- 5) в местах сопряжения потоков не следует допускать встречных течений, ударов струи и подпоров;
- 6) наполнения в присоединяющихся потоках должны быть выровнены уровнем воды или быть выше, чем в основном потоке, а скорость меньше, чем в основной трубе, и т.д.

Одновременно с проведением гидравлического расчета канализационной сети делают высотную увязку труб и строят продольный профиль сети с учетом перечисленных условий.

К материалу труб, коллекторов и их соединений предъявляют ряд требований: прочность, восприятие нагрузки от веса грунта и транспорта без деформации, устойчивость против коррозии и механического истирания, гладкая внутренняя поверхность, водонепроницаемость, исключение утечки сточных вод в грунт (эксфильтрация) и грунтовых вод в сеть (инфильтрация). Этим требованиям отвечают керамические, бетонные, железобетонные, асбестоцементные, металлические и пластмассовые трубы.

В зависимости от вида грунта, материала и диаметра труб их кладут непосредственно на грунт или искусственное основание.

Устройство искусственного основания под трубы необходимо при слабой несущей способности грунта или при возможном уменьшении несущей способности при замачивании или по другим причинам.

Трубы и каналы канализационной сети должны удовлетворять гидравлическим, статическим, экономическим и эксплуатационным требованиям.

Для осмотра и прочистки канализационной сети на ней сооружают смотровые колодцы.

Дождевая канализация служит для отвода дождевых и талых вод. Ее, как правило, трассируют по кратчайшим расстояниям к месту выпуска.

Внешняя дождевая канализация состоит из открытых дождевых люветов и лотков, дождеприемников (дождеприемных колодцев), закрытой сети труб, сливов и выпусков. В закрытую дождевую сеть вода попадает через дождеприемники – круглые или прямоугольные колодцы, перекрытые металлическими решетками, которые пропускают воду и задерживают все, что может засорить канализационную сеть. Дождеприемники устанавливают в пониженной части проездов у тротуаров, перекрестков улиц на расстоянии 50–80 м друг от друга.

Выпуск дождевых стоков в водоемы проводится преимущественно в пределах города или промышленных предприятий. Из санитарных и эстетических соображений дождевые воды следует выпускать под уровень воды в реке.

Сливы на сети позволяют направлять наиболее загрязненные порции дождевых вод на очистку.

Гидравлический расчет дождевой сети проводят по тем же нормативным документам, что и расчет бытовой сети.

Выбор способа отвода дождевых и талых вод (открытый, закрытый, смешанный) определяется технико-экономическими расчетами. При строительстве новых систем канализации, в случае необходимости в очистке поверхностного стока, рассматривают вопрос об устройстве общесплавной или полураздельной системы водоотведения.

Перекачка сточных вод. В тех случаях, когда невозможно осуществить отвод сточных вод самотеком на очистные сооружения, применяют насосы. К ним, учитывая свойства перекачиваемой жидкости (содержание в ней бумаги, ветоши и других примесей), предъявляются следующие требования:

- 1) они не должны засоряться крупноразмерными механическими примесями, находящимися в стоках;
- 2) их конструкция должна обеспечивать возможность очистки рабочего колеса, корпуса и патрубков.

Канализационные насосные станции по назначению бывают главными (перекачивают сточные воды со всей территории), районными (перекачивают сточные воды из отдельных бассейнов канализования), линейными или подкачки (перекачивают сточные воды с максимально углубленного коллектора в коллекторы с меньшим углублением) и местными (перекачивают сточные воды от одного или нескольких домов).

Канализационные насосные станции имеют машинное отделение, приемный резервуар, бытовые и вспомогательные помещения. В машинном зале располагают основные и резервные насосы, а также все вспомогательное оборудование для нормальной работы насосов. Приемный резервуар образует регулировочную емкость, которая обеспечивает наиболее эффективную равномерную работу насосов.

Регулирующий объем определяется по совмещенным графикам притока и откачки сточных вод и должен быть не менее пятиминутной подачи наибольшего из установленных насосов.

Приемный резервуар оборудуют решетками для задержания крупных механических примесей. Задержанные примеси измельчают в специальных аппаратах и сбрасывают в канал перед решетками. Машинный зал и другие служебные помещения отделяют от приемного резервуара сплошной водо-газонепроницаемой стенкой.

Схемы и конструкции насосных станций зависят от гидрогеологических условий, глубины подводящего коллектора, типа и количества насосов, особенности расположения насосных агрегатов и т.п.

Как правило, насосные станции расположены в пониженных местах, имеют значительное углубление – часто ниже уровня подземных вод.

В этом случае целесообразно применять канализационные насосные станции шахтного типа и круглые в плане.

Максимальная подача насосных станций устанавливается по графикам притока и откачки сточных вод. В большинстве случаев ее принимают равной максимальному притоку сточных вод. Размеры насосных станций определяют исходя из объема приемного резервуара, габаритов оборудования вспомогательных и бытовых помещений. Подземная часть канализационных насосных станций выполняется из бетона или железобетона, а наземная – из кирпича.

Насосные станции должны быть оборудованы внутренним водопроводом, отоплением, освещением и вентиляцией.

Литература к разделу 2.5

- Гироль М., Охримюк Б., Собчук Г., Лагуд Г.* Системи водовідведення. Навчальний посібник (Системи водоотведения. Учебное пособие). – Рівне: НУВГП, 2011. – 444 с.
- Запольський А.К.* Водопостачання, водовідведення та якість води (Водоснабжение, водоотведения и качество воды). – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
- Яковлев С.В., Воронов Ю.В.* Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Ассоциация строительных ВУЗов, 2004. – 704 с.

2.6. бассейновое управление водными ресурсами. опыт внедрения бассейнового управления в мире

Мировые запасы пригодных для эксплуатации и возобновляемых ресурсов пресных вод содержатся в озерах, реках, водно-болотных угодьях и водоносных формациях. Бассейн реки или озера представляет собой ограниченную водоразделами систему небольших водотоков и рек, впадающих в единый водоприемник. В случае реки – это обычно море, но может быть и водоем, расположенный внутри материка, например, озеро или болото. Подземный бассейн или водоносная формация – это подземный изолированный пласт хорошо проницаемого грунта, содержащего запасы воды.

При управлении водными ресурсами бассейн рассматривается как самостоятельная гидрологическая единица. Различные дисциплины и различные страны используют разные термины, такие как бассейн, водораздел, водосборная площадь, но в данном случае используется термин “бассейн”. Во всем мире существует 263 крупных трансграничных речных бассейна и сотни трансграничных водоносных горизонтов.

Национальные правительства разрабатывают стратегии использования и охраны водных ресурсов для своих стран. Хотя реализация этих стратегий может быть эффективной на различных уровнях, но там, где стратегии осуществляются на уровне бассейна, всегда есть возможность найти решения для “всего бассейна” и устранить противоречия между пользователями верхнего и нижнего течения (для реки) или между регионами (для озера или запасов подземных вод). Подход для “всего бассейна” позволяет оценить воздействие на системном уровне. Другими словами, национальные стратегии, межгосударственные соглашения и региональные конвенции по трансграничным водам применяются к сформированным природой бассейнам. Таким образом, взаимосвязи между администрированием водными ресурсами в пределах одной страны и управлением водными ресурсами бассейнов становятся более динамичными и чувствительными к изменяющимся экологическим, социальным или экономическим условиям.

Используемый термин “бассейновая организация” относится ко всем типам учреждений, которые управляют бассейнами. Бассейновые организации могут быть созданы с различными целями и могут исполнять различные функции, согласно своим мандатам и юридическим основаниям для их учреждения. Бассейновые организации создаются с различной организационной структурой, в зависимости от решаемых задач, юридических и административных систем, наличия персонала и финансовых ресурсов. Это обычно, но не всегда официальные, юридически оформленные структуры. Однако в некоторых случаях менее формально организованные структуры также успешно функционируют. Но при любой организационной структуре бассейновые организации должны оставаться организациями государственного сектора, так как

управление водными ресурсами является общественной сферой деятельности.

Хотя официальные бассейновые организации – часть государственного сектора, для эффективного управления водными ресурсами необходимо также широкое участие различных заинтересованных сторон, которые могут быть представлены группами общин, экономическими секторами, неправительственными организациями и частными предприятиями.

Таким образом, бассейновые организации представляют собой организации, объединяющие ряд структур, необходимых для управления бассейном. Их полномочия должны охватывать перспективу “крупной картины” и предоставлять ведущую роль в решении водохозяйственных проблем на уровне бассейна. Это означает поддерживать полную информированность и участие в своей работе принимающих решения лиц и участников экономической деятельности из всех секторов и на всех уровнях как общественного, так и частного сектора.

Бассейновые организации могут иметь различные формы: организации, принимающие решения согласно их уставу, или консультативные органы, управляющие органы, агентства развития и регулятивные органы. Часто они работают вместе с другими правительственными агентствами и административными органами. Ответственность за управление водными ресурсами, регламентирование водных ресурсов и предоставление водохозяйственных услуг должны распределяться между различными агентствами, чтобы рационализировать их деятельность и обеспечить подотчетность.

Распределение обязанностей по управлению водными ресурсами, регламентирование и обеспечение водохозяйственных услуг можно условно разделить на три уровня:

1) *уровень государства* (министерства или другие правительственные органы) – регламентирование:

- разработка и внедрение нормативных документов по ценообразованию;
- разработка стандартов качества воды;
- разработка законодательства для стандартов и политики;
- санкционирование и контроль водозаборов и сбросов и работы по модификации речных потоков и экосистем;
- аудит работы водохозяйственного сектора на соответствие стандартам;

2) *бассейновый уровень* – управление:

- выполнение стратегических водохозяйственных оценок;
- разработка политики и стратегий, соответствующих региональным и национальным целям и стандартам;
- надзор за стратегическими водохозяйственными исследованиями;
- планы развития водных ресурсов;
- вододеление;
- финансирование бассейновых планов действий;
- управление количеством и качеством поверхностных и подземных вод;
- координация межведомственных связей и действий;

- разработка программ наращивания потенциала водного сектора;
- поддержка информированности и участия общественности;
- 3) *локальный уровень* (государственные, частные или смешанные организации) – оказание услуг:
- строительство и эксплуатация сетей водоснабжения и канализации, очистных сооружений сточных вод, дренажные и ирригационные системы;
- обслуживание инфраструктуры;
- предоставление технической помощи и консультаций;
- оплата услуг;
- работа в рамках некоторых форм юридических соглашений, обычно с регулятором по правам эксплуатации и с ресурсным менеджером – по эксплуатации водных ресурсов.

Бассейновые организации функционируют в соответствии с их индивидуальными полномочиями, обычно определенными на высшем уровне центральным правительством, для решения задач и реализации политики правительства. Полномочия зависят от причин, по которым приступили к реализации бассейновых инициатив, и отражают важные проблемы, решаемые в бассейне.

Хотя бассейновые организации выполняют многие задачи, имеется тенденция их фокусирования на трех основных направлениях деятельности:

- мониторинг, изучение, координация и регулирование;
- планирование и финансирование;
- развитие и управление.

Всесторонняя оценка управления водными ресурсами в сельском хозяйстве (ВО) вместе с Глобальным водным партнерством и Международной сетью бассейновых организаций составили список основных функций интегрированного управления водными ресурсами на уровне бассейна (табл. 2.17).

В зависимости от цели, ради которой создавалась бассейновая организация, и структур для управления, они могут выполнять некоторые или все эти функции. Исходя из перспектив интегрированного управления водными ресурсами, при выполнении этих задач важно, чтобы бассейновая организация оставалась гибкой в управлении, работала со всеми уровнями водохозяйственной иерархии и в партнерстве с пользователями.

