
ВОДА И ЧЕЛОВЕК

Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГ РАН)

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук



основан в 1918 году

Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева

ВОДА И ЧЕЛОВЕК

Издательство «Перо»
Москва 2022

УДК 556.5
ББК 26.22
К68



*Книга рекомендована к печати
Ученым советом Института географии РАН*

Рецензенты:

доктор географических наук Л.М. Корытный,
доктор географических наук Н.Л. Фролова

К68 **Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.**
Вода и человек. – М.: Издательство «Перо», 2022. –
324 с., илл.

ISBN 978-5-00204-403-0

Самое удивительное вещество на Земле – вода. Она – неотъемлемая часть нашей жизни. С ней связано множество мифов и легенд. Необыкновенные свойства воды и ее роль в жизни общества, сколько воды на Земле и как она распределена по территории и во времени, как взаимодействует с другими элементами окружающей среды и что в этом взаимодействии порождает научные дискуссии, как обеспечена водными ресурсами наша страна, какими благами одаривает нас вода и какими грозит опасностями, как человек воздействует на воды и почему возникают водные проблемы, грозит ли нам «водный голод», пути решения этих проблем и меры безопасности – вот далеко не полный перечень вопросов, затронутых в данной книге, которая стала результатом научно-популярного обобщения работ по Государственному заданию «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования» № FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

Фото на обложке Ольги Агеевой

© Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	5
Глава 1. Легенды и мифы о воде	6
Глава 2. Наука о воде – гидрология	20
2.1. Подразделения и методы гидрологии	20
2.2. Из истории гидрологии	26
Глава 3. Удивительные свойства воды	33
Глава 4. Сколько воды на Земле	52
4.1. Гидросфера и ее составляющие	52
4.2. Круговорот воды в природе	57
4.3. Водный баланс	64
4.4. Водные ресурсы	67
4.5. Где густо, а где пусто	69
4.6. Когда густо, а когда пусто	77
Глава 5. Как взаимодействуют воды с другими элементами окружающей среды	80
5.1. Вода формирует окружающую среду	80
5.2. Регулятор климата	83
5.3. Вода как глобальный очиститель и опреснитель	85
5.4. Поставщик кислорода	86
5.5. Вода как природный скульптор	87
5.6. Природные факторы формирования водного баланса	87
5.7. Формирование вещественного состава вод	104
Глава 6. Вода на суше	106
6.1. Реки	106
6.2. Озера	111
6.3. Водопады	114
6.4. Подземные воды	116
6.5. Почвенная влага	117
6.6. Вода во льдах	118
6.7. Болота	119
6.8. Минеральные воды	119
Глава 7. Экстремальные гидрологические ситуации	123
7.1. Многоводья, наводнения	124
7.2. Маловодье как экстремальное гидрологическое явление	135
7.3. Экстремальное загрязнение природных вод	137
Глава 8. Многообразие воздействий человека на природные воды	138
Глава 9. Воздействие на водные ресурсы хозяйственной деятельности на водосборах	143

9.1. Преобразование водного баланса агротехническими и лесомелиоративными средствами.....	143
9.2. Непреднамеренные воздействия на воды.....	154
9.3. Общее воздействие хозяйственной деятельности на водосборах на речной сток	157
Глава 10. Гидротехническое преобразование рек и водоемов	159
10.1. Виды гидротехнических сооружений.....	159
10.2. Водоохранилища – спутники гидротехнических сооружений... ..	162
10.3. Из истории гидротехнического строительства	164
10.3.1. До начала XX века	164
10.3.2. С начала XX века	174
10.3.3. Некоторые статистические данные об изменении водных и земельных ресурсов в результате создания водохранилищ.....	182
10.4. Плотины-достопримечательности	193
10.5. Насколько опасны гидротехнические сооружения	207
10.6. Плюсы и минусы создания крупных гидроузлов и водохранилищ.....	215
10.8. Каналы и территориальное перераспределение речного стока.....	230
10.9. Проекты перебросок речного стока	250
Глава 11. Водозабор и использование воды.....	258
11.1. Водозабор и использование воды в мире	258
11.2. Водозабор и использование воды в России.....	260
11.3. Сравнение водопотребления в разных регионах	263
Глава 12. Влияние на водные ресурсы различных сочетаний факторов их изменения.....	271
12.1. Сочетание антропогенных факторов	271
12.1. Соотношение вклада антропогенных и природно-климатических факторов в изменение состояния водных ресурсов	275
Глава 13. Водные проблемы и пути их решения.....	278
13.1. Основные водные проблемы	278
13.2. Пути решения общих водных проблем	287
13.3. Индивидуальные способы решения водных проблем	300
13.4. Как решать водные проблемы на природе?	305
<i>Заключение.....</i>	<i>315</i>
<i>Источники</i>	<i>317</i>

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

ВВЕДЕНИЕ

В этой научно-популярной книге речь пойдет о веществе, занимающем совершенно исключительное положение в природе и хозяйстве, более того, веществе, без которого наша жизнь невозможна. Это вещество – вода. Казалось бы, нет необходимости еще раз говорить о воде, которая давно стала объектом пристального всеобщего внимания, изучается целым рядом наук, в первую очередь гидрологией, и которой посвящено огромное количество научных и прочих публикаций. Однако с каждым годом появляются новые сведения о воде, некоторые прежние представления приходится пересматривать, а некоторые публикации, особенно в популярных и общественных изданиях, не совсем верно, а порой ошибочно информируют читателя о свойствах воды и водных проблемах, путях их решения.

Водная тематика чрезвычайно разнообразна. Объять все сведения о воде в одной небольшой книге – задача невыполнимая. Поэтому авторы данной работы после некоторых обязательных сведений о свойствах воды, закономерностях ее распределения по территории и во времени и экскурсов в историю водной тематики сосредоточили свое внимание на современных взаимоотношениях воды и человека, на тех, подчас весьма сложных, вопросах, которые при этом возникают как в науке, так и в обществе.

Территориальный аспект рассмотрения – весь мир, хотя главное внимание уделено специфике водной проблематики в нашей стране.

В основу книги положены сведения, почерпнутые из литературных источников, Интернета, а также результаты собственных разработок авторов, выполненных в рамках темы госзадания № FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8). Основные источники указаны в тексте и в конце книги.

Глава 1.

ЛЕГЕНДЫ И МИФЫ О ВОДЕ

Удивительные, в значительной мере еще не познанные свойства воды, рождают массу мифов и легенд, в которых вода выступает в качестве одной из фундаментальных стихий мироздания. В самых различных мифологиях вода – первоначало, первооснова жизни, она возрождает к жизни иссушенную растительность, утоляет жажду людей и животных, дает исцеление и отдохновение утомленным и больным.

Древнегреческий философ-материалист Фалес Милетский (624–547 гг. до н.э.), один из основоположников греческой философии, полагал, что все рождается из воды; все возникает из воды и в нее превращается. Начало элементов, сущих вещей – вода; начало и конец Вселенной – вода. Все образуется из воды путем ее затвердевания (замерзания), а также испарения; при сгущении вода становится землей, при испарении становится воздухом. Причина движения – дух, «гнездящийся» в воде.

В книге «Мифы о сотворении мира» М. И. Шахновича (1988) есть раздел: «Вода – колыбель мира», где подробно освещаются представления разных народов о водной стихии как первоначале мира. Человечество на протяжении многих тысячелетий олицетворяло вечно развивающуюся материю в образе текучей воды. Нет почти ни одного племени, у которого вода не считалась бы матерью всего живого, целебной, очистительной силой плодородия.

Во многих мифах земля появляется на море, которое является символом безмерности и безграничности. В фольклоре американских индейцев часто упоминается изначальное море. Они считали, что первоначально в мире ничего не существовало, кроме воды, не было никакой твердой земли и вообще ничего, кроме соленой воды в огромном океане. В сказках индейских племен земля чаще всего поднимается зверями со дна морского. Подобных рассказов записано множество и среди северных народов. Представление эскимосов Берингова пролива об образовании

земли не содержит никаких понятий о сверхъестественных силах: «Вначале была очень холодная вода, покрытая льдом. Льды стали тереться друг о друга, и появился холм. Когда снег на нем растаял, то он сделался землей». Эвенки говорили, что вначале кругом стояла вода, мамонт запустил свои «рога» под воду и вынул оттуда много грязи, воздуха, небес, из которых он сделал землю.

Во многих мифах сотворению мира предшествует наводнение или потоп, отголоски древних представлений о связи мифов о сотворении мира и всемирном потопе сохранились в Библии, в которой первоначальный хаос понимается как бесформенная масса «на темных водах».

В Древнем Египте первородная водная стихия, хаос, океан, бездна, полная мрака, которая находится под землей – «вторым небом», была олицетворена в образе бога Нуна. Из него исходит и Нил, и земля, и небо, и солнце. От Нуна родился великий бог Ра – бог солнца. Многие объясняют появление этого представления тем, что египтянин каждое утро видел своими глазами, как солнце показывается из многоводного Нила, словно рождаясь из морских глубин. Воды разливающегося Нила, отлагающие ил, дали древнему египтянину образ первоначального разделения земли и воды на сушу и море. В таких богов, олицетворяющих водную стихию, из которой будто бы появилась земля, верило все древнее человечество, особенно в странах Востока, в которых земледелие зависело от разливов рек и искусственного орошения.

Шумеры также видели в воде первородную стихию, в которой, по их представлениям, коренилось начало мира и жизни. В шумерских текстах о сотворении человека, сохранившихся в записях, восходящих, по-видимому, к III тысячелетию до н.э., упоминается «мать, породившая небо и землю» Намму – олицетворение первозданного океана, в темных волнах которого скрывались семена всех вещей. В древнем Вавилоне первоначальным элементом мира считалась вода, выраженная в образах первородной грозной стихии – водяного хаоса, черной морской пучины Тиамат и мрачной бездны, небесного океана Апсу. Вавилонский жрец утверждал: «Вначале все было мрак и вода». У финикийцев было представление, что «вначале существовала вода и мокрая грязь, которая, сгустившись, образовала землю».

В одном из древнейших индоарийских религиозных текстов в мире Ригведе (около 1700–1100 гг. до н.э.) вода – первоначальная основа, она заполняет Вселенную, из нее постепенно развилось все. В ведийских текстах много раз упоминается изречение: «Вода – первооснова всего сущего, вначале это (все сущее) было водами», из воды произошел весь мир, в том числе и боги. Бог созидания Вишну изображается темно-голубым или зеленым, с морской раковиной, чтобы указать на его происхождение из воды.

В китайских даосских храмах дракона сохранились древние статуи божества воды, из которого будто бы все произошло. На главной статуе дракона – надпись «Отец вод, мать вод». В IV–III вв. до н.э. в трактате «Гуань-цзы» в главе «Вода и земля» провозглашалось, что вода – «основа и начало всех вещей, предок всего живого». Из воды произошло все: горы, камни, луга, растения и животные. Автор трактата наделяет воду магическими свойствами, благодаря ей люди становятся не только чистыми, но и справедливыми.

По Гомеру, самое древнее божество – Океан – круговой мировой поток, от которого «все родилось». Океан – отец и начало всех богов и Вселенной, а мать мира – супруга его – морская богиня Тетия. Древние греки думали, что океан со всех сторон окружает землю, так как отождествляли небесное «море» с земным, они полагали: из океана восходят и в него погружаются солнце, луна и звезды. Аристотель писал, что древние богословы «делали Тетию родительницей всего возникающего и заставляли богов клясться водой».

По славянским представлениям, «в начале времени везде было море, и из горсточки морского песка, из крупинок, взятых со дна воды, получилась земля». В древнерусской письменности есть несколько «сказаний о сотворении небеси и земли, когда не было ни земли, ни небеси, а только едино море Тивериадское».

Ученые по-разному объясняют происхождение представления об образовании земли из воды. Одни считают причиной его широкого распространения огромную роль, которую играли великие многоводные реки в жизни древнего мира, и полагают, что идея о воде, как основном элементе, из которого затем воз-

никла твердая земля, родилась под влиянием наблюдений древних людей за реками, осадения ими большого количества ила и наносов.

Другие ученые объясняют столь огромную роль воды в мифах тем, что первобытные люди полагали, будто небо состоит из воды, а поэтому отождествляли небеса с водной стихией. В Библии бог при сотворении мира отделил воды верхние от вод нижних, то есть воды небесные от вод земных. Апостол Петр говорит о невежественных людях: они «не знают, что в начале словом Божиим небеса и земля составлены из воды и водою». В талмудической литературе часто указывается, что небосвод состоит из воды. В Коране говорится, что престол Аллаха, когда он творил небеса и землю, плавал в воде, небо и земля представляли собой нераздельную массу, плавающую в воде.

Женское божественное начало всегда было связано с водой. Афродита – богиня любви и красоты, называвшаяся у римлян Венерой, возникла из морской пены и на раковине добралась до берега (рис. 1.1). Считалось, что славянская богиня красоты, Лада, была хранительницей живой и мертвой воды.

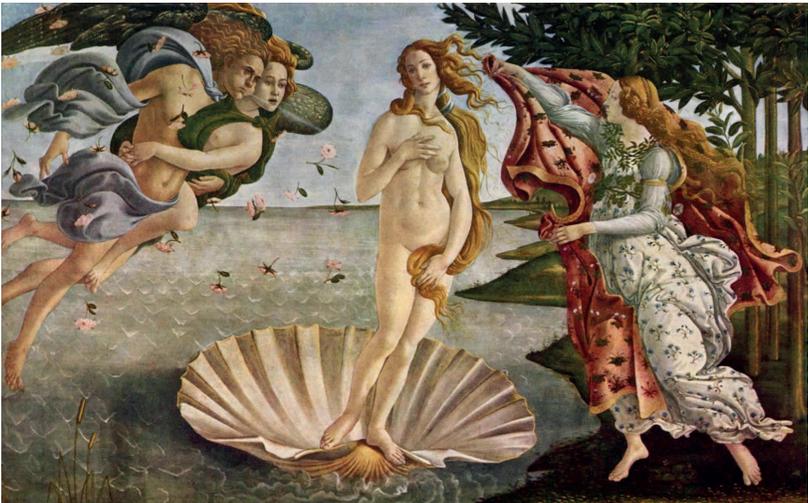


Рисунок 1.1. Рождение Венеры Botticelli, Sandro The Birth Of Venus, С. 1485 , Florence, Uffizzi

Большой путь прошло человечество от таких религиозных фантазий о мире к его познанию, от мифологии к философии (Мифы народов мира, 2008; Шахнович, 1968). Вода, выступая в качестве первоосновы мира, символизирует полноту возможностей, смешение элементов, предшествующее всем формам и всему творению. Возможно, подобная фундаментальная роль воды в мироздании связывалась с ее способностью к трансформации, изменению (пар, град, снег, лед).

В мифологиях большинства народов мира встречаются духи воды – сверхъестественные существа, деятельность которых связана с водой. Они могут являться хозяевами морей, рек, озер, болот или водной стихии в целом. Например, в Африке по берегам Нигера, в районах расселения рыболовов, живут «владыки воды». Они посредники между рыбаками и духами воды – «хозяевами» рыболовецких угодий. «Владыки воды» получают от рыбаков часть улова.

В культуре практически всех народов известны легенды о русалках – поющих красавицах, олицетворяющих завораживающий вид и звук воды. Русалки капризны, своенравны и могущественны, как и реки, в которых они обитают. Они могут сотворить добро, но могут и навредить. В индийской мифологии хранителями вод были небесные нимфы апсары, обитавшие в небе и на земле, в прудах и реках, способные угрожать людям, насылая на них любовное безумие, в Китае и Японии – драконы и их жены. В греческих и римских мифах фигурирует множество водных божеств и существ: бог морей Посейдон (Нептун), его сын Тритон, морские нимфы nereиды – дочери Нерея, бога спокойного моря, речные наяды (нимфы) и, наконец, океаниды – дочери бога водной стихии Океана. Древнейшее из известных морских божеств – «человек-рыба» Оанн, который пришел к ранним вавилонянам в качестве реформатора и наставника. Появившись из Эритрейского моря, он принес им цивилизацию, письменность и науки, закон, астрономию и религию, обучил их земледелию, геометрии и искусствам вообще.

В Британии и Ирландии слагали легенды о морских девах, которые сбрасывают рыбий хвост перед тем, как выйти на сушу. В Скандинавии и Германии водные существа разделялись на

морских и речных. Во Франции, Италии, Португалии и Испании их называли сиренами, хотя в греческих мифах сирены были птицами с женскими лицами. В русских сказках духи вод – русалки и водяные. В африканских преданиях это водные женщины и ведьмы. В легендах североамериканских индейцев говорится о двуххвостых морских божествах и девах-рыбах.

Культ поклонения древним божествам вод остался в прошлом, но вера в русалок, мудрых и могущественных водных существ, продолжает жить. Возможно, первые мифы о русалках возникли из рассказов об утопленниках и человеческих жертвах, принесенных водным божествам. В христианской религии русалка с гребнем и зеркалом в руках стала символом тщеславия и женского коварства, ведущих мужчин к верной гибели.

Такова, например, старинная германская легенда о прекрасной и коварной русалке Лорелее (Loreley или Lorelei), одной из дев Рейна, образ которой нашел отражение во многих поэтических и художественных произведениях (Литературные герои. Лорелея. // <https://dic.academic.ru/dic.nsf/litheroes/337/>). В долине Среднего Рейна на высокой скале сидела прекрасная дева Лорелея, она, расчесывая золотистые кудри, своим чарующим пением завлекала в речную теснину корабли. Гребцы забывали обо всем на свете, заслушавшись песнями Лорелей, они бросали весла, потерявшие управление суда, неслись в теснину и разбивались о прибрежные скалы. В этом месте русло реки очень узкое, зажато скалами, а течение очень сильное. Множество лодок разбивалось о скалистый берег и подводные скалы. И по сей день здесь случаются аварии судов. Эта печальная легенда постоянно вдохновляла поэтов и художников. Заинтригованный звучным именем скалы и ее живописным расположением, поэт Клеменс Брентано в 1801 году сочинил балладу «На Рейне в Бахарахе». Созданный Брентано миф получил множество художественных воплощений. Наиболее известно написанное в 1824 году стихотворение Генриха Гейне «Лорелея», которое стало в Германии народной песней. Композиторы Фридрих Зильхер и Ференц Лист положили стихи Гейне на музыку. Широко известен и пользуется популярностью у исполнителей романс Ф. Листа «Лорелея». Перед смертью Ф. Мендельсон работал над оперой на тот же сюжет.

В России стихотворение Гейне перевел в 1909 г. Александр Блок. Существуют также переводы других русских поэтов, среди них С. Маршак, Л. Мей, А. Майков и др. Осип Мандельштам представлял в образе Лорелеи Россию: «...все перепуталось и сладко повторять: Россия, Лета, Лорелея».

Интересно вспомнить, что сотрудник Института географии РАН, гидролог, гляциолог и климатолог А. Н. Кренке также обращался к этой теме в своей книге «Воспоминания» (Кренке, 2011) и перевел Лорелею, как представляется, не хуже:

«И песню ее услышав,
Рыбак на утлом челне
Не видит больше рифов
И отдается волне.
Я знаю, что волны покрыли
И лодку, и рыбака,
А голос девы милый
Все слышится издалека».

Во многих традициях вода считалась проводником воли богов, посредником в общении с небом, глашатаем судьбы. В этой связи в различных системах гадания прибегали к истолкованию образов, являющихся в воде. Провидец, глядя на водную поверхность, как считалось, мог видеть будущее, а также прошлое. Практика предсказаний с помощью воды была распространена в Древней Европе, Северной Африке, на Ближнем Востоке, в Восточной и Северной Азии, в Юго-Восточной Азии и Полинезии.

В Библии вода отождествляется с первозданным хаосом, а также выступает как символ всеоживляющего благословения Божьего. С другой стороны, она предстает как орудие гнева Господня («Вот, поднимаются воды с севера и сделаются наводняющим потоком, и потопят землю»). Библейское выражение «находиться во глубине вод» означает «страдать» («и объяли меня воды до души моей»).

В общем смысле вода – эмблема всех жидкостей в материальном мире, принципов их циркуляции, растворения, смешения, сцепления, рождения и возрождения. «Ригведа» возносит похвалу воде как носителю всего сущего. Считалось, что чистая

вода, особенно роса, родниковая и дождевая вода, имеет целебные свойства и является формой божественной милости, даром матери-земли (родниковая вода) или небесных богов (дождь и роса). Почтительное отношение к свежей воде, как очищающему элементу, особенно свойственно религиозным традициям стран, где запасы воды были скудны. Это демонстрируют иудейские и христианские ритуалы очищения или крещения.

Для русских огонь, земля и особенно вода всегда были абсолютно дивными стихиями. Они были уверены, что вода произошла из волшебного источника. В русском фольклоре вода неразрывно связана с жизнью и смертью. В народном сознании существовала река забвения – Лета, умершие люди должны были испить ее воды, чтобы забыть свою земную жизнь. В нашем языке есть устойчивая смысловая конструкция – «кануть в Лету», то есть подвергнуться полному забвению. В русских народных сказках встречается такой сюжет: главный герой отведал воды из некоей реки (водоема, чаши) и позабыл все то, зачем он шел и куда стремился, из памяти тут же стирался образ невесты, родного дома, или, например, братец-Иванушка превратился в козленочка и так далее. В русском фольклоре присутствует история о мертвой и живой воде, обладающей способностью затягивать раны храбрых богатырей, даровать жизнь и приносить смерть. Добыть живительную водицу непросто, она дается за доброе сердце, храбрость и смекалку.

С водой связано множество народных примет и старинных гаданий. Ведь недаром говорят: «как в воду глядел», то есть предвидел, знал заранее. Воде в древности приписывали магические свойства. Ее способность отражать весь окружающий мир представлялась необъяснимой. С этим были связаны магические обряды и вера в чудодейственную силу воды, которая, благодаря своей способности повторять внешний вид реальных вещей, может забрать на себя болезнь, порчи, проклятия, несчастья, неудачи, подарить красоту, здоровье. Вода всегда представлялась людям загадочной, непредсказуемой, колдовской. Она пропитана магией, поэтому, где, как не в воде, высматривать откровения о будущем!/? Чтобы узнать о своем суженом, темными зимними вечерами девушки бегали к проруби, чтобы увидеть его лицо,

бросали в ручей камешки, венки, по воде загадывали о будущем урожае.

У воды славяне искали покровительства и защиты от засухи, от пожара, от злого умысла. У древних славян никто не имел права отказать человеку в воде. Закон этот был столь непреложен, что породил до сих пор употребляемое выражение, подчеркивающее несомненность какого-либо дела или действия, – «как пить дать». Поговорки и привычные словосочетания, свидетельствующие о большой роли воды в жизни человека, также можно считать элементами мифологии. Вот некоторые из них: быть точно в воду опущенным, без воды и ни туды, и ни сюды, выводить на чистую воду, выйти сухим из воды, и в воде не тонуть, и в огне не гореть, идти в огонь и в воду, как в воду кануть, как воды в рот набрать, как две капли воды, как с гуся вода, концы в воду, ловить рыбу в мутной воде, много воды утекло, не зная броду, не суйся в воду, носить воду решетом, по воде вилами писано, пройти огонь и воду (и медные трубы), седьмая вода на киселе, тише воды, ниже травы, толочь воду в ступе, тиха вода, да омуты глубоки.

Принятие христианства не подорвало веры в могущество воды, ведь один из основных христианских праздников – крещение – связан с освящением воды и купанием в проруби. Считалось, что особенно в купании и, соответственно, в очищении нуждались гадавшие, которые ходили на Святки ряжеными. Они должны были «смыть личину беса».

Одно из ранних упоминаний об особом почитании воды, набранной в день Крещения Господня, и о ее чудесных свойствах (в первую очередь способности не портиться в течение долгого времени) содержится в одной из антиохийских проповедей Святителя Иоанна Златоуста (387 г.): «В этот праздник все, почерпнув воды, приносят ее домой и хранят во весь год, так как сегодня освящены воды; и происходит явное знамение: эта вода в существе своем не портится с течением времени, но, почерпнутая сегодня, она целый год, а часто два и три года, остается неповрежденной и свежей (Православная энциклопедия, 2005). Христиане верят, что вода, освященная в храме, сохраняет в себе Божью благодать. Пьют святую воду с благоговением и молитвой, она приносит

исцеление или облегчение в болезнях, ею освящают жилища, транспортные средства, атрибуты церковных обрядов и прочее.

В «Повести о великих реках Русской равнины» (Ильина, Грахов, 1973) говорится о неразрывной связи русского эпоса с реками. Реки служили источниками питьевой воды, пищи, орошали посевы, охраняли поселения от набегов врага. Весь уклад жизни восточных славян, их верования, мироощущения связаны с реками, а порой и сами водные объекты (колодцы, ручьи, реки и озера) становились героями мифов и легенд.

Ни один из элементов природы – ни горы, ни лес, ни степь, ни ветер – не занимает в русском эпосе такого места, как реки. Им не только приписываются человеческие чувства и поступки, но и в целом ряде былин и сказок они выступают как самостоятельные герои. Такова, например, сказка о сестрах Волге, Западной Двине и братце их Днепре. Остались они сиротами, натерпелись крайней нужды и придумали наконец пойти по белу свету и разыскать для себя такие места, где бы можно было разлиться большими реками; ходили три года, разыскали места и приостановились все трое ночевать в болотах. Но сестры были хитрее брата, едва Днепр уснул, они встали потихоньку, заняли самые лучшие, отлогие местности и потекли реками. Проснулся поутру брат, смотрит – далеко его сестры. Рассердился, ринулся в погоню за ними не разбирая дороги, по рвам, по буеракам, и чем дальше бежал, тем больше злился и подмывал крутые берега. За несколько верст до впадения в море гнев его утих, и он спокойно вступил в морские пучины, а две сестры его, укрываясь от погони, в поисках счастья разбежались в разные стороны.