Существует много различных типов бассейновых организаций. Бассейновые организации могут быть созданы с нуля, но более вероятен эволюционный путь их развития, при реформировании существующих организаций с целью удовлетворения местных потребностей и приспособления к изменяющейся практике. Институциональная структура бассейновых организаций зависит от местных юридических систем и стиля работы лидеров, поэтому то, что в одной стране называется “советом бассейна”, может отличаться по форме и функциям от того, что называется “советом бассейна” в другой стране.

Ниже приводится краткая сводка различных типов бассейновых организаций, которые обычно действуют по всему миру. В качестве

таблица 2.17. Основные функции бассейновых организаций

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ БАСЕЙНОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ		
⇓	⇓	⇓
<p style="text-align: center;">Мониторинг, изучение, координация и регулирование</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Сбор данных.</i> Сбор, управление и передача данных относительно наличия водных ресурсов, водопотребления (включая экологические требования) и качества воды для поддержки различных бассейновых функций. • <i>Превентивность, мониторинг и усиление.</i> Мониторинг и контроль загрязнения водных ресурсов, уровня минерализации и объемов откачки подземных вод обеспечивают их динамику в определенных границах; а усиление соответствующих законов и инструкций позволяет предотвратить деградацию/ использование природных ресурсов выше уровня их естественного восстановления и восстановить экосистемы. • <i>Координация.</i> Гармонизация политики и действий предпринимается в бассейне государственными и негосударственными организациями для соответствующего управления земельными и водными ресурсами. • <i>Урегулирование конфликтов.</i> Обеспечение механизмов для ведения переговоров и судебного разбирательства. 	<p style="text-align: center;">Планирование и финансирование</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Вододеление.</i> Определение механизмов и критериев, посредством которых водные ресурсы распределяются между отраслями-водопользователями, а также обеспечиваются экологические требования. • <i>Планирование.</i> Составление среднесрочных и долгосрочных планов для развития и управления водными ресурсами в бассейне. • <i>Мобилизация ресурсов.</i> Обеспечение финансирования, например, посредством сбора оплаты за воду или водного налога. 	<p style="text-align: center;">Развитие и управление</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Строительство сооружений.</i> Проектирование и строительство водохозяйственной инфраструктуры. • <i>Эксплуатация сооружений.</i> Эксплуатация водохозяйственной инфраструктуры. • <i>Эксплуатация и управление.</i> Обеспечение нормальной работы плотин, навигационных каналов и водораспределительной инфраструктуры, а также водоочистных сооружений; обеспечение доставки воды до места ее использования; обеспечение согласованного управления поверхностными и подземными водами. • <i>Подготовка к борьбе с водной стихией.</i> Защита от паводков и проведение противоаварийных работ, планы борьбы с засухами/ наводнениями и защитные механизмы. • <i>Защита и сохранение экосистем.</i> Определение приоритетов и выполнение мероприятий по охране экосистем, включая кампании повышения уровня информированности населения.

ключевых отличительных черт можно выделить следующее: является ли бассейновая организация официальным правительственным органом согласно принятому закону, временной официальной организацией, но с ограниченными юридическими полномочиями, или общественной или неправительственной организацией без юридических полномочий.

Другими отличительными чертами являются функции бассейновых организаций: являются ли они собственниками плотин, каналов, судоходных каналов, гидроэлектростанций и ирригационных сооружений, а также строят и эксплуатируют данную водохозяйственную инфраструктуру или они отвечают только за управление этой инфраструктурой.

1. Бассейновые комиссии или администрации. На протяжении многих десятилетий межгосударственные комиссии или администрации

трансграничных речных бассейнов или водоносных пластов создавались на основе двусторонних или многосторонних договоров или соглашений, заключаемых странами бассейна. Бассейновые комиссии могут иметь лишь консультативные функции – разработка рекомендаций и осуществление образовательных программ и мониторинга, но могут также выполнять надзорные функции и работать по реализации поставленных задач правительственными планами или межгосударственным соглашением.

2. Бассейновые дирекции или агентства. Бассейновая дирекция или агентство выполняет планирование и другие обязанности согласно уставу организации. Они могут подготовить и вводить в действие правила и нормы или согласовывать проекты развития, обычно опираясь в своей деятельности на принципы государственной гражданской службы, служа обществу при некоторой автономии в рамках национальной юридической структуры. Они могут играть роль арбитра, когда заинтересованные стороны просят их принять решение по возникающим конфликтным ситуациям. Они обычно отвечают за выполнение задач среднесрочного планирования и за сбор налогов за водозабор и сброс сточных вод, которые обеспечивают средства для финансирования эксплуатационных работ или инвестиций, необходимых для достижения поставленных целей. В некоторых случаях, они также могут отвечать за разработку водной политики, исследования, сбор или подготовку данных, обмен информацией и повышение информированности общественности.

3. Бассейновые ассоциации или советы. Бассейновый совет может быть официальной или неформальной группой, включающей правительственных чиновников, парламентариев, представителей неправительственных организаций и простых людей, которые собираются для обсуждения водохозяйственных проблем. Советы обычно создаются для выработки рекомендаций правительству. Совет, в отличие от комиссии, который также состоит из экспертов, не имеет распорядительных полномочий. Бассейновые ассоциации или советы (также иногда называемые синдикатами) часто работают параллельно с официальной администрацией и представляют различные категории пользователей, неправительственные организации или местные общественные группы.

4. Корпорации или компании. В дополнение к типам бассейновых организаций, описанных выше, имеются также корпорации или компании, строящие водохозяйственную инфраструктуру в бассейнах рек. Эти компании обычно получают долгосрочные концессии на строительство инфраструктуры от правительства и управляют инфраструктурой в течение установленного периода. В основном, они предоставляют услуги, осуществляют подачу воды и могут собирать оплату за различные виды пользования, такие как навигация, контроль паводков, орошение и производство гидроэлектроэнергии. В большинстве случаев, они имеют частный статус, поэтому они не играют надзорной роли при управлении водными ресурсами, потому что это может привести к конфликту интересов с обществом. Однако они могут создавать комитеты для консультаций с пользователями. Для обеспечения интегрированного подхода и распределения ответственности за управление и проведение политики в

интересах общества, отдельное правительственное подразделение должно получить полномочия на надзор за такими корпорациями и компаниями, так как они должны рассматриваться как водопользователи, а не бассейновые организации.

Различные типы бассейновых организаций могут работать в одном и том же бассейне, дополняя друг друга. Примеры функций водохозяйственных организаций в бассейнах пяти стран приводятся в табл. 2.18.

таблица 2.18. Организация управления водными ресурсами в бассейнах: сопоставление по странам (GWP, 2009)

Функции	Франция	Испания	Бразилия	Мексика	Марокко
Выработка водохозяйственной политики – утверждение (водозаборов, сбросов)	Государственные услуги	БВО (Конфедерации)	Федеральные услуги или услуги штата	Национальная водная комиссия	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
Регистрация пользователей	БВО (Водохозяйственное агентство)	БВО (Конфедерации)	БВО (Бассейновый комитет и Водохозяйственное агентство)	Национальная водная комиссия	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
Стратегическое планирование (Генеральная схема)	БВО (Бассейновый комитет)	БВО (Конфедерации)	БВО (Бассейновый комитет)	БВО (Бассейновый совет)	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
Управление концессиями крупных предприятий (продажа необработанной воды)	Частные застройщики	БВО (Конфедерации)	Частные застройщики	Национальная водная комиссия	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
Плата за воду (загрязнение, водозабор, план действий бассейна)	БВО (Водохозяйственное агентство)	БВО (Конфедерации)	БВО (Водохозяйственное агентство)	БВО новая бассейновая организация	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
Питьевое водоснабжение и санитария (община)	Муниципалитеты	Муниципалитеты и автономные органы	Муниципалитеты или государство	Муниципалитеты или государство	Муниципалитеты и Национальная компания водоснабжения
Орошение (община)	Застройщики и ассоциации	Ассоциации	Государство и ассоциации	Ассоциации	Сельскохозяйственный департамент
Мониторинг, сбор данных	Государственные услуги	БВО (Конфедерации)	Федеральные услуги Штат	Национальная водная комиссия	БВО (Гидрографическое бассейновое агентство)
	Водохозяйственное агентство	Автономные органы	Бассейновое агентство		
	Различные (частные)		Области, муниципал.	Области/штаты	Различные (частные)

Примечание: БВО – бассейновая водохозяйственная организация.

2.7. интегрированное управление водными ресурсами

Вода – то самое мягкое и самое слабое существо в мире, но в преодолении твердого и крепкого она непобедима, и на свете нет ей равного.

Дао Дэ Дзин

Глобальное водное партнерство определяет интегрированное управление водными ресурсами как процесс, который “способствует скоординированному развитию и управлению водными, земельными и связанными ресурсами, с целью максимизации экономических достижений и социального благополучия на основе справедливости и без компромиссов в отношении устойчивости жизненно важных экосистем”.

На уровне бассейна реки, озера или водоносного пласта ИУВР может быть определено как процесс, который обеспечивает скоординированное управление водными, земельными и связанными ресурсами в пределах бассейна с тем, чтобы оптимизировать и справедливо распределить производимые социально-экономические блага без компромиссов в отношении долгосрочного благополучия жизненно важных экосистем.

Подход ИУВР на национальном уровне не конфликтует с подходом ИУВР на бассейновом уровне и, фактически, они дополняют друг друга. Всесторонняя национальная структура для ИУВР имеет существенное значение и для управления бассейном, расположенным в национальных границах, и для управления трансграничным бассейном.

Задача интеграции землепользования и управления водными ресурсами в границах бассейна довольно трудна. Это происходит потому, что управление земельными ресурсами, которое включает в себя составление земельных кадастров, лесоводство, промышленность, сельское хозяйство и охрану окружающей среды, обычно не увязано с водной политикой и административно относится к разным ведомствам.

Разработка стратегии, планирование и управление могут рассматриваться как серия последовательных шагов в управлении бассейном. Первый шаг представляет собой постановку широких политических целей (“где мы хотим оказаться”). В ходе последующих шагов необходимо определить требующие решения проблемы в управлении водными ресурсами (идентификация проблем), составить список вероятных стратегий (“как мы хотим там оказаться”), оценить каждую из них, выбрать стратегию или их сочетание, реализовать стратегию, оценить полученные результаты, изучить наработанный опыт и откорректировать свои планы, чтобы они лучше соответствовали будущему развитию. Эти шаги формируют цикл (рис. 2.17). Конечно, на практике этот цикл может быть прерван внешним вмешательством, но “цикл управления с обучением



Рисунок 2.17.

Цикл управления планированием и реализацией

на собственном опыте” помогает использовать то, что изучено в процессе планирования и управления водными ресурсами, и учесть новую поступающую информацию. Это означает, что можно адаптировать то, как управление водными ресурсами к изменяющимся обстоятельствам, например, при политических изменениях, природных катаклизмах и изменениях в демографии.

Руководители водохозяйственных бассейновых организаций могут сомневаться, с чего начинать внедрение интегрированного подхода, кто является целевыми субъектами и на каком уровне.

Определение начальных или базовых уровней является простым и эффективным способом планирования начальных действий:

- 1) местный уровень (план для части бассейна, план управления местным водоносным пластом, план местного вододелиения в районах, местный административный план);
- 2) уровень выполнения (план управления в бассейновом или провинциальном масштабе);
- 3) политический уровень (национальные и межгосударственные процессы для разработки водной политики, договоров и законов).

Важно понять, что базовые уровни зависят от специфических характеристик отдельных бассейнов, в частности:

- располагается ли бассейн в границах одной страны или охватывает территории нескольких стран;
- масштаб планирования и управления (трансграничный, национальный, местный);
- этап развития бассейновой водохозяйственной организации;
- степень развития бассейна, например, в плане развития экономики или инфраструктуры;

- основные вызовы управлению водными ресурсами, например, рост населения, улучшение санитарных условий, продовольственная безопасность, смягчение последствий засух и наводнений;
- социальная, экономическая, политическая и институциональная ситуации.

Также необходимо признать, что там, где они действуют, бассейновые организации находятся на различных этапах их становления. Кроме того, они постоянно развиваются, так как принимаются новые законы и меняются их сферы ответственности и мандаты.

Вопрос заключается в том, как управление бассейном соотносится и связано с другими уровнями управления: национальным, провинциальным, районным и поселковым. Этот вопрос необходимо решить, чтобы избежать дублирования и неразберихи в распределении ответственности с другими административными органами.

Для этого требуется четкая юридическая структура, которая определит роли и ответственность, права и обязанности всех участников процесса, уровни децентрализации, а также процедуры и средства для хорошего управления водными ресурсами.

Ключевыми аспектами создания систем интегрированного управления бассейнами являются (табл. 2.19):

- Политическая воля, обязательства правительств и диалог с водопользователями – важные предпосылки для создания систем управления бассейнами.

таблица 2.19. Структура интегрированного управления бассейном

	Политический/ национальный уровень	Уровень выполнения	Уровень эксплуатации
Тип бассейновой организации	Трансграничная комиссия	Национальный или межгосударственный бассейн (например, комиссия, администрация, ассоциация)	Местный (например, группа по управлению земельными и водными ресурсами)
Стратегии и планы управления бассейном	Соглашение или план управления трансграничным бассейном; национальный план управления бассейном	План или стратегия управления суббассейном, план управления крупной частью водосбора, водоносного горизонта или озера	Местный план управления земельными и водными ресурсами, план управления ливневыми водами, схема местного планирования (управление местным правительством)
Уровень принятия решений	Наивысший политический уровень принятия решений, трансграничные соглашения	Территория провинции, штата, района (или национального уровня в небольших странах)	Сельский кооператив, ферма, фабрика, лесхоз, местное правительство, район водопользования
Система природных ресурсов	Часть географической зоны: бассейн реки, озера или водоносного пласта	Региональная или местная экологическая система озера, речной долины в пределах бассейна или водоносного пласта в пределах водоносной провинции	Площадь относительно одинаковыми экологическими и гидрологическими условиями

- Бассейновое управление руководствуется национальными законодательствами и стратегиями, а также межгосударственными соглашениями.
- Бассейновые организации действуют в рамках трехмерной структуры: благоприятные условия, институциональная среда (роли и ответственность) и механизмы управления.

Управление водными ресурсами может стать чувствительным политическим вопросом. Поэтому бассейновое управление должно иметь возможность оказывать влияние на процесс принятия решений. Это означает обеспечение прямых связей с министерствами и правительственными комитетами, связанными с управлением природными ресурсами. Связи с высшим уровнем руководства обеспечивают бассейновому управлению твердые позиции при планировании экономического развития. Высокий уровень поддержки является ключевым условием для создания юридической базы, организаций и структур управления, которые необходимы для жизнеспособных систем управления бассейном.

Там, где есть политическое решение, возможна практическая реализация стратегий, законов, финансирования и устойчивых институциональных структур для управления водными ресурсами. Значимость политической воли показывает, как важно работать с принимающими решения лицами для разъяснения им, что собой представляет интегрированное управление водными ресурсами и почему оно столь важно, чтобы обеспечить поддержку и обязательства на самом высоком уровне в отношении его внедрения.

При организации интегрированного управления должен выполняться принцип обязательного участия в процессе управления пользователей. ИУВР подразумевает, что те, кто заинтересован в решениях или подвергнется воздействию решений, принимаемых в отношении водных ресурсов, должны участвовать в бассейновом управлении и иметь свободный доступ к информации.

Целесообразно внедрять принципы ИУВР поэтапно.

Первыми шагами для групп пользователей и других заинтересованных сторон могут стать их встречи и поиск общих проблемных участков, где их совместные действия необходимы. Когда проблемы идентифицированы, можно начинать сбор и обмен информацией, а также подготовку предложений для рассмотрения и одобрения правительством.

Интеграция должна осуществляться как по вертикали (между различными уровнями власти), так и по горизонтали (между различными водопользователями и группами, на которые оказываются воздействия). Ключевым элементом горизонтальной интеграции является объединение усилий министерств, которые несут ответственность за деятельность, влияющую на состояние водных ресурсов, – министерств финансов, планирования, сельского хозяйства, транспорта и энергетики, а также тех министерств, которые отвечают за состояние здравоохранения и охрану окружающей среды. В любом бассейне неизбежно возникновение конфликта интересов в водопотреблении, например, использование воды для бытовых нужд, орошения, охраны окружающей среды, производства

электроэнергии и организации отдыха, а также проблем из-за загрязнения водных ресурсов или изменения режима стока рек.

Когда проблемы затрагивают несколько стран, саммиты или конференции глав государств могут потребоваться для совместного обсуждения и координации водных проблем в трансграничных бассейнах.

Наличие налаженного межведомственного диалога или диалога между пользователями верхнего и нижнего течения существенно для управления водными ресурсами. В определенных, исключительных, случаях, когда переговоры об использовании водных ресурсов заходят в тупик, может понадобиться арбитраж. Арбитражи являются независимыми, но обычно временными органами с юридическими или квазиправовыми полномочиями по принятию обязательных решений по вододелиению, ценообразованию на водохозяйственные услуги или изменению режима речного стока. Они функционируют как специальные суды вне национальных гражданских и криминальных юридических систем. Арбитражи рассматривают особые проблемы, принимают решения и улаживают споры между странами, штатами, провинциями и водопользователями.

В целом, национальные, провинциальные и местные водные законы и политика представляют собой правила игры, которые определяют, как все участники процесса должны играть свои роли при развитии и управлении водными ресурсами. Бассейновые водохозяйственные организации, созданные на основе принятого законодательства, имеют полномочия на управление трансграничными водами в рамках международных конвенций и межгосударственных договоров. Законы и водная политика, которые разъясняют роли, ответственность и подотчетность государственного и частного сектора, создают площадку – структуру управления водными ресурсами – для управления бассейном как частью существующих национальных административных систем. Бассейновые и национальные планы по управлению водными ресурсами должны быть согласованы.

Функции интегрированного управления водными ресурсами:

- четко определяются функции, структура и источники финансирования бассейновых организаций и бассейнового управления;
- определяются роли и юрисдикция управления;
- обеспечиваются справедливость и подотчетность при принятии решений;
- избегаются фрагментации и перекрытия обязанностей;
- разъясняются регулирующие и принуждающие положения вододелиения, предотвращаются загрязнения водных ресурсов, обеспечивается защита экосистем или осуществляется борьба с природными рисками, определяются права на воду.

Структура интегрированного управления водными ресурсами характеризуется тремя составляющими, которые обычно формируются на национальном уровне (табл. 2.20). Однако не всегда все элементы данной структуры присутствуют. Для внедрения интегрированного управления водными ресурсами в бассейне важно четко определиться со структурой управления водными ресурсами, которая позволяет принимать решения

таблица 2.20. Составляющие структуры интегрированного управления водными ресурсами

Благоприятные условия	Организации	Управление
<p>Законы и политика</p> <ul style="list-style-type: none"> • наличие структуры управления водными ресурсами в стране и на межгосударственном уровне <p>Диалог водопользователей</p> <ul style="list-style-type: none"> • межведомственный диалог и диалог пользователей верхнего и нижнего течения • бассейновый комитет <p>Бюджет</p> <ul style="list-style-type: none"> • финансирование организаций и инвестиции <p>Сотрудничество</p> <ul style="list-style-type: none"> • в трансграничных речных бассейнах 	<p>Роли и ответственность</p> <ul style="list-style-type: none"> • бассейновых и других водохозяйственных организаций на различных уровнях в государственном и частном секторе • механизмы эффективной координации • процесс планирования • финансирование 	<p>Структуры для:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оценки водных ресурсов (наличие и потребность) • установки систем связи и сбора информации • разрешения конфликтов при вододелении • разработки процедур • финансового регулирования • саморегулирования (самостоятельные действия) • исследований и развития • реализации работ по развитию • обеспечения отчетности • развития организационного потенциала • координации

в отношении водных ресурсов, – национальная структура управления водными ресурсами внутри страны и межгосударственная структура управления водными ресурсами в бассейне, охватывающем территории нескольких стран.

Не все элементы структуры управления водными ресурсами бывают обеспечены для внедрения интегрированного управления водными ресурсами на уровне бассейна. Обычно создание и развитие бассейновой организации представляет собой поэтапный процесс, когда действует то, что уже существует, и параллельно идет поиск усиления тех элементов структуры, которые помогут бассейновой организации функционировать более эффективно. Инициативы по созданию новых бассейновых организаций или реорганизация существующих необходимы после определения, насколько они позволяют (или нет) рационально использовать ресурсы – время и средства – и в случае необходимости мобилизовать политическую волю для учреждения новых структур или укрепления существующих.

Там, где структура для интегрированного управления водными ресурсами недостаточно эффективна, необходимо:

- провести инвентаризацию состояния водных ресурсов и экосистем;
- произвести оценку потребностей и приоритетных направлений для вмешательства;
- провести инвентаризацию участников секторов более широкой сферы развития, с которыми следует установить связи;
- найти способы обмена знаниями, данными и информацией;
- найти способы координации различных уровней и действующих лиц при принятии решений;
- стимулировать диалог заинтересованных сторон;
- создать механизмы вододеления;

- провести мероприятия по понижению уровня загрязнения и восстановлению экосистем;
- реализовать мероприятия по смягчению последствий засух и наводнений (климатическая изменчивость);
- разработать финансовые механизмы для управления водными ресурсами.

Бассейновые организации должны не только отвечать положениям национального законодательства, но также и межгосударственным или региональным соглашениям. Это касается также бассейнов, которые не простираются за пределы национальных границ. Бассейновые организации должны иметь доступ к экспертизе по международному праву, чтобы обеспечить соответствие их деятельности международным или региональным соглашениям и конвенциям, где они подписаны.

Существует множество соглашений по водным ресурсам, в которых участвуют несколько стран. Однако большинство соглашений либо ограничиваются определенной территорией, либо включают только несколько стран бассейна, находящегося под юрисдикцией соглашения. Использование юридического подхода возможно только в том случае, когда политическая ситуация располагает к этому.

Наиболее известной международной юридической структурой в области интегрированного управления водными ресурсами является Конвенция по защите и использованию трансграничных рек и озер. Эта конвенция создала структуру для сотрудничества 56 государств – членов Экономической комиссии ООН для Европы, с целью предотвращения и контроля загрязнения трансграничных водотоков.

Конвенция исходит из трех основных принципов:

- 1) принцип превентивности: деятельность, направленная на предотвращение сбросов опасных загрязняющих веществ, не должна откладываться, несмотря на отсутствие доказанных связей между этими веществами и трансграничными воздействиями;
- 2) принцип “загрязнитель платит”: затраты на мероприятия по предупреждению, контролю и снижению должен нести загрязнитель;
- 3) водные ресурсы должны управляться таким образом, чтобы потребности нынешнего поколения удовлетворялись без нанесения ущерба способности будущих поколений удовлетворять их потребности.

Конвенция требует от государств работы в направлении, которое обеспечивает, чтобы трансграничные воды:

- управлялись рационально без ущерба окружающей среде;
- обоснованно и справедливо использовались;
- обеспечивали охрану и восстановление экосистем.