А вот сказка о Волге и Вазузе, которую Лев Толстой написал для детей. Стали сестры Волга и Вазуза друг перед другом похваляться и заспорили, кто первой дойдет до Хвалынского (Каспийского) моря. Надумали лечь спать, а утром встать с солнышком и отправиться к морю. Еще не светало, как поднялась тихонько Вазуза и побежала, чтобы у моря первой быть. Проснулась Волга и сразу обо всем догадалась, однако спешить не стала. Пошла к морю не быстро, но и не тихо и догнала Вазузу. Испугалась Вазуза и сама «меньшой назвалась» и попросила «принять на

руки». С тех пор весной Вазуза всегда первой просыпается и будит ото сна Волгу.

Удивительно переплетаются в этих сказках общечеловеческие и бытовые факторы с точными гидрологическими наблюдениями. Вазуза действительно всегда вскрывалась ото льда весной раньше, чем Волга. А истоки Волги, Западной Двины и Днепра находятся на заболоченном водоразделе Валдайской возвышенности сравнительно недалеко друг от друга. Вот что записано об этом в древней русской летописи XII века «Повести временных лет»: «Днепр же вытекает из Оковского болота и течет на юг, а Двина из того же леса вытекает и течет на север и впадает в море Варяжское. Из того же леса течет Волга на восток...».

Русские люди хорошо знали и любили свои реки и озера, наделяли их в эпосе чувством высокого патриотизма. Разве величали бы они их так уважительно-ласково: Волга-матушка, Енисей-батюшка, Днепр Славутич, Дон Иванович?! В «Слове о полку Игореве» бежавший из плена князь Игорь поэтически беседует с рекой, благодарит Донец за то, что «лелея князя на волнах, постилая ему зеленую траву на своих серебряных берегах, одевая его теплыми туманами под сенью зеленого дерева» укрыл от вражеской погони.

Озеро Ильмень впервые упоминается в «Повести временных лет», по нему проходил великий торговый путь «из варяг в греки». Озеро это считается одним из крупнейших в европейской части нашей страны, у него самый большой в европейской части России перепад уровня воды – около 7 м. В засушливые месяцы озеро может уменьшиться почти вдвое, а когда разливается весной, площадь его поверхности увеличивается в три раза. За огромные размеры и буйный нрав новгородцы в старину называли Ильмень Словенским морем. И, действительно, даже сегодня Ильмень в непогоду страшен. Старики, живущие в прилегающих деревнях, рассказывают, что это морской царь распекает своих хвостатых подчиненных. По другой версии, чудище, с древних времен обитающее на дне Словенского моря, разбушевалось и, размахивая огромным чешуйчатым хвостом, подняло волны до небес.

На берегах озера Ильмень родилась известная всем с детства легенда о Садко. Согласно ей, обычный новгородский гусяр

однажды сидел на берегу и играл веселую мелодию. Вдруг из водной пучины появился сам морской царь, которому понравилась музыка. Он решил наградить талантливого юношу и повелел ему пойти на рынок и поспорить с купцами, что он сможет выловить из Ильменя трех рыб с янтарными глазами и огненными перьями. Садко выполнил поручение морского царя и удивил посмеявшихся над ним торговцев тем, что, действительно, выловил удивительных рыб из воды. Выиграв спор с помощью владыки Ильменя, обычный гуслияр стал успешным купцом.

Народности, населявшие в разное время берега Байкала, поклонялись ему, зная загадочную силу и своевольный нрав озера. Самая известная легенда об этих краях связана с образованием реки Ангары. Было у старого богатыря Байкала 336 сыновей и единственная дочь Ангара, которую он прятал на морском дне. Когда пришло время Ангаре выйти замуж, отец задумал отдать ее за соседа Иркута. Но чайка, прилетевшая издалека, рассказала девушке про красивого богатыря Енисея, и зажглось сердце Ангара любовью. Она обманула отца, пробила горный хребет и вырвалась из моря. Обнаружив побег, Байкал в ярости кинул вслед дочери скалу, которая стоит у истоков Ангары и которую люди прозвали Шаман-камнем. Вот так и получилось: много рек впадают в Байкал, но единственная река берет начало из Байкала – это Ангара. Ангара с Енисеем встретились и вместе пошли по жизни. Вдогонку им родители отправили войска, но, возможно, боги решили, что нельзя мешать молодым, и превратили их преследователей в камни! Так до сих пор они и стоят застывшими в том месте, где сейчас организован заповедник «Столбы». Туда ходят люди отдыхать и полюбоваться на необычные исполины. Потом Енисей с Ангарой ушли к берегам Великого Северного Ледовитого океана, у них появились две дочки, две Тунгуски, и они до сих пор живут счастливо.

С давних времен Россия была страной лесов, рек и озер. Они кормили и поили не одно поколение русских людей, на их берегах возводили города, по ним проходили великие и малые торговые пути, им посвящали песни, легенды и былины. Во многих лучших произведениях отечественных авторов река является основным географическим образом, и, более того, непосредственные или

образные названия рек совпадают с названиями самих произведений: «Тихий Дон» М. Шолохова, «Угрюм-Река» В. Шишкова (Нижняя Тунгуска), «Золото бунта, или вниз по реке теснин» А. Иванова (Чусовая) и т. д. С именем Н. В. Гоголя в сознании многих поколений неразрывно связан Днепр: «Чуден Днепр при тихой погоде, когда вольно и плавно мчит сквозь леса и горы полные воды свои... Редкая птица долетит до середины Днепра!» (Вечера на хуторе близ Диканьки).

Река, несмотря на художественность вымысла, это символ места, где проходит жизнь главных героев произведения. С рекой связаны их судьбы, она кормит и поит, испытывает сильного и губит слабого, выводит из непроходимых таежных лесов и дарит надежду.

И в наши дни широко распространено мнение о целебных свойствах освященной воды. Специальные исследования этой воды не показали каких-либо отличий ее от обычной, чистой воды. Однако имеется немало случаев оздоровительного эффекта освященной воды. Дело здесь, скорее всего, не столько в свойствах этой воды, сколько в вере людей в этот эффект, соответственно настраивающий организм. Медицина не отрицает большой роли самовнушения в оздоровлении человека. К этой же категории можно отнести и лечение «заряженной водой» А. Кашпировским и А. Чумаком, а также купание в ледяной воде во время христианских праздников людей, не подготовленных к резким изменениям температуры. Далеко не всегда такие способы оздоровления заканчиваются благополучно. В то же время талая вода отличается по своей структуре от обычной, и ее лечебный эффект не исключен, но далеко не для всех людей.

Несомненно, легенды и мифы, народные приметы не являются «истиной в последней инстанции» и нуждаются в проверке научными исследованиями. Хотя, как будет показано в дальнейшем, не на все вопросы о воде наука может дать исчерпывающие ответы, это служит причиной появления новых мифов.

Например, широко разрекламирована чудодейственная роль серебра в природной воде, следствием чего является рекомендация помещать в употребляемую воду различные серебряные предметы. Действительно, серебро, наряду с другими тяжелыми

металлами, например, медью, способно даже в малых концентрациях оказывать бактерицидное действие. Но, как указывает в своей книге Л. М. Корытный (2011), выраженный, то есть гарантированный эффект, наблюдается при концентрации ионов серебра 50–100 мкг/л. В то же время серебро, по данным Россанэпиднадзора России, стоит в одном ряду с мышьяком, свинцом, кобальтом и другими ядовитыми веществами. Как и большинство других тяжелых металлов, оно медленно выводится из организма, может в нем накапливаться и по прошествии довольно длительного времени (десять и более лет) привести к отравлению организма.

В рекламе некоторых бутилированных вод пропагандируются и содержащиеся в них селен и «природный йод» как оздоравливающие элементы. Вместе с тем селен относится по санитарным нормам к токсичным металлам. Содержание селена и йода в воде должно быть строго регламентировано, что нередко не соблюдается.

Существует великое множество предложений, гарантирующих, якобы, исцеление при помощи употребления разнообразных кремниевых, алмазных, анисовых, борных, вишневых, жемчужных и прочих вод. Многие из этих предложений сомнительны и научно не обоснованы. Тем не менее очевидно одно: вода является важнейшим элементом жизни человека на Земле. Ее полезные свойства изучают уже несколько столетий, и в ней находят все новые и новые полезные качества. Ничто живое на нашей планете не может жить, расти, развиваться без воды. Живительная влага – это основа жизни.

Глава 2.

НАУКА О ВОДЕ – ГИДРОЛОГИЯ

2.1. Подразделения и методы гидрологии

Основная наука, изучающая воду в различных ее проявлениях на Земле – гидрология. Слово «гидрология» образовано из двух греческих слов: «гидро» – вода и «логия» – учение, наука. Гидрология состоит из целого ряда дочерних наук (направлений). Три из них главные: **гидрология морей или океанология**, изучающая океаны и моря; **гидрология суши (гидрология поверхностных вод)**, занимающаяся водными объектами суши – реками, озерами, водохранилищами, болотами, ледниками; **гидрология подземных вод, или гидрогеология**, изучающая воды верхней части земной коры. Хотя надо признать, что границы между этими главными подразделениями не всегда четки. Так, гидрология, занимающаяся поверхностными водными объектами, не может игнорировать того факта, что значительная часть воды, содержащаяся в них, формируется в подземных горизонтах. Например, вода в реках при отсутствии дождей или снеготаяния имеет подземное происхождение.

Каждая из главных гидрологических наук в свою очередь подразделяется на целый ряд составляющих. Полной общепризнанной классификации всех подразделений гидрологии не существует. Назовем лишь некоторые части гидрологии поверхностных вод в соответствии с изучаемыми ими водными объектами: *гидрология рек, гидрология озер (лимнология), гидрология водохранилищ, гидрология болот, гидрология ледников*. Гидрология болот одновременно является частью более общей комплексной науки «болотоведение», а гидрология ледников – частью также комплексной науки «гляциология». Нередко выделяется также *гидрология почвенных вод*.

В зависимости от методов и целей изучения вод выделяют *общую гидрологию, инженерную гидрологию, гидрографию, гидрометрию, гидрофизику, гидрохимию, экологическую гидрологию (гидроэкологию)*.

В задачи *общей гидрологии* входит обобщение гидрологических явлений, в первую очередь стока воды, исследование их происхождения (генезиса), закономерностей проявления по территории и во времени. *Инженерная гидрология* подразделяется на *гидрологические расчеты* и *гидрологические прогнозы*. Инженерная гидрология направлена на решение практических задач, на разработку прогнозов гидрологических явлений, например, весеннего половодья, на гидрологическое обоснование различных проектов, например, плотин, каналов. *Гидрография* занимается описанием конкретных водных объектов. По существу, это начальное звено гидрологических знаний. В задачу *гидрометрии* входит разработка методов и приборов определения различных гидрологических характеристик, например, уровней воды в реках и водоемах, расходов воды, то есть ее количества, протекающего в реке за единицу времени, величины стока (количества воды за какой-либо отрезок времени) с целью определения водного режима водных объектов, и само определение этих характеристик. Одна из основных операций в гидрологии – это определение расходов воды в реке в исследуемом створе. Для этого сначала в исследуемом створе проводится измерение ширины и глубины реки, на основании которого вычисляется площадь поперечного сечения, а затем с помощью специального прибора – гидрометрической вертушки – средняя скорость течения реки. Умножением площади сечения на среднюю скорость и находится расход воды в данном месте, выражаемый чаще всего в $\text{м}^3/\text{с}$. Строятся графики связи уровней и расходов воды, позволяющие на основании менее сложных определений уровня воды рассчитывать ее расходы. В результате ежесуточных, а нередко и нескольких в течение суток определений уровней и расходов воды (когда они быстро меняются во времени), строится график их значений за исследуемый период времени, чаще всего за год – гидрограф, на основании которого находится объем стока, выражаемый обычно для сравнительно крупных рек в млн м^3 или в км^3 . Например, средний многолетний сток Волги у г. Волгограда составляет около $250 \text{ км}^3/\text{год}$ при среднем расходе воды около $8 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$. В практике гидрологических расчетов часто пользуются и такими характеристиками, свидетельствующими об удельной

(в расчете на единицу площади водосбора) водоносности реки, как слой стока, выражаемый в мм, и модуль стока (в л/с×км²). Соотношения между всеми этими показателями в годовом исчислении выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{объем (км}^3\text{)} &= \frac{\text{расход воды (м}^3\text{/с)} \times 31,5}{1000}, \\ \text{слой (мм)} &= \frac{\text{объем (км}^3\text{)} \times 10^6}{\text{площадь водосбора (км}^2\text{)}}, \\ \text{модуль (л/с} \times \text{км}^2\text{)} &= \frac{\text{слой (мм)}}{31,5}. \end{aligned}$$

Для той же Волги при площади водосбора 1360 тыс. км² средний слой стока составляет около 190 мм, а модуль стока 6 л/с×км².