Конвенция поощряет сотрудничество соседних стран в области гармонизации политики, программ и стратегий охраны трансграничных вод. Она фокусируется на качестве вод. Однако хотя качество воды является ключевым вопросом для государств – членов Экономической комиссии ООН Европы, оно не является основным приоритетом для развивающихся стран.

Другой важной международной юридической структурой является Конвенция ООН по несудоходному использованию пресных вод. Кон-

венция должна быть ратифицирована или утверждена тридцатью пятью государствами, но к настоящему времени этого не произошло. Несмотря на это, принципы данной конвенции широко применяются при разработке региональных или бассейновых соглашений по водным ресурсам и играют важную роль в развитии связей между соседними государствами бассейнов. Прежде чем вести переговоры по этим конвенциям, необходимо достичь прогресса по другим транснациональным соглашениям, а также установить хорошие политические и административные взаимоотношения. Во многих частях мира региональные политические или экономические организации, например, региональные комиссии ООН и такие органы, как Ассоциация Юго-Восточных Азиатских стран, Сообщество по развитию стран Южной Африки, Экономическое сообщество стран Западной Африки, являются наилучшим фундаментом для создания соответствующих политических структур, в рамках которых могут согласовываться региональные протоколы по использованию и охране водных ресурсов.

Европейский Союз (ЕС) издал многочисленные Директивы, связанные с проблемами водных ресурсов и окружающей среды, которые применяются во всех государствах – членах ЕС.

Наиболее известная из них – Рамочная водная Директива (РВД), хотя другие Директивы в равной степени важны. РВД ЕС фокусируется на речных бассейнах и требует, чтобы государства-члены разработали планы для всех бассейнов, которые установят цели для каждого бассейна и временные рамки их достижения. Директивы ЕС являются уникальными из-за особых политических условий и отношений в странах Европы. Тем не менее они обеспечивают примеры, которые могут быть полезными при подготовке соглашений в других регионах мира.

Литература к разделам 2.6 и 2.7

- GWP and INBO, 2007. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, Developing and managing river basins: Global Water Partnership and International Network of Basin Organizations. http://www.gwp.org/Global/About%20GWP/Publications/CA_Issue_Brief_12.pdf
- GWP TAC, 2000. Background Paper No. 4. Integrated Water Resources Management. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden. http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf
- GWP TEC, 2004. Catalyzing Change: a Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden. http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd13/documents/bgground_5.pdf
- GWP, 2009. Руководство по интегрированному управлению водными ресурсами в бассейнах. Глобальное Водное Партнерство (ГВП). http://www.gwp.org/PageFiles/76433/handbook_iwrm_rus.pdf

2.8. охрана водных ресурсов

*Вода! С тобой во всем существе разлива-
ется блаженство, которое не объяснить
только нашими пятью чувствами.*

*Ты возвращаешь нам силы и свойства, на
которых мы уже поставили было крест.
Твоим милосердием снова открываются ис-
сякшие родники сердца.*

Антуан де Сент-Экзюпери

Запасы пресной воды представляют собой единый ресурс. Рассчи- танное на длительную перспективу освоение мировых ресурсов прес- ной воды требует целостного подхода к использованию этих ресурсов и признания взаимозависимости между элементами, составляющими запасы пресной воды и определяющими ее качество. В мире существует мало регионов, не затронутых проблемами потери потенциальных ис- точников снабжения пресной водой, ухудшения качества воды и загряз- нения поверхностных и подземных источников. Основные проблемы, отрицательно влияющие на качество воды рек и озер, возникают в за- висимости от обстоятельств (с разной степенью остроты), в результате несоответствующей очистки бытовых сточных вод, слабого контроля за сбросом промышленных сточных вод, утраты и разрушения водосборных площадей, нерационального размещения промышленных предприятий, обезлесения, бесконтрольной системы земледелия и нерациональных методов ведения сельского хозяйства. Это приводит к вымыванию пита- тельных веществ и пестицидов. Нарушается естественный баланс водных экосистем и возникает угроза для живых пресноводных ресурсов. В раз- личных обстоятельствах на водные экосистемы влияют также проекты освоения водных ресурсов в целях развития сельского хозяйства, такие как плотины, схемы переброски речных стоков, водохозяйственные со- оружения и ирригационные проекты. Эрозия, заиление, обезлесение и опустынивание приводят к возрастанию деградации земель, а создание водохранилищ в некоторых случаях отрицательно сказывается на эко- системах. Многие из этих проблем возникают вследствие экологически разрушительных моделей развития и отсутствия понимания проблем общественностью и соответствующих знаний об охране ресурсов по- верхностных и подземных вод. Степень воздействия на окружающую среду и здоровье человека поддается измерению, хотя во многих странах методы осуществления такого контроля являются весьма неадекватными или вообще не разработаны. Широко распространено недопонимание взаимосвязей между освоением, управлением, рациональным использо- ванием и очисткой водных ресурсов и водными экосистемами. Там, где это возможно, исключительно важно осуществлять профилактические

меры, с тем чтобы избежать впоследствии дорогостоящих мероприятий по восстановлению, очистке и освоению новых водных ресурсов.

Комплексный и взаимосвязанный характер пресноводных систем требует целостного подхода к управлению ресурсами пресной воды (предполагающего хозяйственную деятельность в пределах водосборного бассейна) на основе сбалансированного учета потребностей населения и окружающей среды.

Для включения элементов регулирования качества водных ресурсов в водохозяйственную деятельность необходимо одновременно стремиться к достижению следующих трех целей:

а) сохранение целостности экосистемы благодаря ведению хозяйственной деятельности на основе принципа, предусматривающего охрану водных экосистем, включая живые ресурсы, и их эффективную защиту от любых видов деградации в пределах водосборного бассейна;

б) охрана здоровья населения, что предусматривает не только снабжение питьевой водой, не содержащей патогенных микроорганизмов, но и борьбу с переносчиками инфекции в водной среде;

в) развитие людских ресурсов, являющееся залогом формирования потенциала и необходимым условием для налаживания деятельности по регулированию качества воды.

Можно охарактеризовать следующие основные направления деятельности в сфере охраны водных ресурсов:

1. Защита и сохранение водных ресурсов:

1.1. создание и укрепление технических и институциональных возможностей в целях выявления и охраны потенциальных источников водоснабжения в рамках всех слоев общества;

1.2. определение потенциальных источников водоснабжения и подготовка национальных водных кадастров;

1.3. разработка национальных планов защиты и сохранения водных ресурсов;

1.4. восстановление важных, но подвергшихся деградации районов водосбора, особенно на небольших островах;

1.5. укрепление административных и законодательных мер в целях предотвращения посягательств на существующие и потенциально пригодные к использованию водосборные площади;

2. Предупреждение загрязнения воды и меры по борьбе с загрязнением:

2.1. применение там, где это необходимо, принципа “загрязнитель платит” ко всем видам источников загрязнения, включая санитарно-профилактические меры на промышленных объектах и за их пределами;

2.2. поощрение строительства очистных сооружений для бытовых и промышленных сточных вод, а также разработка соответствующих технологий с учетом традиционной местной практики;

2.3. установление норм в отношении сброса сточных вод и тех вод, в которые они сбрасываются;

2.4. применение мер предосторожности при регулировании качества воды там, где это необходимо, с упором на минимизацию и предотвращение загрязнения посредством использования новых технологий, изменения продукции и производственных процессов, сокращения загрязнения у источника и повторного использования сточных вод, рециркуляции и регенерации, очистки и экологически безопасного удаления сточных вод;

2.5. обязательная экологическая экспертиза всех крупных водохозяйственных проектов, способных нанести ущерб качеству воды и водным экосистемам, при одновременной разработке надлежащих мер по ликвидации такого ущерба и усилению контроля за новыми промышленными установками, местами сброса твердых отходов и проектами развития инфраструктуры;

2.6. принятие решений в данной области на основе оценки риска и регулирования степени риска и обеспечение выполнения принятых решений;

2.7. определение и применение наиболее рациональных с экологической точки зрения и относительно недорогих методов с целью предупредить распространение загрязнения, а именно: путем ограниченного, рационального и планомерного использования азотных удобрений и других агрохимикатов (пестицидов, гербицидов) в сельскохозяйственной практике;

2.8. поощрение и стимулирование использования должным образом обработанных и очищенных сточных вод в сельском хозяйстве, аквакультуре, промышленности и других секторах;

3. Разработка и применение экологически чистой технологии:

3.1. контроль за сбросом промышленных отходов, включая использование малоотходных производственных технологий и рециркуляцию воды, на комплексной основе и путем принятия мер предосторожности с учетом всестороннего анализа жизненного цикла;

3.2. очистка и безопасное повторное использование коммунально-бытовых сточных вод в сельском хозяйстве и аквакультуре;

3.3. разработка биотехнологии, в частности для обработки отходов, производства биоудобрений и т.д.;

3.4. разработка соответствующих методов борьбы с загрязнением вод с учетом обоснованной традиционной и местной практики;

4. Защита подземных вод:

4.1. разработка сельскохозяйственных методов, которые не приводят к деградации подземных вод;

4.2. применение необходимых мер в целях уменьшения последствий вторжения соленых вод в водоносные слои малых островов и прибрежных равнин в результате повышения уровня моря или чрезмерной эксплуатации прибрежных водоносных слоев;

4.3. предотвращение загрязнения водоносных слоев путем регулирования проникающих в почву токсичных веществ и создания водохранимых зон в районах подпитывания и забора подземных вод;

4.4. проектирование и эксплуатация мусорных свалок на основе надежной гидрогеологической информации и экологической экспертизы с использованием наиболее целесообразной и наилучшей имеющейся технологии;

4.5. содействие принятию мер по повышению безопасности и сохранности районов расположения скважин и их устьев в целях сокращения количества биологических патогенов и вредных химикатов, проникающих в водоносные горизонты в этих районах;

4.6. проведение, по мере необходимости, мониторинга качества поверхностных и подземных вод, на которые могут отрицательно влиять места захоронения токсичных и опасных материалов;

5. Защита водных экосистем:

5.1. оздоровление загрязненных и деградировавших водоемов с целью восстановления водной среды и экосистем;

5.2. программы восстановления для сельскохозяйственных земель и для других пользователей с учетом эквивалентных мер по защите и использованию ресурсов подземных вод, имеющих важное значение для продуктивности сельского хозяйства и биоразнообразия тропических районов;

5.3. сохранение и защита с учетом социально-экономических факторов водно-болотных угодий (по причине их экологической значимости для многих видов в качестве их местообитания);

5.4. борьба с вредными акватическими видами (чужеродные виды организмов, например, гидробионты, такие как рачки-бокоплавцы, бычок-кругляк), которые могут уничтожать некоторые другие обитающие в водной среде виды;

6. Защита живых ресурсов пресных вод:

6.1. контроль и мониторинг качества воды с целью обеспечения устойчивого развития рыболовства во внутренних водах;

6.2. защита экосистем от загрязнения и деградации с целью обеспечения развития проектов аквакультуры в пресных водах;

7. Контроль и наблюдение за водными ресурсами и водами, в которые сбрасываются отходы:

7.1. создание сетей мониторинга и постоянного контроля за водами, в которые поступают отходы, а также за точечными и рассеивающими источниками загрязнения;

7.2. поощрение и более широкое проведение экологических экспертиз географических информационных систем;

7.3. наблюдение за источниками загрязнения с целью обеспечения их большего соответствия нормам и положениям в этой области, а также для регулирования выдачи разрешений на сброс отходов;

7.4. контроль за использованием в сельском хозяйстве химических веществ, которые могут оказать вредное воздействие на окружающую среду;

7.5. рациональное землепользование с целью предупреждения деградации земель, эрозии и заиливания озер и других водоемов;

8. Разработка национальных и международных правовых документов, которые могут потребоваться для сохранения качества водных ресурсов в первую очередь для следующих целей:

8.1. мониторинг и контроль за загрязнением национальных и трансграничных вод и его последствиями;

8.2. контроль за переносом загрязнителей на большие расстояния через атмосферу;

8.3. контроль за случайными и/или произвольными сбросами в национальные и/или трансграничные водоемы;

8.4. проведение экологических экспертиз.

Для реализации указанных направлений каждая страна разрабатывает собственный комплекс мероприятий, закрепленных законодательно-нормативными актами.

Литература к разделу 2.8

UN, 1992. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию. http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml

2.9. технические аспекты и практическая реализация управления водными ресурсами

Мы познаем ценность воды лишь когда колодец пересыхает.

Б. Франклин

Функции управления водными ресурсами являются весьма сложными задачами и могут включать в себя множество мероприятий, проводимых различными заинтересованными сторонами. Представим следующие компоненты, в развитие и дополнение изложенного выше в разделах 2.7 и 2.8, системы управления водными ресурсами:

Распределение воды

Распределение воды между основными потребителями и нуждами, обеспечивающими минимальный уровень социального и экологического использования при соблюдении равенства и развития потребностей общества.

Планирование бассейнов реки

Подготовка и регулярное обновление планов бассейнов, с учетом мнений заинтересованных сторон по разработке и управлению бассейнами.

Участие заинтересованных сторон

Реализация участия заинтересованных сторон с учетом интересов общества и окружающей среды, в качестве основы для принятия решений по развитию и использованию водных ресурсов в бассейне.

Управление загрязнениями

Управление загрязнением с использованием принципа “загрязнитель платит” и соответствующих стимулов с целью решения наиболее важных проблем загрязнения окружающей среды и уменьшения негативного влияния на экологию и общество.

Контроль

Реализация эффективных систем контроля с целью обеспечения информационного управления, выявления и реагирования на нарушения законов, нормативных актов и разрешений.

Экономическое и финансовое управление

Применяя экономические и финансовые инструменты для инвестиций, возмещения затрат и изменения поведения, для поддержки целей справедливого и устойчивого доступа к пресной воде, можно не только использовать, но и достичь выгоды обществу от использования воды.

Управление информацией

Предоставление основных данных, оперативное информирование общественности и заинтересованных организаций о состоянии водных

ресурсов обязательны для принятия обоснованных и прозрачных решений, а также для развития и устойчивого управления водными ресурсами в бассейне.

Некоторые из вышеперечисленных компонентов в настоящее время могут эффективно регулироваться с помощью специализированного программного обеспечения. Вот несколько примеров: WEAP (www.weap21.org), MIKE (www.dhigroup.com), AQUATOR (<http://www.oxscisoft.com/aquator/>). Портал знаний ЕС о воде (<http://www.wise-rtd.info/en>) представляет обзор соответствующих программных средств для различных функций IWRM.

В этом разделе представляется программное обеспечение WEAP, которое находится в свободном доступе для пользователей из большинства стран.

WEAP (Оценка водных ресурсов и планирование) представляет собой компьютерную систему, ориентированную на широкий круг пользователей и использующую интегрированный подход к планированию водных ресурсов.

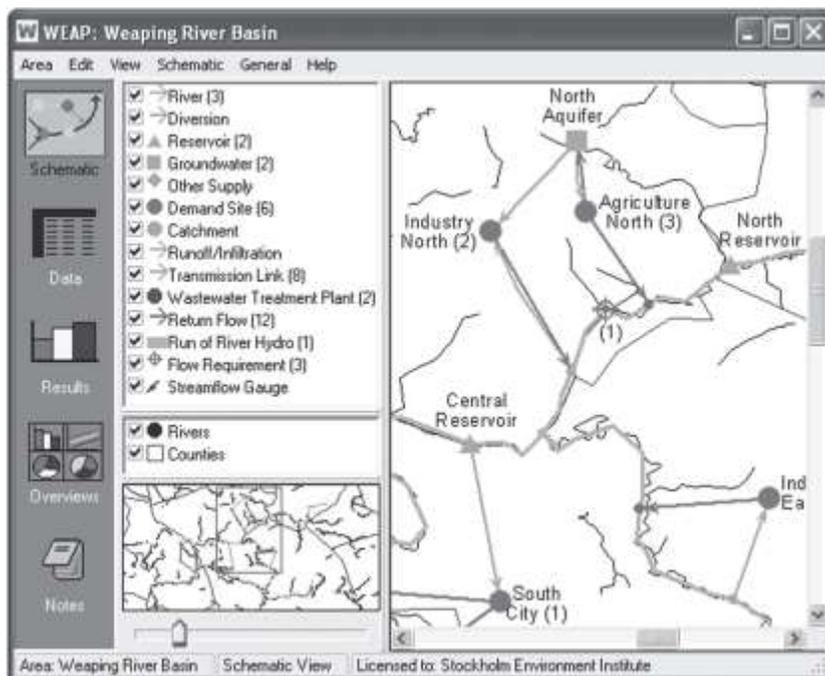
Управление водными ресурсами привлекает все большее внимание общественности. Распределение ограниченных водных ресурсов для сельскохозяйственного, коммунального пользования, наряду с требованиями стабильного и здорового состояния окружающей среды, сейчас остро ставит вопрос о всестороннем взаимном учете ресурсов, потребностей в воде, качества воды, ее экологических характеристик. Система расчета и планирования водных ресурсов, или WEAP, ставит своей задачей объединить вышеперечисленные аспекты в практичную, простую модель для интегрированного планирования водными ресурсами. WEAP разработан в Stockholm Environment Institute's U.S. Center.

Возможности системы WEAP

Интегрированный подход	Применяется уникальный подход для осуществления интегрированных мероприятий по управлению водными ресурсами
Привлечение заинтересованных лиц	Прозрачная, понятная структура программного обеспечения привлекает различных пользователей своей открытостью
Водный баланс	База данных обеспечивает водобалансовые расчеты, поддерживая баланс массы при расчете перемещения воды от источников к потребителям по связям-дугам в архитектуре речной сети
Имитационные возможности	Производятся вычисления: требований на воду, поступлений воды в речную сеть, движения воды, фильтрации воды, мелиоративных норм под конкретные культуры, расходования воды и ее накопления, образования загрязнений, очистки, изменения качества воды при различных гидрологических сценариях и политики в управлении водой
Разносторонность сценариев	Учитывается полный спектр возможностей в управлении водой, берется в расчет многоцелевое использование воды
Дружественный интерфейс	Графический интерфейс с опцией "drag-and-drop", имитирующий ГИС, позволяет легко создавать модели, изменять модели и входные данные, получать результаты в виде карт, графиков и таблиц
Модель интеграции	Перечень моделей и других программных продуктов, таких как QUAL2K, MODFLOW, MODPATH, PEST, Excel и GAMS

Рисунок 2.18.

Возможности системы WEAP



WEAP-апликация в основном включает несколько шагов:

- Предварительные определения: промежуток времени, пространственные границы, компоненты системы, конфигурация поставленной проблемы.
- Текущие расчеты: обзор реальных требований на воду, сброс загрязнений, ресурсы и источники для исследуемой системы. Все это может быть рассмотрено как калибровочные установки к построению приложения, имитирующего поведение расчетного объекта.
- Сценарии: установка нескольких альтернативных вариантов будущей политики управления, цен и климата. Для примера, она может затрагивать: условия водного фактора, водоснабжение, гидрологию и загрязнение. (Возможности сценариев представлены.)
- Расчеты: сценарии могут быть заданы с учетом водной достаточности, цен и дохода. Они могут быть соотнесены: с требованиями окружающей среды, чувствительности к неопределенности во входных данных.

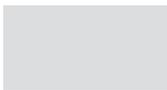
Примеры анализа сценариев с помощью WEAP

Анализ сценариев является главной особенностью WEAP. Сценарии используются для изучения модели с огромным диапазоном “что, если”, например:

- Что, если произойдет рост населения и изменятся экономические характеристики?
- Что, если изменятся правила регулирования стока водохранилищами?

- Что, если подземные воды будут использоваться в большем объеме?
- Что, если будут применены водосберегающие технологии?
- Что, если требования по охране окружающей среды ужесточатся?
- Что, если будут использованы методы воздействия, предотвращающие поступление поверхностных вод в подземные водные горизонты?
- Что, если будут внедрены программы многократного использования воды?
- Что, если будут применены более эффективные технологии в ирригации?
- Что, если будет проведена смена сельскохозяйственных культур?
- Что, если климатические изменения воздействуют на приточность и потребление воды?
- Как загрязнение в верхней части реки воздействует на качество воды вниз по течению?
- Как изменения в землепользовании будут воздействовать на речной сток?

Литература к разделу 2.9

 WEAP, 2014. Возможности системы WEAP. <http://www.weap21.org/>

Приложение к главе 2

Практические задания и примеры их решения

Вода, потребляемая в умеренном количестве, никому повредить не может.

Марк Твен

П.1. оценка Риска здоРоВью чеЛоВека, сВязанноГо с ПотРеблением Питьевой Воды

Общие положения оценки риска, связанного с воздействием загрязняющих веществ различной природы, изложены в п. 2.2.3.1 учебника. Следует отметить, что соблюдение действующих гигиенических нормативов не является основанием для исключения вещества из перечня загрязнителей, для которых нужно оценивать опасность для человека, так как ряд гигиенических нормативов, установленных для воды, нуждается в корректировке из-за высоких значений потенциального канцерогенного риска на уровне ПДК. Значительное число нормативов для воды установлено по органолептическому или общесанитарному показателям вредности и не отражает прямые токсические эффекты на здоровье, используемые при оценке риска.

При оценке риска анализируются все возможные пути поступления загрязняющего вещества. Для питьевой воды это перорально, ингаляция (поступление химических веществ, испаряющихся из питьевой воды), накожно (купание, душ).

Определение величин популяционных канцерогенных рисков (R_k), отражающих дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, проводится по формуле

$$R_k = R_i \times P, \quad (\text{П.2.1})$$

где R_i – индивидуальный канцерогенный риск; P – численность исследуемой популяции, чел.

Рассмотрим пример определения канцерогенного риска, связанного с потреблением питьевой воды для одного маршрута поступления (перорально).

Вначале определяется среднесуточная доза или поступление (I , мг/кг сут) канцерогенного вещества по формуле

$$I = (C \square CR \square ED \square EF) / (BW \square AT \square 365), \quad (\text{П.2.2})$$

где C – концентрация вещества в питьевой воде (как правило, это концентрация за длительный период осреднения (не менее года), мг/дм³; CR – объем (количество) носителя загрязняющего вещества, поступающего в организм (контактирующего) человека в течение суток (для питьевой воды можно принять 2 дм³/сут); ED – продолжительность воз-

действия, лет; EF – частота воздействия, сут/год; BW – масса тела человека (в среднем 70 кг); AT – период осреднения экспозиции, лет (для канцерогенных и потенциально канцерогенных веществ пожизненно – принимается 70 лет); 365 – число дней в году.

Затем рассчитывается индивидуальный канцерогенный риск в течение всей жизни (R_i):

$$R_i = I \square SF, \quad (\text{П.2.3})$$

где SF – фактор канцерогенного потенциала вещества, кг \square сут/мг.

Суммарный индивидуальный риск определяется для всех возможных путей поступления и для всех известных канцерогенных (потенциально канцерогенных) веществ, содержащихся в среде, контактирующей с человеком. Затем по формуле рассчитывается суммарная величина риска для всех канцерогенных веществ, присутствующих в окружающей среде:

$$R_s = \sum R_1^i + \sum R_2^i + \dots + \sum R_j^i + \sum R_m^n, \quad (\text{П.2.4})$$

где $i=1, \dots, n$ – пути поступления канцерогенов в организм человека; $j=1, \dots, m$ – канцерогенные вещества.