Исследование физических и механических свойств воды входит в круг вопросов *гидрофизики*. *Гидрохимия* изучает химические свойства воды. В последнее время быстро развивается *экологическая гидрология*, занимающаяся оценкой изменения условий жизни водных организмов, а также человека в связи с изменением состояния природных вод. В задачу экологической гидрологии нередко включают и разработку вопросов охраны водных объектов от количественного истощения и загрязнения их вод. Учитывая все возрастающее в мире воздействие человека на воды, все больше укрепляется такое направление, как *антропогенная гидрология*, которому некоторыми исследователями вменяется весь круг вопросов взаимодействия человека с водой.

Остановимся еще на одном делении гидрологии – на *географическое* и *геофизическое направления*. Первое изучает водные объекты, закономерности изменения их вод по территории и во времени. Геофизическое направление акцентирует свое внимание на физических процессах, связанных с водой в атмосфере, литосфере и, разумеется, в гидросфере. Авторы данной книги относят себя к приверженцам географического направления, хотя географическое и геофизическое направления нередко тесно переплетаются.

Выше указаны далеко не все подразделения гидрологии, особенно в отношении океанологии и гидрологии подземных вод.

Но и из приведенного списка видно, насколько широким кругом вопросов занимается гидрология. Следует особо отметить, что гидрология тесно связана с другими естественными науками, в том числе с климатологией и метеорологией, физикой и химией, биологией, геоморфологией и другими. Все в большей мере, особенно в разного рода водохозяйственных расчетах, гидрологи сотрудничают со специалистами социально-экономического профиля.

Какие же **методы** используются в гидрологии? Долгое время основным был *экспедиционный*, заключающийся в сравнительно кратковременном обследовании водных объектов и территорий. Особенно широко этот метод применялся в начальный период развития гидрологии для гидрографического описания неизученных или слабо изученных территорий. Основной недостаток этого метода – краткосрочность наблюдений, высокая вероятность того, что не будут зафиксированы редко встречающиеся гидрологические явления, например, катастрофические наводнения и маловодья. Чтобы устранить этот недостаток, во время экспедиционных исследований ведутся поиски следов таких катастрофических явлений, например, следов уровней высоких вод, опрашивается население.

Гораздо более полное представление о водном режиме водного объекта дает *метод стационарных наблюдений*. Его суть заключается в том, что на реке или водоеме проводятся регулярные многолетние наблюдения за колебаниями уровня воды, за расходами воды, течениями, элементами ледового режима, химическим составом вод и т. д. Выполняются эти работы гидрологическими (гидрометрическими) станциями и постами. В результате на основании наблюдений на этих станциях имеются многолетние гидрологические ряды, позволяющие определить средние многолетние гидрологические характеристики и выявить закономерности динамики водного режима данной реки или водоема во времени.

Помимо уровней и расходов воды на гидрометрических станциях нередко определяется расход переносимых рекой наносов, качество воды. Кроме того, для познания гидрологических закономерностей очень большое значение имеют результаты наблю-

дений на метеорологических станциях за атмосферными осадками, температурой и влажностью воздуха, а также на агрометеостанциях – за влажностью почвы, а на гидрогеологических станциях – за уровнем подземных вод. На воднобалансовых (стоковых) станциях ведется комплекс гидрометеорологических наблюдений за процессами, происходящими на водосборах рек и водоемов.

Экспериментальные методы позволяют определить физические и химические свойства воды, происхождение тех или иных гидрологических явлений в лабораторных условиях или на местности. В значительной мере экспериментальными в сочетании со стационарными можно считать наблюдения на уже упомянутых воднобалансовых станциях, располагающихся на водосборной территории реки или водоема и изучающих, как тот или иной элемент ландшафта или вид хозяйственной деятельности влияет на сток или испарение, интенсивность вызванных водой эрозийных процессов. Например, сравнивается сток с рядом расположенных площадей, одна из которых занята естественным лугом, а другая распахана. Широкое развитие, особенно за рубежом, получил такой способ изучения влияния леса на гидрологические процессы, как его вырубка на одном из двух водосборов, на которых проводятся параллельные гидрологические наблюдения, и при сравнении результатов наблюдений на этих водосборах отслеживаются те изменения в стоке, которые происходят после вырубки леса на одном из них.

В последние десятилетия широкое распространение получило дистанционное определение (зондирование) состояния водных объектов, снежного покрова, влажности почвы и других характеристик, основанное на применении наземных, авиационных и космических средств, оснащенных различными видами съемочной аппаратуры.

Завершающим звеном гидрологических исследований является *теоретическое обобщение* результатов экспедиционных, стационарных и экспериментальных исследований, позволяющих выявить закономерности изучаемых гидрологических процессов и явлений. При обобщении измерений и наблюдений используются *генетические и статистические методы*. С по-

мощью *генетических методов* выявляются причинно-следственные связи, физическая сущность изучаемых процессов. *Статистические методы* позволяют давать количественную интерпретацию изучаемых процессов, рассчитывать повторяемость их наступления, строить зависимости гидрологических характеристик между собой и от обуславливающих их факторов, строить гидрологические карты. Наилучшие результаты дает совместное использование нескольких методов, взаимно контролирующихся получаемые результаты, особенно генетического и статистического. В противном случае возможны неверные заключения и выводы.

Приведем один пример получения недостоверной зависимости в отношении гидрологической роли лесов. Один исследователь получил хорошую связь величины годового речного стока с процентом площади, занятой лесом, на территории Русской равнины. Из нее следовало, что чем больше залесенность территории, тем больше сток. В действительности же получилась ложная зависимость, поскольку она отражала не влияние леса, а географической широты местности. Хорошо известно, что на территории Русской равнины распределение осадков и стока, а также лесов подчиняется географической зональности – на юге Русской равнины, где осадков мало, распространены степи, лесов почти нет, сток также мал. При движении на север возрастают как количество осадков, так и площадь, занятая лесом, и величина стока, то есть лес в данном случае не является самостоятельным фактором, определяющим величину стока. Определяют же его величину климатические условия. Только убедившись в истинности полученных зависимостей и математических формул, связывающих причины и следствия, следует приступать к венцу обобщенного представления о гидрологических процессах – их физико-математическому *моделированию*, которое дает синтезированное физическое представление в количественной форме о гидрологических явлениях и процессах. Физико-математические модели особенно важны для прогнозирования состояния водных объектов при различных сочетаниях климатических и антропогенных факторов. Имеется несколько направлений моделирования гидрологических процессов. Ознакомиться с ними можно,

например, в работах (Виноградов, Виноградова, 2010; Гусев, Насонова, 2010; Кучмент, 2008; Мотовилов, Гельфан, 2018; Гельфан и др., 2022).

2.2. Из истории гидрологии

Впервые термин «гидрология» появился в конце XVII в книге Э. Мельхиора «Гидрология в трех частях». Как научная дисциплина гидрология ведет свое летоисчисление с 1674 г., с появления книги Пьера Перро (брата известного сказочника Шарля Перро) «О происхождении источников». В 1974 г. ЮНЕСКО специально организовала в Париже конференцию, приуроченную к 300-летию этого события. Книга П. Перро стала результатом исследований автора, связанных с сооружением в Лувре водопровода. Для этого надо было определить, какое количество воды протекает в реке Сене, иными словами, определить расход воды в этой реке. Перро решил эту задачу, определив вначале количество осадков и величину испарения в бассейне реки, а затем вычтя из первой величины вторую, то есть практически решив основное уравнение водного баланса в природе, хотя официально уравнение водного баланса будет записано австрийским исследователем А. Пенком лишь 200 с лишним лет спустя – в 1896 г.

Фактически же гидрология имеет гораздо более длинную историю и считается одной из древнейших наук. Еще 6000 лет назад в Египте жрецы вели наблюдения за уровнем воды в Ниле. Зарубки на скалах, соответствующие уровням Нила во время его разливов, делались на созданной сети гидрометрических наблюдений, так называемых нилометрах, расположенных вдоль русла реки. До нас дошла только часть результатов этих наблюдений, насчитывающая 1250 лет.

В Древней Греции Аристотелем еще в IV веке до н.э. было высказано мнение, что вода на сушу поступает с океана в виде водяных паров, трансформирующихся затем в горах в осадки, часть которых образует реки, а часть фильтруется в подземные горизонты. Леонардо да Винчи, развивая идею Аристотеля, на рубеже XV-XVI веков одним из первых правильно объяснил происхождение рек как поверхностными, так и подземными источниками.

Открытие и гидрографическое описание новых водных объектов суши и частей Мирового океана сопровождало всю историю человечества, вплоть до последнего времени. Например, сравнительно недавно открыто крупное подземное озеро «Восток» в Антарктиде.

В нашей стране корни гидрологических знаний лежат в летописях и в писцовых книгах XI–XVI веков, где зафиксированы необыкновенные явления в природе, в том числе выдающиеся наводнения, засухи. Основы российской гидрографии, то есть описания рек и озер, заложены в «Книге Большому чертежу», написанной в 1627, а опубликованной в 1773 г. Начиная с XVI века высокие уровни выдающихся наводнений стали отмечаться на стенах церквей, крепостных стен, других сооружений. Более систематичными эти наблюдения стали при Петре I.

Но вернемся к точке отсчета официальной гидрологии. Она стала быстро развиваться во всем мире. Полное рассмотрение ее истории не входит в нашу задачу. История океанологических исследований в мире и в России красочно описана в целом ряде книг Д. Я. Фашука, в том числе в (Фашук, 2002). Проследим лишь основные этапы географического направления в изучении гидрологии суши, в котором значительное внимание уделено антропогенной гидрологии, в основном в нашей стране. Со времени появления книги П. Перро можно выделить пять этапов развития географического направления.

Первый этап можно ориентировочно датировать периодом со второй половины XVII века до начала XIX века, когда массовое развитие получила гидрометрическая сеть. Трудami Перро, Мариотта, Галлея и других ученых были заложены научные основы понимания круговорота воды (гидрологического цикла), подкрепленные первыми экспериментальными исследованиями. В нашей стране в 1715 г. был устроен первый водомерный пост на р. Неве у Петропавловской крепости. В начале XVIII века был составлен целый ряд проектов по судоходному соединению отдельных рек, в том числе Волги и Дона, проводились изыскания по строительству ряда водных систем, в том числе Тихвинской, Вышневолоцкой. Во второй половине XVIII века был осуществлен ряд экспедиций по сбору данных о водных объектах России.

В 1798 г. учреждается департамент водных коммуникаций, организующий планомерное обследование водных путей.

Второй этап может быть датирован периодом с начала XIX века до начала XX столетия. Для него характерно массовое появление относительно длительных и надежных регулярных гидрометеорологических наблюдений. В начале XIX века организуются регулярные наблюдения на основных реках европейской части России. На Волге у Нижнего Новгорода они начаты в 1820 г., на Днепре у Киева – в 1839 г. Появляются первые гидрологические карты.

Повышается внимание к гидрологической роли отдельных факторов; в гидрологии формируется «антропогенная» ветвь географического направления. Ее возникновению способствовали появление доброкачественной гидрологической информации и резкое усиление масштабов и интенсивности воздействия на природу, в том числе на воды, отраженное в работах Г. Марша (США), Е. Бельграна (Франция), Г. Векса (Австрия), наших отечественных исследователей В. В. Докучаева, А. И. Измаильского, А. И. Воейкова и др. Многие из них не были гидрологами, но очень верно подметили суть происходящих гидрологических изменений.

Конец периода ознаменовался появлением имевшего ключевое значение для углубления представлений о круговороте воды в природе основного воднобалансового уравнения, связывающего осадки со стоком и испарением, а также теоретического обоснования зависимости речного стока от осадков, выполненного нашим соотечественником Э. М. Ольдекопом.

С завершением Первой мировой войны начался **третий этап** развития гидрологии географического направления. Восстановление хозяйства и новое строительство, в том числе водохозяйственное и гидротехническое, прерванные во многих странах экономической депрессией конца 1920-х – начала 1930-х годов, потребовали расширения и углубления гидрологических знаний, гидрологической оценки обширных территорий, недостаточно освещенных данными непосредственных наблюдений. В нашей стране мощный толчок гидрологическим исследованиям был дан организацией в 1919 г. в Петрограде Государственного гидрологического

института (ГГИ), на который были возложены задачи руководства всеми водными исследованиями в нашей стране и проведением первых двух гидрологических съездов (1924 и 1928 г.).

В Ленинграде, в первую очередь в ГГИ и университете, под руководством В. Г. Глушкова, одного из основателей ГГИ, формируется мощная географо-гидрологическая школа, принципиальные позиции которой нашли яркое выражение в идее географо-гидрологического метода, особое внимание уделявшего генетическим, ландшафтным подходам. В числе крупных достижений географического направления в гидрологии в начальный период третьего этапа – первая карта стока европейской части страны Д. И. Кочерина, карта стока Европы Б. Д. Зайкова, классификация рек СССР и мира, выполненная М. И. Львовичем, и, конечно, теоретические разработки о единстве вод В. И. Вернадского. В дальнейшем образовательные, научные и проектные гидрологические организации широко распространились по всей стране.

Естественный ход развития событий в СССР прервали политические репрессии 1930-х годов, в процессе которых были арестованы и вскоре погибли В. Г. Глушков и ряд ведущих сотрудников ГГИ, а также других организаций страны. Другим ударом для гидрологии стала Вторая мировая война. Вместе с тем в военные годы гидрологами, мобилизованными в состав Красной армии, был выполнен огромный объем работы специфического, в основном прогнозного характера, по обеспечению запросов действующей армии и тыла. В условиях острой нехватки информации особенно актуальным оказалось использование географо-гидрологических подходов, общих сведений по гидрографии.

В 1957 г. после почти 30-летнего перерыва состоялся III Всесоюзный гидрологический съезд, на котором одним из центральных был вопрос о гидрологической оценке хозяйственной деятельности человека, в том числе создания водохранилищ, проведения агротехнических и лесомелиоративных мероприятий. В ходе дискуссии на съезде был критически рассмотрен ряд работ, выполненных по обоснованию планов преобразования природы.

Границей третьего и **четвертого этапов** в развитии географического направления в гидрологии можно считать 1950–1960-е

годы. Она обусловлена началом научно-технической революции и резким усилением антропогенной нагрузки на воды, причем не только и не столько в отношении воздействия на количество воды, сколько на ее качество, приводя к загрязнению рек и водоемов.

Четвертый этап, который длился до начала 1990 годов, можно считать временем наибольшего взлета гидрологии вообще и ее географической ветви, в том числе ее интереса к глобальным проблемам. Отечественная гидрология вышла на ведущие позиции в мире. Именно в этот период опубликованы такие крупнейшие гидрологические обобщения, как «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974) с сопутствующим Атласом мировых водных ресурсов, монографии Г. П. Калинина «Проблемы глобальной гидрологии» (1968), М. И. Львовича «Мировые водные ресурсы и их будущее» (1974).

Все большее внимание уделяется комплексу вопросов, связанных с взаимодействием вод с другими элементами среды, с деятельностью человека. Существенный импульс работам подобного плана был дан рассмотрением проектов межзональной переброски речного стока. Гидрологические и экологические последствия этих проектов стали объектом пристального внимания и дискуссии на VII съезде Географического общества СССР (Фрунзе, 1980) и V Всесоюзном гидрологическом съезде (Ленинград, 1986).

Начало **пятого, современного, этапа** можно датировать рубежом 1980–1990-х годов, когда географическое направление в гидрологии стало особенно актуальным в силу следующих обстоятельств.

1. Резкое обострение экологической, в том числе гидроэкологической, обстановки во всем мире потребовало новых, нетрадиционных подходов, базирующихся на идеях теснейшей взаимосвязи всех элементов окружающей среды и деятельности человека, изыскания путей решения водных и других проблем не покорением природы, а сотрудничеством с ней.
2. Существенное и подчас кардинальное антропогенно-обусловленное изменение водного режима и качества вод сле-

лало неоднородными многие гидрологические ряды и резко сузило возможности статистических методов их исследования, долгое время превалировавших в гидрологии.

3. Сокращение в связи с распадом СССР гидрометрической сети (на территории России примерно на 1/3 – с почти 4,5 тыс. до несколько более 3 тыс.). Трудный доступ к имеющейся информации, которая стала весьма дорогостоящей.

Ситуацию, сложившуюся в России и сопредельных государствах, охарактеризовал VI Всероссийский гидрологический съезд, состоявшийся осенью 2004 г. На нем было констатировано трудное положение гидрологии. Вместе с тем было подчеркнуто, что российская гидрология сохранила основной научный и производственный потенциал. Это относится и к географическому направлению, расширяется его тематика. В частности, можно выделить следующие направления: 1) дальнейшее углубление представлений о формировании водного баланса и водных ресурсов и оценка их современных изменений под влиянием климата и хозяйственной деятельности; 2) прогнозирование изменений водного баланса и стока в результате возможных изменений климата, в том числе на основе моделирования; 3) гидроэкологические аспекты; 4) экстремальные гидрологические ситуации; 5) взаимодействие вод с другими элементами окружающей среды. Особенно актуальным стало гидрологическое обоснование устойчивого, экологически безопасного развития общества.

За прошедшие после VI съезда годы многое уже сделано, что было отмечено на VII гидрологическом съезде (Санкт-Петербург, 2013 г.). Особенно отметим изучение, физико-математическое моделирование гидрологических процессов, обусловленных произошедшими и ожидаемыми изменениями климата. В числе последних публикаций в этой области, в которых дан и обзор работ по теме (Фролова и др., 2022, Гельфан и др., 2022).

Представляет интерес перечень нерешенных проблем гидрологии по результатам пленарного голосования 14 апреля 2018 г. в ходе Конгресса Европейского геофизического союза. В числе наиболее актуальных: как геоморфологические процессы взаимодействуют с наводнениями и засухами; что является причиной возникновения многоводных и маловодных периодов; меняются

ли характеристики экстремальных событий и почему это происходит; каково влияние изменений характеристик подстилающей поверхности или землепользования на формирование наводнений и засух в речном бассейне и ниже по течению; почему некоторые водосборы более чувствительны к этим изменениям; как модифицировать гидрологические модели для расчета характеристик в измененных условиях формирования речного стока; можно ли определить критические точки гидрологических систем в условиях изменений климата и/или антропогенной нагрузки; действительно ли гидрологический цикл ускоряется/замедляется в условиях глобального потепления; почему большая часть грунтового стока идет по макропорам и каковы последствия этого; в чем причина и изменчивости связей между склоновым и речным стоком; как мы можем увеличить точность измерений подповерхностных свойств водосбора, состояний и потоков на разных масштабах в пространстве и времени.

Глава 3.

УДИВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Данная глава содержит результаты исследований в основном в области гидрофизики и гидрохимии. Они представлены в работах (Девис, Дэй, 1964; Лосев, 1964; Михайлов, Добролюбов, 2017; Мишон 1996; Широкова, Фролова, 2012; и др.). Начнем с того, что вода – единственное вещество на планете Земля, которое в больших количествах в естественном состоянии существует во всех трех агрегатных состояниях – жидком, твердом и газообразном. Одно из удивительных свойств жидкой воды – особенности ее **теплоемкости**. Напомним, что теплоемкость – количество тепла, необходимое для повышения температуры одного грамма вещества на 1 градус. Теплоемкость воды является эталоном для измерения теплоемкости других веществ. В качестве такого эталона используется *калория*, которая представляет собой количество тепла, необходимое для нагревания 1 г воды с 14,5 до 15,5°C. За исключением водорода и жидкого аммиака, теплоемкость воды в 5–30 раз выше, чем у всех остальных веществ на Земле. Вода дольше нагревается и лучше сохраняет тепло. Поэтому вечером, ночью и утром температура воды в водоеме выше, чем температура воздуха, а днем ниже. Соприкасаясь с водной поверхностью, соответственно нагревается и охлаждается воздух над акваторией. При этом теплый воздух имеет меньшую плотность, чем более холодный. Чем больше акватория и суша, тем резче контрасты между температурой воды и воздуха над акваторией и температурой воздуха над сушей. Этим объясняется и происхождение бризов, то есть ветров с суточной периодичностью на берегах морей и крупных озер. Дневной бриз дует с водоема на нагретое побережье, перемещая воздушную массу в сторону меньшего атмосферного давления, а ночной – с охлажденного побережья на море или озеро. На морских побережьях климат более умеренный, чем на удалении от них. В глобальном же аспекте преобладание на Земле водных поверхностей оказывает умеряющее воздействие

на ее климат. Одним из проявлений этого умеряющего воздействия является наличие таких переходных сезонов, как весна и осень, поскольку при наступлении положительных температур в конце зимы для таяния снега и льда требуется тепло, тормозящее отступление холодов, а при наступлении отрицательных температур и замерзании воды, напротив, тепло выделяется, и оно задерживает приход зимы.

Если обратиться к живым организмам, то и непосредственно для них теплоемкость воды имеет чрезвычайно большое значение. Вспомним, что кровь и лимфа, разносящие питательные вещества по организму человека, соответственно на 79 и 96% состоят из воды. Даже при больших перепадах температуры воздуха в окружающей среде кровь и лимфа сохраняют температуру тела здорового человека стабильной.

Другая важная особенность теплоемкости воды, жизненно важная для человека и теплокровных млекопитающих, заключается в том, что при нагревании от 0°C до 35–37°C ее удельное значение постепенно уменьшается, в отличие от других веществ, кроме ртути, и только затем начинает расти. Именно при таких температурах, близких к нормальной температуре тела, обеспечивается состояние гомеостаза, то есть равновесия при минимальных затратах энергии.

Исключительно велики затраты тепла на испарение воды. Они больше, чем у каких-либо других жидкостей. Вода кипит при температуре 100°C, а для того чтобы превратить 1 г воды в пар, необходимо затратить 559 калорий. При этом температура кипящей воды не повышается. Благодаря высокой теплоемкости воды сдерживается интенсивность испарения, и водоемы сохраняются от высыхания, а обитающие в них организмы – от гибели. Напротив, при конденсации воды из водяного пара выделяется такое же количество тепла, которое затрачивается на ее испарение. В чисто житейском плане становится понятным, почему легче переносить сухую и жаркую погоду по сравнению с сырой даже при меньшей температуре воздуха. В жаркую сухую погоду происходит испарение пота и охлаждение за счет этого организма, что затруднительно в насыщенной влагой атмосфере. С другой стороны, конденсация водяного пара на более прохлад-

ной коже человека в сырую жаркую погоду сопровождается выделением тепла. Вода легко проводит тепло, гораздо лучше, чем воздух. Морозы при влажном воздухе переносятся труднее, чем при сухом ввиду того, что организм отдает тепло во влажном воздухе интенсивнее, чем в сухом. Теплопроводность льда в четыре раза больше теплопроводности воды, а вот снега, напротив, примерно в пять раз ниже. Поэтому снег прекрасно защищает почву и корни растений, а также водные массы рек и водоемов от морозов.

Очень велики затраты тепла на таяние льда. Чтобы превратить 1 г льда в жидкость, необходимо затратить 79 калорий. Аналогичное количество тепла выделяется при замерзании воды. Отсюда следует, что если в холодном помещении оставить сосуд с водой, то он будет обогревать это помещение даже при замерзании воды в этом сосуде.

Плотность воды при нагревании или охлаждении также ведет себя отлично от плотности других веществ, у которых при нагревании она непрерывно уменьшается, а при охлаждении возрастает. Плотность же воды растет только при ее охлаждении от 100 до 4°C, точнее, до 3,98°C, когда она достигает максимальной плотности. При дальнейшем же охлаждении плотность воды уменьшается, а ее объем растет. При 0°C замерзшая вода в виде льда примерно на 11% оказывается легче остальной водной массы и всплывает. Это имеет огромное значение для сохранения жизни в реках и водоемах в суровых зимних условиях. Если бы лед был тяжелее воды, он опускался бы на дно и в конечном счете наши реки и водоемы превратились бы в льдохранилища. В действительности же с наступлением холодов поверхностные слои воды охлаждаются, становятся более плотными и опускаются вниз. Их замещают более теплые и менее плотные воды. Так происходит до тех пор, пока вся водная масса не достигнет температуры 3,98°C. Дальнейшее охлаждение идет с поверхности, способствуя тому, что значительная часть водной массы сохраняет положительную температуру около 4°C.

Важно отметить, что замерзание воды происходит скачкообразно, при этом ее плотность резко снижается, а объем воз-

растает. Лед всплывает и вместе со снежным покровом на нем служит дополнительным «одеялом», предохраняющим реки и водоемы от промерзания. Если замерзание воды происходит в замкнутом пространстве, то возникает дополнительное давление, достигающее огромной величины – 2,5 тонн на квадратный сантиметр, разрывающее подчас железные батареи, баки и ведра, не говоря уже о стеклянной посуде. В природе вода, замерзшая в трещинах горных пород, приводит с течением времени к их разрушению.