Затем необходимо сравнить полученное значение с уровнем приемлемого риска. Как правило, значения индивидуального допустимого (предельно допустимого) риска находятся в пределах 10^{-4} – 10^{-6} . При решении задачи принять приемлемый уровень риска равным 10^{-5} .

Пример 1

Рассчитать индивидуальный и популяционный канцерогенные риски, обусловленные потреблением питьевой воды, которую получают путем очистки и обеззараживания воды, забираемой из поверхностного водного объекта. Население города, потребляющее воду из водопровода, составляет 10 тыс. жителей. Содержание хлороформа в воде находится на уровне 1,5 ПДК (ПДК составляет 0,2 мг/дм³). Продолжительность воздействия (потребления питьевой воды такого качества) – 5 лет. Средняя частота воздействия (потребления) – 300 дней в году. Фактор канцерогенного потенциала для хлороформа с водой равен 0,031 [мг/(кг \square сут)]⁻¹.

$$C=0,3 \text{ мг/дм}^3; CR=2 \text{ дм}^3/\text{сут}; ED=300 \text{ сут/год}; SF=0,031 \text{ [мг/(кг} \square \text{сут)]}^{-1}; \\ EF=5 \text{ лет}; P=10^4 \text{ чел}; BW=70 \text{ кг}; AT=70 \text{ лет}.$$

Решение

Среднесуточное поступление хлороформа с питьевой водой на 1 кг массы тела человека:

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} = \frac{0,3 \text{ (мг/дм}^3) \cdot 2 \text{ (дм}^3/\text{сут}) \cdot 300 \text{ (сут/год)} \cdot 5 \text{ (лет)}}{70 \text{ (кг)} \cdot 70 \text{ (лет)} \cdot 365 \text{ (сут)}} = \\ = \frac{900 \text{ (мг)}}{1788500 \text{ (кг} \cdot \text{сут)}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг / (кг} \cdot \text{сут)}.$$

Индивидуальный канцерогенный риск составит

$$R_i = I \square SF = 5 \square 10^{-4} \text{ (мг/(кг} \square \text{сут))} \times 3,1 \square 10^{-2} \text{ [мг/(кг} \square \text{сут)]}^{-1} = 1,55 \square 10^{-5}.$$

Это значение ниже уровня допустимого риска, который считается равным $1 \cdot 10^{-4}$.

Популяционный канцерогенный риск R_k для условий данной задачи составит

$$R_k = R_i \times P = 1,55 \cdot 10^{-5} \times 10^4 \text{ чел} = 0,155.$$

Таким образом, в рассматриваемом случае можно ожидать, что в течение 6,5 года ($1/0,155$) с высокой вероятностью будет иметь место один дополнительный случай появления онкологического заболевания, связанного с потреблением питьевой воды, содержащей хлороформ.

Задача 1. На основе данных, приведенных в табл. П.1 и П.2, рассчитать индивидуальный и популяционный канцерогенный риск, связанный с питьевой водой, по нескольким химическим соединениям (в табл. П.1 представлены среднегодовые концентрации загрязняющих веществ). При расчете среднесуточной дозы принять, что канцерогенные вещества поступают в организм человека в течение ED лет, продолжительность воздействия (частота) составляет EF, сут/год. Среднюю продолжительность жизни человека принять равной 70 лет. Средний вес взрослого человека принять 70 кг. Провести сопоставление полученного значения с допустимым (предельно допустимым) риском.

таблица П.1. Варианты исходных данных к задаче 1

Вариант	ED, год	EF, год	P,	Питьевая вода			
				вещество 1	C, мг/дм ³	вещество 2	C, мг/дм ³
1	5	300	10	Акриламид	0,01	Бензол	0,2
2	10	280	12	Бенз(а)пирен	0,0002	Гидразин	0,0005
3	12	190	14	Винил хлористый	0,05	Мышьяк	0,01
4	4	300	16	Гидразин	0,0001	Свинец	0,03
5	6	300	15	Гидразин	0,008	Мышьяк	0,05
6	7	280	13	Пентахлорфенол	0,01	Кадмий	0,0035
7	8	270	11	Свинец	0,1	Мышьяк	0,0012
8	11	250	9	Тетрахлорэтилен	0,02	Свинец	0,07
9	5	300	17	Трихлорэтилен	0,06	Акриламид	0,0015
10	3	310	23	Хлороформ	0,1	Бензол	0,1
11	6	305	22	Анилин	0,03	Кадмий	0,0004
12	8	295	21	Бензол	0,1	Мышьяк	0,015
13	9	280	20	Метилен хлористый	0,015	Акриламид	0,025
14	12	270	19	Кадмий	0,002	Бензол	0,05
15	11	250	18	Мышьяк	0,004	Кадмий	0,0055
16	4	240	17	Анилин	0,0005	Мышьяк	0,0001
17	6	290	14	Кадмий	0,003	Свинец	0,04
18	7	310	28	Тетрахлорэтилен	0,015	Акриламид	0,035
19	113	305	27	Трихлорэтилен	0,0002	Бензол	0,0008

таблица П.2. Фактор канцерогенного потенциала, кг·сут/мг

Наименование вещества	При пероральном поступлении
Акриламид	4,5
Акрилонитрил	1
Анилин	0,0057
Бенз(а)пирен	12
Бензол	0,1
Винил хлористый	0,27
Гидразин	3
Кадмий	0,38
Метилен хлористый	0,014
Мышьяк	1,5
Пентахлорфенол	0,081
Пропилена оксид	0,24
Свинец и его соединения	0,0085
Тетрахлорэтилен	0,54
Трихлорэтилен	0,013
Хлороформ	0,031

П.2. ЭкВиВалентное население

При характеристике производственных сточных вод, близких по составу к хозяйственно-бытовым стокам, и коммунальных сточных вод используется показатель эквивалентного (приведенного) населения (*population equivalent*, эквивалент населения –ЭН), который, как правило, рассчитывается по БПК₅, но может быть рассчитан и по таким важным показателям, как ХПК (химическое потребление кислорода), содержание взвешенных веществ, фосфора общего, азота общего, ПАВ. Расчет эквивалентного населения ЭН, чел., производится по формуле

$$\text{ЭН} = (q_{\text{ст}} C) / N, \quad (\text{П.2.5})$$

где $q_{\text{ст}}$ – расход сточных вод, м³/сут; C – концентрация загрязняющих веществ в сточной воде, г/м³; N – количество загрязняющих веществ на одного человека, г/сут.

В соответствии с [1–3], количество загрязняющих веществ на одного человека составляет, г/сут: взвешенные вещества – 65; БПК₅ – 60; ХПК неосветленной жидкости – 120; азот общий – 9,9; фосфор общий – 1,8; поверхностно-активные вещества (ПАВ) – 2,5.

Требования к сточным водам, отводимым в водный объект, в соответствии с [1] устанавливаются в зависимости от показателя “эквивалент населения” по БПК₅, поэтому он всегда рассчитывается для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации, а также используется при проектировании очистных сооружений.

Пример 2

Рассчитать показатель “эквивалент населения” для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации от города с насе-

лением W (12 000 человек), которое пользуется услугами канализации. В сети канализации после локальной очистки сбрасывает сточные воды молочный завод с расходом (Q) равным $1500 \text{ м}^3/\text{сут}$, БПК₅ сточных вод ($C_{\text{БПК}_5}$) равно $500 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$.

Решение:

Показатель “эквивалент населения” для сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определим как сумму двух величин: числа жителей города, пользующихся канализацией, и “эквивалента населения”, рассчитанного для предприятия:

$$\begin{aligned} \text{ЭН} &= W + Q C_{\text{БПК}_5} / N_{\text{БПК}} = 12000 + 1500 \cdot 500 / 60 = \\ &= 12000 + 12500 = 24500 \text{ чел.} \end{aligned}$$

Задача 2. Рассчитать показатель “эквивалент населения” для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации от города с населением W человек, которое пользуется услугами канализации. В сети канализации после локальной очистки сбрасывает сточные воды с расходом Q , $\text{м}^3/\text{сут}$, и содержанием загрязняющих веществ, приведенным в табл. П.3. Помимо БПК₅ расчет показателя “эквивалент населения” произвести по остальным показателям, характеризующим состав сточных вод.

таблица П.3. Варианты задачи 2

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Население города W , тыс. жителей	22,2	9,4	11,6	22,8	91,0	42,0	13,0	14,0	5,0	10,0
Расход сточных вод, Q , $\text{м}^3/\text{сут}$	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	10000
Содержание, $\text{г}/\text{м}^3$:										
взвешенные вещества	500	150	250	900	200	300	350	400	700	450
БПК ₅	600	200	300	950	250	350	400	510	850	550
азот общий	85	35	70	55	60	80	75	105	95	90
фосфор общий	25	12	15	40	30	45	50	35	55	35
ХПК	1250	540	650	1200	700	700	950	900	1750	1100
ПАВ	10	15	12	20	18	25	30	24	40	17

Литература к пункту 2 приложения

- ЕС, 1991. Директива 91/271/ЕЕС от 21 мая 1991 года по очистке городских сточных вод (Council Directive 91/271/ЕЕС of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0271:EN:NOT>
- Минстройархитектуры Белоруссии, 2011. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования, ТКП 45-4.01-202-2010 (02250). Минск, 2011. 99 с. <http://www.yarstoki.ru/upload/docs/2.04.03-85.pdf>
- Минздрав РФ, 1985. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85. М.: Стройиздат. <http://www.yarstoki.ru/upload/docs/2.04.03-85.pdf>

П.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ

Директивой 91/271/ЕЕС требования к коммунальным сточным водам, отводимым в водный объект, устанавливаются по показателям БПК₅, ХПК, взвешенным веществам. По этим показателям устанавливается минимальная степень очистки, которая должна быть достигнута на очистных сооружениях (см. главу 2.4, табл. 2.13).

При отведении сточных вод в водные объекты или участки водных объектов, склонные к эвтрофикации, Директивой 91/271/ЕЕС устанавливаются дополнительные требования по содержанию соединений фосфора и азота (см. главу 2.4, табл. 2.13).

Эти требования являются основой для выбора технологии очистки и состава очистных сооружений, который производится исходя из расхода сточных вод и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистку.

Для определения концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку, необходимо располагать информацией о расходе и составе сточных вод всеми пользователями (абонентами) канализации.

Требуемая степень очистки определяется, исходя из концентрации загрязняющего вещества на входе очистных сооружений и требований, предъявляемых к очищенным сточным водам (например, Директивой 91/271/ЕЕС).

Концентрация загрязняющего вещества i в сточных водах, поступающих на очистку, определяется по приведенному в главе 2 соотношению

$$C_i = (Q_1 C_{i1} + Q_2 C_{i2} + \dots + Q_n C_{in} + W \cdot N_i) / (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n + W \cdot V), \quad (\text{П.2.6})$$

где $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ – расход производственных сточных вод, сбрасываемых в сети канализации предприятиями 1, 2, ..., n , м³/сут; $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в сточной воде предприятия 1, 2, ..., n , г/м³; N_i – количество i -го загрязняющего вещества, сбрасываемого в канализацию на одного человека, г/сут; V – потребление воды на одного человека, м³/сут; W – население города, человек.

Требуемая степень очистки (Ξ , %) по i -му загрязняющему веществу определяется по соотношению

$$\Xi = 100 (C_i - C_{d_i}) / C_i, \quad (\text{П.2.7})$$

где C_{d_i} – требования, установленные для сточных вод по i -му загрязняющему веществу Директивой 91/271/ЕЕС.

Учитывая, что Директивой 91/271/ЕЕС устанавливаются дополнительные требования по минимальной степени очистки, полученный в расчетах результат должен быть проверен на соответствие этим требованиям.

Пример 3

Определить требуемую степень очистки по БПК₅ для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации от города с населением W (12 000 человек), которое пользуется услугами канализации. Потребление воды на одного человека составляет 0,25 м³/сут. В сети канализации после локальной очистки сбрасывает сточные воды молоч-

ный завод с расходом (Q), равным $1500 \text{ м}^3/\text{сут}$, БПК₅ сточных вод ($C_{\text{БПК}}$) равно $500 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$.

Решение:

Определим БПК₅ для сточных вод, поступающих на очистные сооружения, по формуле

$$C_{\text{БПК}} = (Q C_{\text{БПК}} + W N_{\text{БПК}}) / (Q + W N) = \\ = (1500 \cdot 500 + 12000 \cdot 60) / (1500 + 12000 \cdot 0,2) = 376,9 \text{ г/м}^3.$$

Для определения требований по БПК₅, установленных Директивой 91/271/ЕЕС, необходимо рассчитать показатель “эквивалент населения”. Используя результаты расчета по примеру 2 с аналогичными примеру 3 исходными данными, согласно которым “эквивалент населения” составляет 24 500 человек, определяем требования к сточным водам (для определения требований по БПК₅ такой расчет не требуется).

Согласно требованиям Директивы 91/271/ЕЕС, показатель БПК₅ для очищенных сточных вод (C_{di}) должен составлять не более $25 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ (г/м^3).

Тогда требуемая степень очистки по показателю БПК₅ составит

$$\Theta = 100(C_i - C_{di}) / C_i = 100(376,9 - 25) / 376,9 = 93,4\%.$$

Задача 3. Определить требуемую степень очистки по БПК₅ ХПК, взвешенным веществам, азоту общему и фосфору общему для сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации от города с населением W человек, которое пользуется услугами канализации. По-

таблица П.4. Варианты задачи 3

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Население города W , тыс. жителей	22,2	9,4	11,6	22,8	91,0	42,0	13,0	14,0	5,0	10,0
Потребление воды на человека V , $\text{м}^3/\text{сут}$	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
Водоприемник	Водные объекты, склонные к эвтрофикации									
Расход сточных вод, Q_1 , $\text{м}^3/\text{сут}$	450	420	800	600	850	900	670	400	500	1000
Содержание, г/м^3 :										
взвешенные вещества	330	250	150	190	200	230	350	340	270	245
БПК ₅	400	300	350	450	550	650	410	310	590	650
азот общий	65	65	80	50	40	70	65	85		
фосфор общий	15	10	15	20	20	35	40	25		
ХПК	850	640	650	1200	800	700	950	700	950	1100
Расход сточных вод, Q_1 , $\text{м}^3/\text{сут}$	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	10000
Содержание, г/м^3 :										
взвешенные вещества	500	150	250	900	200	300	350	400	700	450
БПК ₅	600	200	300	950	250	350	400	510	850	550
азот общий	85	35	70	55	60	80	75	105		
фосфор общий	25	12	15	40	30	45	50	35		
ХПК	1250	540	650	1200	700	700	950	900	1750	1100

требление воды на одного человека составляет V м³/сут. В сети канализации после локальной очистки сбрасывают сточные воды молочный завод с расходом Q_1 , м³/сут, и пивоваренный завод с расходом Q_2 , м³/сут. Содержание загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах приведено в табл. П.4

П.4. нОРматиВы доПУстимых сбРосов

Для объектов, проектирующих самостоятельные выпуски сточных вод в водные объекты, устанавливаются нормативы допустимых сбросов (НДС). В городах это чаще всего городские очистные сооружения, которые являются подразделениями местных “Водоканалов” или управлений жилищно-коммунального хозяйства (водопроводно-канализационное хозяйство – ВКХ).

Подходы к обоснованию НДС в странах СНГ близки, но и имеют определенные отличия. Поэтому ниже рассмотрен вариант обоснования НДС для отдельного выпуска в водоток (реку), который практически не отличается для стран СНГ.

НДС – максимально допустимая масса загрязняющих веществ в составе отводимых вод в водный объект и допустимая концентрация загрязняющих веществ при установленном режиме водоотведения, при сбросе которой обеспечиваются нормативы качества воды водного объекта в контрольном створе. Контрольный створ – это условное поперечное сечение водного объекта, в котором производят комплекс работ с целью получения данных о показателях качества и концентрациях веществ в воде водного объекта.

Допустимые концентрации и допустимые сбросы устанавливаются для каждого проектируемого и действующего выпусков сточных вод с целью обеспечения нормативов качества воды рыбохозяйственных водных объектов в контрольном створе.

При сбросе загрязняющих веществ в составе сточных вод в водотоки контрольный створ устанавливается на расстоянии не далее 500 м ниже по течению от места выпуска сточных вод. Качество воды водоемов должно обеспечиваться в одном километре от места выпуска сточных вод в водоем. Сброс сточных вод в водоемы с меньшим размером не допускается.

В случае сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в озера нормативы допустимых сбросов устанавливаются исходя из применения к отводимым сточным водам фоновых показателей качества и концентраций веществ в воде озера, сформировавшихся под воздействием природных факторов и установленных на основании данных мониторинга поверхностных вод или, при его отсутствии, по данным научных исследований.

В случае сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в водохранилище или пруд, созданный путем перегораживания плотиной водотоков, нормативы допустимых сбросов устанавливаются исходя из применения к сточным водам нормативов качества воды водотока, в русле которого создано водохранилище или пруд.

Загрязняющие вещества в сточных водах подразделяются на *нормируемые* и *контролируемые*. По нормируемым загрязняющим веществам устанавливаются нормативы допустимых сбросов и (или) временные нормативы допустимых сбросов, по контролируемым веществам производится контроль их содержания при отведении сточных вод в водные объекты.

Обязательный к нормированию перечень загрязняющих веществ в составе сточных вод, отводимых в водные объекты, приведен в нормативных документах (в Беларуси, например, это ТКП 17.06-08-2012 с приложением В).

Загрязняющие вещества, концентрации которых в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, и в очищенных сточных водах на выпуске в водный объект, не превышают нормативы качества воды водного объекта, являющегося приемником сточных вод, включаются в перечень контролируемых веществ. Контроль содержания таких веществ осуществляется путем сравнения их концентраций в сточной воде на входе и выходе очистных сооружений с ПДК загрязняющих веществ в воде водоприемника сточных вод.

Если концентрация загрязняющего вещества в сточной воде в течение двух лет проводимых лабораторных исследований не превышает установленный норматив качества воды водоприемника, то такое вещество (показатель) исключается из состава нормируемых.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод устанавливаются для каждого нормируемого загрязняющего вещества с учетом типа сточных вод, нормативов качества воды водного объекта, фоновой концентрации нормируемых загрязняющих веществ в воде водного объекта, ассимилирующей способности водного объекта.

Для коммунальных сточных вод допустимые концентрации устанавливаются в порядке, который рассмотрен в примере 3:

- по показателям БПК₅, ХПК, взвешенным веществам, азоту общему, фосфору общему – исходя из допустимых концентраций загрязняющих веществ;
- по остальным веществам, обязательным к нормированию, проводятся расчеты.

Для производственных сточных вод допустимые концентрации и нормативы допустимых сбросов устанавливаются по отраслям производства для веществ, обязательных к нормированию.

Величина НДС i -го загрязняющего вещества в составе отводимых вод в водный объект (за исключением поверхностного стока) определяется по приведенной в главе 2 формуле

$$ДС_i = q \cdot C_{ДС_i} \quad (\text{П.2.8})$$

где $ДС_i$ – НДС i -го вещества, г/ч; q – максимальный часовой расход сточных вод, м³/ч; $C_{ДС_i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сбрасываемых сточных водах, мг/дм³.

Допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах без учета неконсервативности $C_{ДС_i}$, мг/м³, рассчитывается по формуле

$$C_{дс_i} = [n (C_{пдк_i} - C_{ф_i})] + C_{ф_i}, \quad (\text{П.2.9})$$

где n – кратность разбавления отводимых вод в водотоке, служащем приемником сточных вод; $C_{пдк_i}$ – норматив ПДК i -го вещества в воде рыбохозяйственного водного объекта, мг/дм³; $C_{ф_i}$ – фоновая концентрация i -го вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм³.

Кратность разбавления сточных вод в воде водотока для соотношения расходов воды в водотоке и отводимых сточных вод $Q/q=10-400$ определяется по формуле

$$n = (q + k_{см} Q) / q, \quad (\text{П.2.10})$$

где q – расход отводимых сточных вод, м³/с; $k_{см}$ – коэффициент смешения сточных вод с водой водотока; Q – расход воды в водотоке, м³/с.

Коэффициент смешения показывает, какая часть речного расхода водотока смешивается с отводимыми водами и зависит от гидравлических условий в водотоке, расстояния от выпуска отводимых вод до контрольного створа, расходов отводимых вод и водотока. При этом в случае, если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод более 400, кратность разбавления определяется при расходе воды в водотоке $Q=q \square 400$; а в случае, если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод менее 10, расчет коэффициента кратности разбавления не производится и НДС устанавливаются исходя из значений ПДК.

Коэффициент смешения $k_{см}$, показывающий, какая часть расхода воды водотока участвует в смешении со сточными водами в максимально загрязненной струе контрольного створа, рассчитывается по формуле

$$k_{см} = (1 - e^{-k_{гy} \cdot 3l}) / \left(1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-k_{гy} \cdot 3l}\right), \quad (\text{П.2.11})$$

где $k_{гy}$ – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке; l – расстояние от выпуска отводимых сточных вод до контрольного створа по фарватеру водотока, м.

Коэффициент $k_{гy}$, учитывающий гидравлические условия в водотоке, рассчитывается по формуле

$$k_{гy} = k_{изв} \cdot k_{вып} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (\text{П.2.12})$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости, определяемый как отношение расстояния от места выпуска сточных вод в водоток до контрольного створа по фарватеру водотока к расстоянию по прямой; $k_{вып}$ – коэффициент, зависящий от типа выпуска сточных вод (при выпуске у берега $k_{вып}=1$, при выпуске в стрежень реки $k_{вып}=1,5$); D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с.

Коэффициент турбулентной диффузии D , м²/с, рассчитывается по формуле

$$D = (V_{ср} H_{ср}) / 200, \quad (\text{П.2.13})$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, м/с; $H_{ср}$ – средняя глубина реки, м.

Допустимые концентрации $C_{ДС_i}$, мг/дм³, загрязняющих веществ, которые нормируются по допустимому приращению к фоновой концентрации (например, взвешенные вещества), рассчитываются по формуле

$$C_{ДС_i} \leq C_{доп_i} \cdot (1 + k_{см} Q / q) + C_{Ф_i}, \quad (\text{П.2.14})$$

где $C_{доп_i}$ – допустимое увеличение содержания i -го загрязняющего вещества в воде водотока после сброса i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, мг/дм³; $C_{Ф_i}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм³.

Задача 4. Определить НДС (г/час) и требуемую степень очистки сточных вод, сбрасываемых в реку. Расход воды в реке Q , м³/с, средняя скорость течения $V_{ср}$, м/с, средняя глубина реки $H_{ср}$, м. Расстояние от места выпуска до створа по фарватеру l , км, по прямой $l_{прям}$, км. Расход сточной воды q , м³/с. Исходные данные для решения задачи и характеристика загрязняющих веществ представлены в табл. П.5, П.6 (по вариантам). Выпуск сточных вод осуществляется в стрелень реки.