Температура замерзания воды также ведет себя своеобразно. При росте давления до 2200 ат она не повышается, как у других веществ, а понижается. Такая особенность изменения температуры замерзания спасает жизнь многим обитателям морских глубин даже без учета влияния солености воды. Так, в глубинах Северного Ледовитого океана и морей, омывающих Антарктиду, где давление превышает 400 ат, вода не может замерзнуть даже при температуре минус 3–5°C. При росте давления свыше 2200 ат температура замерзания начинает повышаться и достигает 0°C при 6380 ат и +60°C при 16500 ат. Интересно, что при замерзании воды ее теплоемкость уменьшается почти вдвое.

Как и другие жидкости, вода благодаря свойству **поверхностного натяжения** обладает способностью удерживать на своей поверхности предметы по удельным показателям «тяжелее» себя, например, лезвие бритвы, некоторых насекомых (рис. 3.1). Это свойство, называемое **когезией**, становится возможным благодаря тому, что пограничные с предметом молекулы самоуплотняются, образуя на поверхности пленку поверхностного натяжения. Самая плотная пленка поверхностного натяжения у ртути. Чтобы ее разорвать, надо приложить усилие 500 дин/см. Для воды это усилие в семь раз ниже, но, в свою очередь, примерно в три раза выше, чем у спирта. Вода может удерживать на своей поверхности предметы в восемь раз тяжелее себя. Причем, если такая пленка разрывается медленней, чем передвигающийся по ней предмет, это служит дополнительным объяснением удержания на поверхности воды бегущих довольно крупных насекомых.



Рисунок 3.1. Клопа-водомерку удерживает на поверхности сила поверхностного натяжения, которая больше его веса

Наглядным свидетельством поверхностного натяжения является и форма капель воды, капающей, например, из неплотно закрытого крана (рис. 3.2). Эти капли почти шарообразны. Почти – из-за наружного давления. Если бы его не было, они были бы строго шарообразны из-за необычной способности воды «стягиваться». Капля воды, капающая из крана, стягивается в маленький шарик, поскольку из всех возможных геометрических фигур шар обладает наименьшей поверхностью при данном объеме.

Очень высокое поверхностное натяжение воды способствует эрозии почвы, поскольку каждая выпадающая во время дождя капля воды представляет собой, по существу, микроснаряд, бомбардирующий и разрушающий почву особенно эффективно, если она не покрыта растительностью.

Удивительным свойством воды является и **адгезия** (прилипание) – способность смачивать поверхность твердых тел, а также вопреки силам гравитации подниматься вверх. Молекулы воды не только самоуплотняются на границах с воздухом и стенками

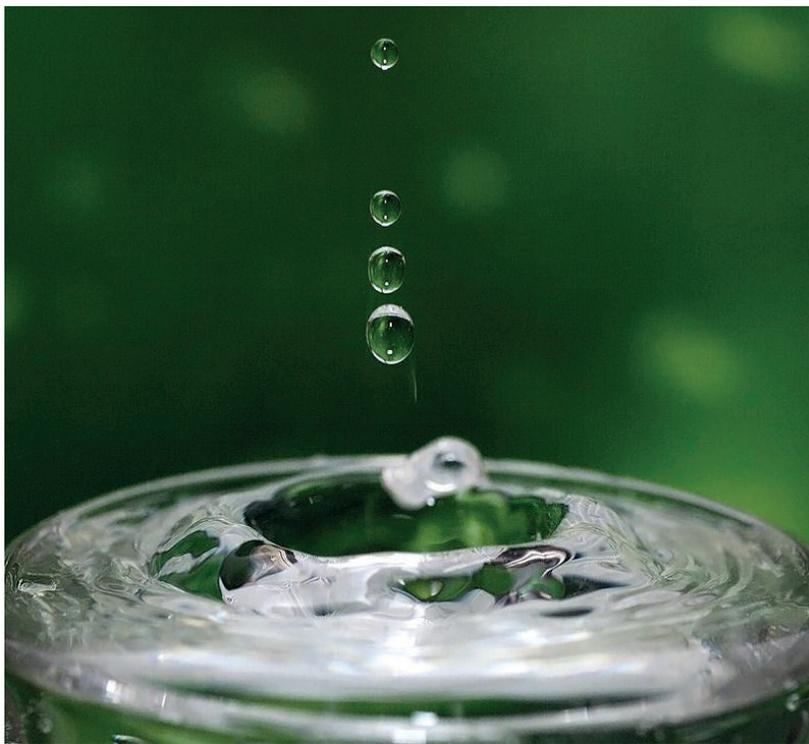


Рисунок 3.2. Падающие капли воды стягиваются в маленькие шарики, поскольку из всех возможных геометрических фигур шар обладает наименьшей поверхностью при данном объеме

не только самоуплотняются на границах с воздухом и стенками сосуда, в котором они находятся, но и прилипают к ним и подтягиваются. Чем уже стенки сосуда или пор (капилляров) в почвах и грунтах, тем выше высота капиллярного поднятия. Так, в песках при температуре воды 15°C высота капиллярного подъема может составить 2 м, а в суглинках и глинах, обладающих более узкими порами – 10–12 м. Это свойство имеет огромное значение в аридных районах, где в течение длительного времени может не быть осадков, а подземные воды залегают на большой глубине. Жизнь растений в этих условиях часто становится возможной лишь благодаря капиллярному поднятию воды из глубоких подземных горизонтов к корнеобитаемому слою почвогрунтов.

С капиллярными явлениями связано и движение соков у растений и крови у человека и животных. Интересно, что вязкость капиллярной воды в 15 раз выше обычной воды, она имеет максимальную плотность при 10°C, не замерзает даже при минус 30°C.

Гораздо быстрее, чем капиллярное поднятие, происходит процесс фильтрации воды в пористые среды, например, в почву. Скорость фильтрации зависит не только от силы тяжести, но в значительной мере от **динамической вязкости** (внутреннего трения) воды, которая очень быстро снижается при повышении температуры, причем намного быстрее, чем, например, у ртути. Так, при повышении температуры от 0 до 100°C динамическая вязкость воды снижается более чем в шесть раз, а ртути лишь в 1,4 раза. При переходе в пар вязкость скачкообразно снижается в 180 раз. Повышение давления при температуре ниже 30°C уменьшает вязкость воды, а при температуре выше 30°C увеличивает ее.

Цвет. Долгое время считалось, что вода не имеет собственного цвета. Действительно, вода в стакане бесцветна. Однако вода в реках и водоемах может меняться в широком спектре в зависимости от состава содержащихся в ней веществ, от характера освещения, рассеивания и поглощения световых лучей. Наиболее сильному рассеиванию в воде подвергаются синие лучи, наименьшему – красные, поэтому чистая вода рек и водоемов обычно имеет синий цвет.

Как следует из вышеизложенного, свойства воды меняются в широком диапазоне в зависимости от получаемого тепла и давления. Активное воздействие на эти свойства оказывает и **магнитное поле**. Магнитная обработка воды в несколько раз ускоряет затвердение бетона при одновременном увеличении его прочности и сокращении расхода цемента. Способность образовывать в намагниченной воде центры кристаллизации солей, содержащихся в воде, широко используется при удалении накипи в различных сосудах.

Акустические свойства. Вода хорошо проводит звуковые сигналы, чему способствуют ее высокая плотность и малая сжимаемость. Скорость распространения звука в воде в 4-5 раз больше скорости распространения звука в воздухе. С ростом температуры воды скорость распространения звука растет. В воде, нагрет-

той до 74°C, звук распространяется со скоростью более 1500 м/с, при дальнейшем повышении температуры скорость снижается.

Радиационные свойства. Если Солнце в зените, вода поглощает 98% солнечной радиации. Но при восходе и заходе Солнца практически вся его энергия отражается водной поверхностью. По сравнению с другими поверхностями вода – один из лучших поглотителей солнечной энергии, а вот снег и лед – ее отражатели. Вода лучше пропускает среднюю часть электромагнитного спектра, чем коротко- и длинноволновую. Это означает, что в воду лучше всего проникают световые лучи, а для инфракрасного излучения вода практически непроницаема.

Одно из самых удивительных и важных свойств воды – быть **универсальным растворителем**. Химический состав природных вод представляет собой сложный комплекс растворенных газов, различных минеральных солей и органических соединений. Его условно делят на шесть групп:

1. Главные ионы (макрокомпоненты) – гидрокарбонаты и карбонаты, сульфаты, хлор, кальций, магний, натрий.
2. Растворенные газы – кислород, азот, сероводород, диоксид углерода и др.
3. Биогенные вещества – соединения азота, фосфора, железа и кремния.
4. Органические вещества – разнообразные органические соединения, относящиеся к органическим кислотам, сложным эфирам, фенолам, гумусовым веществам, азотсодержащим соединениям (белки, аминокислоты, амины) и многим другим.
5. Микроэлементы – включают все металлы, кроме главных ионов, а также некоторые другие компоненты, содержащиеся в водах в небольших количествах (например, радиоактивные элементы).
6. Загрязняющие вещества – пестициды, синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ), детергенты и многие другие.

Вода любой реки или водоема представляет собой, по существу, раствор, содержащий большую часть элементов таблицы Менделеева. Сложность состава природных вод определяется не

только присутствием в них большого числа химических элементов, но и различным содержанием каждого из них. В гидрохимии широко распространено понятие *минерализация или соленость воды*, под которыми понимают общее содержание в воде всех найденных при анализе минеральных веществ. Минерализация или соленость применительно к водам суши чаще всего выражается в мг/кг, г/кг, а также в мг/л, г/л. В океанологии более принято выражать минерализацию или соленость воды в промилле (‰), что соответствует количеству граммов растворенного вещества в килограмме воды. Различают воды: пресные – до 1‰ (г/кг), по другим данным 0,5 г/кг, пригодные для питья, солоноватые (1–25‰), соленые – от 25 до 50‰ и рассолы – свыше 50‰. Границы между этими группами выделены по следующим соображениям: 1‰ – это верхний предел солености питьевой воды, 25‰ (точнее, 24,7‰) – соленость, при которой температура наибольшей плотности и температура замерзания воды совпадают. В морях соленость воды выше 50‰, как правило, не наблюдается. Минерализация природных вод разного типа может изменяться в довольно широких пределах: от 0,01‰ в атмосферных осадках до 600 ‰ в рассолах. Средняя соленость вод Мирового океана 35‰, то есть в килограмме морской воды содержится 35 г различных солей. В обычной пресной воде рек и водоемов содержание солей обычно примерно в 100 раз меньше. Напротив, концентрация солей в ряде соленых водоемов, например, в Мертвом море в Израиле, оз. Баскунчак и Эльтон на юге европейской части России, во много раз больше. Важно, что вода является инертным растворителем, химически практически не меняясь под воздействием большинства из тех веществ, которые она растворяет. Вследствие этого вещества, необходимые для организмов, поступают в сравнительно мало измененном виде. Интересно, что соотношение основных химических элементов в морской воде и крови человека практически одинаково. Это веское доказательство в пользу гипотезы об океаническом происхождении жизни на Земле.

Чем выше концентрация солей, соленость воды, тем больше ее плотность, тем легче в ней плавать. В Мертвом море ввиду большой солености его воды вообще трудно утонуть. С ростом

солености повышается температура кипения воды и понижается температура замерзания. У морской воды температура кипения превышает 100°C, а температура замерзания ниже нуля градусов. Соленую воду опасно пить. Чтобы вывести избыточную соль, организм использует воду из клеток тканей, что ведет к обезвоживанию организма и в конечном счете – к его гибели. В то же время из-за содержания в соленой, особенно морской, воде положительно и отрицательно заряженных ионов она при омовении оказывает благотворное воздействие на организм. Наличие в Мировом океане вод с различной соленостью и плотностью является одним из важных факторов перемешивания вод, образования течений и т. д.

Наиболее часто применяемая классификация природных вод по химическому составу делит их на классы (по преобладающим анионам) и на группы (по преобладающему катиону) (рис. 3.3). Выделяются три класса:

- 1) гидрокарбонатные и карбонатные воды (большая часть маломинерализованных вод рек, озер и водохранилищ и некоторые подземные воды);
- 2) сульфатные воды (промежуточные между карбонатными и хлоридными водами, генетически связаны с различными осадочными породами);
- 3) хлоридные воды (высокоминерализованные воды океанов, морей, соленых озер, часть подземных вод и др.).