таблица П.5. Исходные данные

Характеристика	Варианты исходных данных									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /с	50	40	60	35	45	55	70	65	61	49
$V_{ср}$, м/с	0,15	1,15	0,2	0,25	0,30	0,28	0,18	0,23	0,22	0,17
$H_{ср}$, м	0,9	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,35	1,28	1,6
l , км	5,0	5,2	5,5	5,9	6,1	6,5	7,0	6,9	6,4	5,7
$l_{прям}$, км	4,0	4,1	4,2	4,0	5,1	5,1	5,5	5,0	4,9	3,9
q , м ³ /с	1,2	1,1	1,05	0,8	0,85	0,95	1,3	1,0	0,95	0,85

таблица П.6. Характеристика загрязняющих веществ

Вещество	Варианты исходных данных										ПДК, мг/дм ³	Фоновая конц., мг/дм ³
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Концентрация вещества, мг/дм ³												
Аммиак	4,0	–	–	–	3,1	–	–	3,8	5,5	–	2	0,15
Ацетон	2,0	–	15,0	–	1,6	0,8	–	0,8	1,3	1,7	2,2	0
Бензол	–	–	2,0	10,0	–	–	11,7	–	3,0	–	0,5	0,1
Капролактан	2,0	2,0	–	–	2,0	1,5	–	1,5	3,9	5,0	1	0
Кобальт	2,5	2,5	–	3,8	3,8	3,2	–	2,8	–	–	0,1	0,05
Ксилол	–	5,0	0,5	5,0	–	–	0,5	–	3,0	0,6	0,05	0,01
Медь	2,0	0,2	–	1,3	1,3	1,4	–	–	–	3,5	1	0,02
Молибден	–	–	0,5	1,5	24,0	–	0,5	–	–	18,0	0,25	0,03
Мышьяк	–	–	0,1	0,2	–	–	0,1	5,7	–	–	0,05	0,01
Никель	0,2	0,8	–	–	–	0,1	5,4	5,1	7,0	–	0,1	0,012
Хлорофос	–	0,2	2,5	–	–	7,2	0,7	–	–	0,4	0,05	0,0008

Вопросы к главе 2

Вопросы к разделу 2.1

1. Что собой представляет водное хозяйство как национальная отрасль?
2. Обоснуйте основные задачи деятельности в сфере водного хозяйства.
3. Назовите основных водопотребителей и водопользователей.
4. Что является основной целью функционирования водного хозяйства?
5. Представьте понятие “Водохозяйственный комплекс” и требования к нему.
6. Охарактеризуйте уровни водохозяйственных комплексов.
7. В чем различие между региональной и бассейновой водохозяйственными системами?
8. Что такое водохозяйственные балансы?

Вопросы к разделу 2.2

1. Влияние водных ресурсов на уровень развития экономики стран и изменения климата на Земле.
2. На чем базируется управление водными ресурсами?
3. Интегрированное управление водными ресурсами.
4. Инструменты Интегрированного управления водными ресурсами для реализации водной политики страны.
5. Водная политика стран Европейского Союза.
6. Водное законодательство. На чем оно базируется?
7. Предупредительные и корректирующие меры водного права в области водопользования, водопотребления и охраны водных ресурсов.
8. Важнейшие вопросы правового регулирования в области водопотребления и водоотведения.
9. Европейское водное право: периоды его развития.
10. Основные Директивы, касающиеся воды, в ЕС.
11. Закон (Акт) о чистой воде в США.
12. Учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в странах Содружества Независимых Государств (СНГ).
13. Мониторинг природных вод согласно Водной рамочной Директивы ЕС. Информация, необходимая для полноценного мониторинга.
14. Виды мониторинга Водной рамочной Директивы ЕС.
15. Принципиальные положения норвежской системы мониторинга природных вод.
16. Основные положения системы мониторинга природных вод в странах СНГ.
17. Мониторинг качества природных вод для купания (рекреации).

18. Правовое регулирование охраны и использования водных ресурсов.
19. Понятие о мониторинге и контроле водопотребления и водоотведения.
20. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в мире.
21. Экологический учет и контроль за водопотреблением и водоотведением в Норвегии.
22. Контроль сброса сточных вод в поверхностные объекты в странах СНГ.
23. Виды нормативов, регулирующих деятельность в области водопотребления, водоотведения и охраны водных ресурсов.
24. Объекты, подходы и недостатки гигиенического нормирования природных вод.
25. Стандартизация качества питьевой воды.
26. Критерии безопасности, которым должна отвечать питьевая вода.
27. Нормативы качества питьевой воды в различных странах.
28. Требования к качеству питьевой воды в ЕС.
29. Требования к качеству питьевой воды в США.
30. Требования к качеству питьевой воды в странах СНГ.
31. Классы экологического состояния поверхностных водных объектов.
32. Какие показатели используются для характеристики состояния водных объектов?
33. Индексы, характеризующие степень загрязненности воды в странах СНГ.

Вопросы к разделу 2.3

1. Какие основные инструменты используются для регулирования сбросов загрязняющих веществ через организованные выпуски?
2. Каким документом регламентируется в странах ЕС очистка и сброс очищенных коммунальных сточных вод в водные объекты?
3. Какие основные загрязняющие вещества включает список 1, для которых устанавливаются предельные величины сбросов в водные объекты в странах ЕС?
4. Какие вещества, оказывающие вредное воздействие на воду и имеющие локальный характер при сбрасывании их в водные объекты, включает список 2?
5. Какие нормативы установлены для всех выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты в странах СНГ?
6. Какой основной показатель используется для расчета НДС в странах СНГ и что на него влияет?
7. Рассчитайте НДС при наибольшем среднечасовом расходе 1200 м^3 загрязненной воды, содержащей $5,6 \text{ мг/дм}^3$ ионов никеля.
8. Что должны обеспечивать требования к степени очистки сточных вод?
9. Что такое диффузные (рассредоточенные) источники сточных вод?

10. Характеристика водоохранных зон в странах СНГ.
11. Требования к водоохранным зонам.
12. Зачем предусмотрены зоны санитарной охраны (ЗСО) в странах СНГ и из чего они состоят?

Вопросы к разделу 2.4

1. Что представляет собой концепция устойчивого развития? Какое отношение к ней имеет вода поверхностных и подземных водных источников?
2. Какие важнейшие факторы оказывают влияние на качество поверхностных и подземных вод?
3. Что положено в основу методики оценки влияния водопроводно-канализационного хозяйства на качество поверхностных и подземных вод?
4. В результате чего формируется качественный состав подземных вод?
5. Что относится к основным факторам антропогенного и техногенного воздействия на окружающую среду?
6. От чего зависит качество питьевой воды?
7. Основные причины загрязнения поверхностных вод.
8. Основные источники загрязнения подземных вод.
9. Основные факторы природного и техногенного характера, влияющие на формирование гидрохимического режима подземных вод.
10. По каким показателям питьевая вода из подземных источников централизованного водоснабжения в Украине не отвечает требованиям действующего законодательства?
11. Какие условия влияют на размывание водоупорных горизонтов?
12. Какие мероприятия направлены на улучшение качества поверхностных и подземных вод?

Вопросы к разделу 2.5

1. Что собой представляет система водоснабжения?
2. По каким признакам подразделяются системы водоснабжения?
3. Что такое схема водоснабжения? Из чего она состоит?
4. Что необходимо для проектирования систем водоснабжения?
5. Что такое норма водопотребления и какова ее величина?
6. От чего зависят удельные затраты воды на промышленные нужды предприятий?
7. От каких факторов зависит режим хозяйственно-питьевого водопотребления?
8. В зависимости от чего строят график водопотребления в населенном пункте?
9. Что обеспечивает давление в водопроводной сети населенного пункта?
10. Для чего используются системы водопровода высокого и низкого давления?

11. Что означает “достаточность свободного напора в сети водопровода высокого давления”? Как определяют свободный напор?
12. Характеристика поверхностных источников водоснабжения.
13. Характеристика подземных источников водоснабжения.
14. На основании чего выбирают источник водоснабжения?
15. Какие водозаборные сооружения применяют для забора воды поверхностных источников? Из чего они состоят, в чем их отличия? Как они используются?
16. Какие водозаборные сооружения применяют для забора подземных вод? Как они используются?
17. Что такое насосы? Какие насосы используются для перекачивания воды?
18. Что такое насосные станции? Их классификация. Для чего они предназначены?
19. Классификация сточных вод, их образование и свойства.
20. Что такое канализация населенного пункта?
21. Что такое схема канализации населенного пункта? Выбор схемы канализации.
22. Нормы и режим водоотведения.
23. Необходимые условия при проектировании канализационных сетей.
24. Требования к трубам и каналам канализационной сети.
25. Характеристика канализационных насосных станций.

Вопросы к разделу 2.6

1. Что такое бассейновые организации? Их полномочия и формы.
2. Уровни распределения обязанностей по управлению водными ресурсами и их функции.
3. Основные направления деятельности бассейновых организаций.
4. Типы бассейновых организаций, действующих по всему миру.
5. Основные функции бассейновых организаций.

Вопросы к разделу 2.7

1. Значение интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) для управления бассейном.
2. Шаги интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) в управлении бассейном.
3. В чем заключается планирование начальных действий интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР)?
4. Цикл управления планированием и реализацией.
5. Как базовые уровни зависят от специфических характеристик отдельных бассейнов?
6. Ключевые аспекты создания систем интегрированного управления бассейнами.
7. Структура интегрированного управления бассейном.
8. Какой принцип должен выполняться при организации интегрированного управления?

9. Вертикальная и горизонтальная интеграция.
10. Функции интегрированного управления водными ресурсами.
11. Что необходимо делать при неэффективном интегрированном управлении водными ресурсами?
12. Составляющие структуры интегрированного управления водными ресурсами.
13. Какая международная юридическая структура в области интегрированного управления водными ресурсами является наиболее известной? Из каких принципов она исходит?
14. Назовите наиболее известную Директиву Европейского Союза (ЕС), связанную с проблемами водных ресурсов. На чем она фокусируется и в чем состоит ее основная цель?

Вопросы к разделу 2.8

1. В результате чего возникают проблемы ухудшения качества воды рек и озер?
2. К каким целям необходимо стремиться в процессе водохозяйственной деятельности для регулирования качества водных ресурсов?
3. Основные направления деятельности в сфере охраны водных ресурсов.
4. Что необходимо для реализации направлений деятельности в сфере охраны водных ресурсов?
5. Значение экологически чистых технологий для сферы охраны водных ресурсов. Охарактеризуйте соответствие мероприятий в рамках деятельности в сфере охраны водных ресурсов.

Вопросы к разделу 2.9

1. Какие мероприятия должны проводиться различными заинтересованными сторонами в процессе управления водными ресурсами?
2. Что представляет собой Система расчета (оценки) и планирования водных ресурсов (WEAP)? Возможности WEAP.
3. Охарактеризуйте имитационные возможности WEAP.
4. Управление загрязнениями: что оно собой представляет?
5. Что предполагает планирование бассейнов реки?
6. Как рациональное землепользование может способствовать охране водных ресурсов?
7. Что такое вредные акватические виды?

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Физико-химические методы очистки воды.
Управление водными ресурсами**

Под редакцией И.М. Астрелина и Х. Ратнавиры

Корректоры: *Е.В. Попова, М.Ю. Бродская*

Оригинал-макет: *А.С. Шайников*

Дизайнер рисунков: *С.Н. Шийка*

Координатор: *Н.А. Сивченко*

Подписано в печать 28.02.2015. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 24,51.

Издательство «Ника-Центр». 03680, Киев, ул. Кржижановского, 4.
т./ф. (044) 390-11-39; e-mail: psyhea9@gmail.com; www.nika-centre.kiev.ua
Свидетельство о внесении в Государственный реестр субъектов
издательского дела ДК №1399 от 18.06.2003