Рисунок 3.3. Схема классификации природных вод (Алекин, 1970)

Гидрокарбонатные и карбонатные ионы являются важнейшей составной частью химического состава природных вод. Оба эти иона, будучи производными угольной кислоты, находятся в растворе в динамическом равновесии. Изменение содержания одного из них влечет за собой изменение другого. Именно соотношение форм угольной кислоты определяет в большинстве случаев концентрацию в природных водах водородных ионов и соответственно реакцию воды: кислая, нейтральная, щелочная. Для определения реакции служит водородный показатель рН. В зависимости от его величины природные воды принято делить на семь групп: сильнокислые воды (рН меньше 3), кислые (рН 3–5), слабокислые (рН 5–6,5), нейтральные (рН 6,5–7,5), слабощелочные (рН 7,5–8,5), щелочные (рН 8,5–9,5), сильнощелочные (рН более 9,5).

Значение рН в речных водах обычно варьирует в пределах 6,5–8,5, в атмосферных осадках 4,6–6,1, в болотах 5,5–6,0, в морских водах 7,9–8,3. Концентрация ионов водорода подвержена сезонным колебаниям. Зимой величина рН для большинства речных вод составляет 6,8–7,4, летом 7,4–8,2. Заметим, что нормальная величина показателя рН крови человека примерно 7,5.

Сульфатные ионы доминируют в умеренно минерализованных водах рек и озер и в поверхностных и подземных водах неглубоких горизонтов. В слабоминерализованных водах сульфатные ионы обычно уступают первенство гидрокарбонатным ионам.

Хлоридные ионы обладают высокой миграционной способностью, растворимость хлоридных солей очень высокая. Вследствие этого они присутствуют во всех природных водах от следов до сотен граммов на 1 л рассола. В слабо- и умеренно-минерализованных водах содержание хлоридов незначительно. Доминирующее значение они приобретают в водах повышенной минерализации и рассолах.

Каждый класс подразделяется на три основные группы по преобладанию ионов кальция, магния и натрия.

Ионы кальция доминируют в катионном составе слабоминерализованных, особенно пресных вод. Гидрокарбонатно-кальциевые воды имеют широкое распространение в хорошо дре-

нированных местностях. С ростом минерализации содержание кальция быстро уменьшается. Кальций активно участвует в биологических процессах.

Магний по своим химическим свойствам близок к кальцию, но миграция этих элементов протекает по-разному. Биологическая активность магния выражена слабее, чем кальция. Очень редко встречаются воды, где магний доминирует.

Ионы *натрия* по распространенности среди катионов стоят на первом месте. Все соли натрия обладают высокой растворимостью, что обуславливает его высокие миграционные свойства. В водах низкой минерализации содержание натрия невелико, но с повышением минерализации его содержание увеличивается, и уже в водах, имеющих минерализацию несколько граммов на литр, натрий в большинстве случаев становится преобладающим катионом. В морской воде ионы натрия составляют около 84% массы всех катионов. Количество их в рассолах выражается десятками граммов на литр.

Из других ионов выделим ионы *калия*, которые по химическим свойствам и содержанию в земной коре имеют большое сходство с ионами натрия, однако они содержатся в природных водах в очень небольших концентрациях, за исключением атмосферных осадков (вследствие иных условий формирования химического состава вод в атмосфере). Количество калия обычно составляет около 4–10% содержания натрия, с наибольшим процентом в маломинерализованных водах. Слабая миграционная способность калия обусловлена его большой биологической потребностью для живых организмов, в первую очередь растительности.

Остановимся еще на *микроэлементах*. Они содержатся в природных водах обычно в количестве менее 10 мг/л. К их числу относят бром, йод, фтор, литий, стронций, барий, мышьяк, молибден, медь, кобальт, никель, серебро, золото, радиоактивные элементы и др. Список этот непрерывно пополняется. Как их недостаток, так и избыток опасны для здоровья.

При недостатке в питьевых водах фтора наблюдается заболевание зубов – кариес, а при избытке этого элемента другое заболевание – флюороз. Распространение подагры в некоторых

районах Армении связано с высоким содержанием молибдена в воде и почвах.

В центральных районах Русской равнины природные воды, особенно грунтовые, имеют повышенное содержание железа, что также нежелательно для организма человека.

Есть в морской, да и в пресной воде, золото и серебро. Но их концентрация чрезвычайно мала (например, золота – не более 0,1 мг/т, а обычно – 0,005–0,05 мг/т), что делает добычу экономически неэффективной. Вместе с тем существуют реальные способы увеличить их содержание в воде. Пример – подготовка «серебряной» воды.

Лечебными свойствами обладают **минеральные воды**. Это обычно подземные воды, характеризующиеся повышенным содержанием некоторых микроэлементов и биологически активных компонентов (углекислого газа, сероводорода, мышьяка, радона и др.), часто обладающие повышенными температурой и радиоактивностью при минерализации 1‰.

По минерализации различают: слабоминерализованные минеральные воды (1–2‰), малой (2–5‰), средней (5–15‰), высокой (15–30‰) минерализации, рассольные (35–150‰) и крепкорассольные (150‰ и более) минеральные воды.

По ионному составу минеральные воды делятся на хлоридные (соли соляной кислоты), гидрокарбонатные (кислые соли угольной кислоты), сульфатные (средние соли серной кислоты), натриевые, кальциевые, магниевые и др.

По газовому составу и специфическим элементам различают:

- Углекислые. Содержание в природной минеральной воде растворенного углекислого газа более 0,75 г/л.
- Сульфидные (сероводородные). Сероводород присутствует в растворенном виде главным образом в термальных источниках. Полезность внутреннего применения этой воды сомнительна, так как сероводород раздражающе действует на слизистые оболочки и нервную систему.
- Радоновые. Радон – инертный радиоактивный газ без цвета и запаха, продукт распада радия. Его излучение воздействует лишь на верхний слой кожи, однако попадание этого газа в легкие опасно для здоровья. Благодаря тому,

что радон хорошо растворим в воде, он используется для ванн и других процедур.

- Кремниевые, азотные, бромистые, йодистые, железистые, мышьяковистые и др.

Применяются минеральные воды главным образом для санаторно-курортного лечения и как столовая вода.

Использование минеральных вод в лечебно-профилактических целях изучает бальнеология – раздел курортологии. Бальнеолечение – это комплекс процедур с применением различных минеральных вод, главной составляющей которых являются минеральные ванны. Они приобрели особое значение при лечении заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем. Питье минеральной воды – один из методов курортного лечения заболеваний органов пищеварения и нарушения обмена веществ.

В последние десятилетия в атмосферу и гидросферу начали поступать *радиоактивные элементы искусственного происхождения*, образующиеся в результате аварий на атомных объектах, испытаний оружия, а также в составе отходов атомной промышленности и энергетики.

Выпадая с атмосферными осадками на земную поверхность, радиоактивные элементы поступают в реки и водоемы. При фильтрации через почвы и горные породы большая их часть адсорбируется. Многие из радиоактивных элементов, в частности стронций-90, представляют серьезную опасность для организмов. Попадая с водой и пищей в организм человека и животных, он накапливается в костном мозгу, нарушая кроветворные функции.

Но радиоактивные элементы в природных водах – это все-таки пока еще частный случай. Гораздо большую угрозу представляет содержание в водных объектах *загрязняющих веществ*, которые представляют собой отходы хозяйственной деятельности человека, в первую очередь сточные воды, а также ядохимикаты и удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, которые неминуемо затем поступают в водные объекты, вода которых превращается в растворы, крайне опасные для всего живого.

Остановимся несколько подробнее на свойствах воды в твердом состоянии. **Лед и снег** – результат кристаллизации жидкой или парообразной воды при температуре в основном ниже 0°C . Причем минусовая температура образования льда и снега может быть значительно ниже 0°C , если отсутствуют какие-либо твердые частицы, способствующие образованию ледяных кристаллов. При отсутствии ядер кристаллизации жидкая вода может долго находиться в переохлажденном состоянии, даже при минусовой температуре в несколько десятков градусов. Но такое переохлаждение достигается лишь экспериментальным путем. В естественных условиях вода в реках и водоемах обычно переохлаждается лишь до -1°C . В облаках же без наличия ядер кристаллизации возможно охлаждение водяных паров до -30°C и ниже без образования ледяных кристаллов.

В окружающей нас среде существует лишь один вид льда. Но в лабораторных опытах или экспериментальных технических условиях при изменении температуры и давления открыто еще восемь его разновидностей. Все они тяжелее воды. Одну из этих разновидностей можно назвать «горячим льдом». Его плотность при очень большом давлении 1670 кг/м^3 , а плавится он только при чрезвычайно высокой температуре ($+190^{\circ}\text{C}$). Этому льду свойственна необыкновенно большая твердость. Он может образовываться в подшипниках мощных турбин при попадании в них воды и при огромном давлении, которое создается во время их работы. Ввиду своей твердости он может быстро вывести турбины из строя.

На реках и озерах в толще воды и на дне перед ледоставом часто образуется так называемый **внутриводный**, или донный, лед, представляющий собой рыхлую аморфную массу. Его происхождение во многом является загадкой. Во всяком случае, хорошо изучены обстоятельства, при которых образуется внутриводный лед. Это переохлаждение воды ниже 0°C ; наличие ядер кристаллизации, которыми могут быть содержащиеся в воде наносы или другие твердые частицы; интенсивное перемешивание воды, обеспечивающее отвод тепла, образующегося при замерзании воды; наличие открытой водной поверхности, поскольку ледостав, тем более со снегом на нем, препятствует переохлаждению нижележащих слоев воды. Внутриводный лед часто создает

трудности при эксплуатации гидротехнических сооружений, нередко существенно закупоривая живое сечение реки.

Одно из самых интересных свойств льда – его **текучесть** под воздействием силы тяжести собственной массы или длительных нагрузок. При очень низких температурах лед по своим свойствам приближается к твердому телу. Наоборот, с приближением к температуре плавления текучесть льда оказывается в миллион раз выше, чем у горных пород, что способствует движению ледников, тем более что этому благоприятствует тепловое излучение от горных пород, приводящее к плавлению нижней поверхности ледника и образованию на контакте с ложем ледника своеобразной жидкой смазки.

Еще одно интересное свойство льда – **режелация** – его смерзание в результате повторной кристаллизации воды, которая возникает на контактах ледяных кристаллов при повышении давления, вызывающем процесс оплавления. Благодаря режелации происходят такие процессы, как слияние двух или более ледниковых потоков в один, обтекание ледником горных выступов или других препятствий, заплывание трещин в ледниках и т. д.

Еще одна широко известная форма воды в твердом состоянии – **снег**. По существу, снег – это «размельченный лед», поскольку состоит из маленьких льдинок. Форма и размер частичек снега, снежинок зависит от условий их образования, в основном от температуры и степени насыщения воздуха водяными парами. Снежинки могут иметь вид шестиугольных пластинок и звездочек, шестигранных призм и др. (рис. 3.4). При слипании между собой и с каплями воды могут образовываться снежинки неправильной формы, хлопья снега. Иногда снежинки захватывают примеси, содержащиеся в воздухе, которые могут придать им тот или иной цвет. Под воздействием различных факторов выпавший снег претерпевает большие изменения. Так, плотность снега может меняться от $0,01 \text{ г/см}^3$, что характерно для свежевывавшего снега, до $0,7 \text{ г/см}^3$ для слежавшегося снега. Как уже отмечалось, одно из самых важных свойств снега – его плохая теплопроводность, спасающая почву, растения, реки и водоемы от сильных морозов. При этом снежный покров практически не пропускает длинноволновую радиацию,



Рисунок 3.4. Микроскоп позволяет увидеть скрытую красоту снега. Снежинка – это совокупность кристаллов льда, один из самых фантастических примеров самоорганизации материи из простого в сложное. Самое удивительное в снежинках то, что ни одна из них не повторяет другую. (Фото Patricia Rasmussen and Kenneth Libbrecht)

идущую из земных глубин. В то же время снег чрезвычайно эффективный отражатель солнечных лучей. Свежевыпавший снег отражает до 90% солнечной энергии, что в 5–10 раз больше, чем лишенная снега поверхность.

Чем же объясняются необычные свойства воды? Очевидно, в основе этих свойств лежат особенности структуры молекулы воды и ее соединения с другими молекулами.

Со времен французского ученого Лавуазье (конец XVIII века) известно, что молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода и ее формула H_2O . Три атома, составляющих молекулу воды, образуют равнобедренный треугольник, в вершине которого находится атом кислорода, а в углах при основании – атомы водорода. Причем существует гипотеза, что расположение атомов водорода и кислорода в молекуле воды, особенно в талой, близко к так называемой золотой пропорции, что, например, в архитектуре соответствует законам красоты и гармонии. Молекула воды в жидком состоянии крупнее паробразной молекулы, но меньше молекулы льда. Молекула воды имеет два положительных (на атомах водорода) и два отрица-

тельных (на атоме кислорода) полюса зарядов. Четыре полюса зарядов позволяют каждой молекуле воды образовывать четыре водородные связи с соседними молекулами. Обычно эти атомы водорода и кислорода объединяются в группы – кластеры, которые могут содержать от трех до шести одиночных молекул, и действительная формула воды имеет вид между H_6O_3 и H_2O_6 . Устойчивость взаимодействия отдельных молекул воды в кластере обеспечивают водородные связи – результат электростатического взаимодействия между отрицательным зарядом кислорода одной молекулы и частичным положительным зарядом водорода соседней молекулы. Причем водородные связи между молекулами воды значительно слабее, чем связи между атомами кислорода и водорода в самой молекуле. При одних и тех же температуре и давлении молекулы пара, воды и льда находятся в кластерах в подвижном равновесии. Изменение температуры и давления влечет за собой переход молекул собственно воды в молекулы льда, пара и наоборот, определяя, в конечном счете, жидкое, твердое или парообразное состояние воды. Кластерное строение воды объясняет многие ее аномалии, например, плотность и объем воды. При охлаждении одновременно идут два процесса: нормальный – уменьшение объема за счет снижения амплитуды колебания атомов молекул воды и аномальный – увеличение за счет образования больших, менее плотных молекул льда. До температуры $4^{\circ}C$ преобладает первый процесс, а ниже $4^{\circ}C$ – второй. При $4^{\circ}C$ оба процесса уравниваются, и получается максимальная плотность воды. При образовании льда резко возрастает количество ледяных молекул и плотность воды резко снижается. Впрочем, существуют и другие объяснения удивительных свойств воды, отчасти обусловленных изотопным составом природных вод.

В начале 1930-х годов американскими физиками была получена так называемая «тяжелая вода», отличающаяся от обычной большей плотностью. Молекулы тяжелой воды обладают удвоенной относительной атомной массой по сравнению с атомами обычного водорода. Позже была открыта сверхтяжелая вода, атомы водорода которой обладают уже утроенной и даже более относительной массой. Эти атомы водорода, или, как их еще на-

зывают, изотопы получили название соответственно дейтерий и тритий. Известны также семь изотопов кислорода, три из которых встречаются в естественных условиях. Сочетанием изотопов водорода и кислорода теоретически можно получить более 40 молекул воды, а с учетом сверхтяжелых изотопов – более 100, большая часть из которых будет радиоактивна.

Тяжелая вода бесцветна, не имеет ни запаха, ни вкуса, замерзает при температуре $3,8^{\circ}\text{C}$, закипает при $101,4^{\circ}\text{C}$. Температура максимальной плотности $11,6^{\circ}\text{C}$. Характеризуется повышенными по сравнению с обычной водой плотностью и вязкостью. Живыми организмами не усваивается. Тяжелую воду используют в качестве теплоносителя и замедлителя быстрых нейтронов в ядерных реакторах. Она также нашла применение в качестве изотопного индикатора для определения возраста горных пород, воды, коллекционных вин. Содержание тяжелой воды в природных водах незначительно. Еще одной изотопной разновидностью воды является так называемая тяжелоокислородная вода, в которой обыкновенный кислород заменен тяжелыми изотопами. Эта вода также распространена в очень малых количествах.

В природе изотопный состав воды меняется в зависимости от конкретных условий. Так, при испарении вода обогащается «легким водородом». При замерзании в воде снижается количество тяжелого кислорода. В значительной мере поэтому такая вода отличается от той, из которой образовался лед. В итоге талая вода и дождевая вода являются самыми «легкими», а самой «тяжелой» – вода морей и океанов, обогащенная более тяжелыми изотопами кислорода. Вода рек и водоемов на суше занимает промежуточное положение. Изотопный состав вод резко меняется в районах радиоактивного заражения территории.

В настоящее время в гидрологии широкое применение нашли изотопные методы исследования, в которых изотопы, в частности, служат индикаторами движения разных по генетическому происхождению вод, позволяют измерять расходы в реках, определять возраст и качество природных вод.

В целом же можно констатировать, что наука еще далека от раскрытия всех причин аномальных свойств воды, да и сами эти свойства не до конца еще раскрыты.

Глава 4.

СКОЛЬКО ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ

4.1. Гидросфера и ее составляющие

Все воды на Земле объединяются понятием «гидросфера» (от греческих слов *hydro* – вода и *sphaira* – шар). Это одна из четырех сфер нашей Земли. Три другие – литосфера, атмосфера и биосфера – тесно взаимосвязаны между собой и с гидросферой. В состав гидросферы входят Мировой океан, реки, озера, ледники, подземные воды, почвенная влага, пары атмосферы, вода в живых организмах. Все они весьма неравномерно распределены по территории Земного шара. Более подробно об этой неравномерности ниже. Здесь же приведем в основном осредненные данные (табл. 4.1).

Как видно, общий объем гидросферы исчисляется астрономической величиной – почти 1,4 млрд км³, это составляет около 7% всей массы горных пород Земли. Из этой величины подавляющая часть (более 96%) приходится на долю **Мирового океана**, занимающего на Земле 361,9 млн км² или почти 71% поверхности Земли. Средняя глубина Мирового океана – 3711 м, средняя соленость, как уже отмечалось выше, 35‰, или 35 г/л. В составе растворенных солей преобладают хлористые (88,7%), затем следуют сульфатные (10,8%) и карбонатные (0,3%). В значительно меньших количествах присутствуют остальные соли. Интересно, что несмотря на разную соленость, указанное соотношение солей приблизительно одинаково в разных частях Мирового океана. А вот величины солености и особенно глубины широко варьируют в отдельных частях Мирового океана: Северном Ледовитом, Атлантическом, Тихом, Индийском океанах, в 2000 г. Международная гидрографическая организация из их южных районов выделила пятый, Южный океан, и в шести десятках морей. Так, в одном из самых мелководных – Азовском море – средняя глубина составляет всего лишь 7 м, наибольшая – 13 м, а средняя соленость – 12‰. В экваториальных водах соленость морских вод может достигать 40‰, а в Красном море – 41‰. Наибольшая глубина зафиксирована в Марианской впадине, расположенной в Тихом океане, – 10971 м.

Таблица 4.1.

Запасы воды в гидросфере Земли (по Водные..., 2008)

Вид водных ресурсов	Площадь распределения, тыс. км ²	Объем, км ³	Доля мировых запасов, %	
			суммарных водных ресурсов	пресных водных ресурсов
Мировой океан	361300	1338000000	96,4	-
Подземные воды (гравитационные и капиллярные)	134800	23400000	1,7	-
Преимущественно пресные подземные воды	133800	10530000	0,76	28,6
Почвенная влага	133000	40000	0,003	0,11
Ледники и постоянный снежный покров	16277,5	25779011	1,86	70,1
Подземные воды в зоне вечной мерзлоты	21000	300000	0,022	0,82
Запасы воды в озерах:	2058,7	176400	0,013	-
пресные воды	1236,4	91000	0,007	0,25
соленые воды	822,3	85400	0,006	-
Запасы воды в болотах	2682,6	11470	0,0008	0,03
Речные воды	148800	2120	0,0002	0,006
Водохранилища	365	6370	0,0006	0,018
Биологические воды	510000	12900	0,0001	0,003
Вода в атмосфере	510000	12900	0,001	0,04
Суммарные запасы воды	510000	1387723021	100	-
Запасы пресных вод	148800	36769620	2,65	100

Самый крупный из океанов – Тихий (рис. 4.1). Он занимает около половины площади Мирового океана – почти 170 млн км², а по объему (около 700 млн км³) превышает половину. Он самый глубокий – средняя глубина составляет около 4000 м, а наибольшая – около 11 км (упомянутая выше Марианская впадина). Атлантический океан почти в два раза уступает по площади Тихому, занимая около 85 млн км², и более чем в два раза по объему воды (около 310 млн км³). Его средняя глубина – 3736 м, а наибольшая – 8742 м (желоб Пуэрто-Рико). Площадь

Индийского океана – 70,6 млн км², объем близок к величине 264 млн км³, средняя глубина превышает 3900 м, а наибольшая равна 7258 м (Яванский желоб). Самый маленький по площади (15,5 млн км²) и объему (18,75 млн км³) – Северный Ледовитый океан. Он также самый мелководный – средняя глубина примерно 1200 м, а наибольшая – 5528 м (в северо-восточной части Гренландского моря). Площадь нового океана, Южного, – 20,3 млн км². Его территория условно определяется от побережья Антарктиды на север до 60-й параллели южной широты. Средняя глубина составляет 3270 м, а самая глубокая точка – 8264 м в Южно-Сандвичевом желобе. По площади и объему воды (около 72 млн км³) он занимает четвертое место в мире.

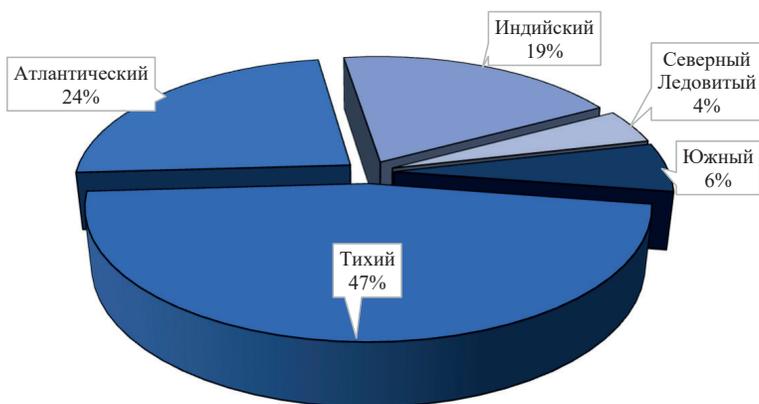


Рисунок 4.1. Площадь океанов

Из отдельных морей самые крупные по площади – Саргассово, которое занимает 6-7 тыс. км² (точные границы его не установлены), и Филиппинское (более 5700 тыс. км²).

Значительный объем воды приходится на **подземные воды**. Но их величина определена весьма приближенно, учитывая сложности такого определения. По некоторым расчетам, объем подземных вод в земной коре и особенно в мантии Земли значительно превышает объем Мирового океана. Но подавляющую часть этих вод составляет вода, химически связанная с минералами, то есть она входит в состав минералов. Поэтому приведен-

ная в табл. 4.1 величина 23,4 млн км³ – это несвязанная гравитационная и капиллярная вода верхней части земной коры. По-видимому, величина подземных вод будет еще уточняться по мере дальнейшего познания литосферы.

Химический состав подземных вод чрезвычайно разнообразен – от нескольких десятков мг в пресных водоемах до более 250 г солей в литре воды в глубинных рассолах. Преобладают хлоридно-натриевые воды. Нередко встречаются натриево-кальциевые и натриево-магниевые. На глубинах свыше 1,5 км встречаются, как правило, соленые воды. В районах распространения многолетней (вечной) мерзлоты подземные воды находятся в виде льда. Их объем оценивается примерно в 300 тыс. км³.

В ледниках и постоянном снежном покрове, занимающих свыше 16 млн км² (11% поверхности суши), сосредоточено более 25 млн км³ воды, или примерно 70% запаса пресной воды на Земле. Причем свыше 90% льда находится в Антарктиде и почти 10% в Гренландии. На остальные ледники, в том числе горные, приходится менее 1%. В России основная масса ледников сосредоточена на островах Новая Земля и Северная Земля. В ледниковые периоды на Земле ледники покрывали около 30% площади суши. Помимо указанного выше количества льдов в многолетнемерзлых грунтах около 35 тыс. км³ морского льда и айсбергов входит в объем Мирового океана, а 1,6 тыс. км³ – в объем паров атмосферы. *Айсберги* достигают длины свыше 150 км, ширины более 70 км и высоты до 100 м, при этом над водой возвышается только 1/7–1/10 их часть. Они представляют собой огромные куски, отколовшиеся от наземных ледников. Иногда айсберги выносятся течениями в низкие широты, в районы оживленного судоходства и, пока не растают, представляют серьезную угрозу для судов. Всем известна морская катастрофа 1912 г., когда крупнейшее в мире судно того времени, «Титаник», столкнулось с айсбергом и затонуло в Северной Атлантике. Погибло более 1500 человек из 2200 находившихся на борту. Правда, сейчас эта опасность снижена в связи с организацией службы слежения за появлением айсбергов и обеспечением судов радиолокационным оборудованием.

Если бы все льды на нашей планете растаяли, то уровень Мирового океана повысился бы более чем на 60 м, а его пло-

щадь возросла бы на 1,5 млн км². Соответственно уменьшилась бы площадь суши.

Объем **озерных вод** составляет более 170 тыс. км³, из которых 23 тыс. км³ содержатся в Байкале, а 78 тыс. км³ – в Каспийском море (при уровне моря -28 м от уровня Мирового океана), которое, как и Аральское море, не имея связи с Мировым океаном, по существу является озером с большими колебаниями уровня воды.

Более 6000 км³ воды, согласно табл. 4.1, содержится в искусственных водоемах – **водохранилищах**. По последним данным их объем составляет около 7000 км³, а площадь – 750000 км² с учетом площади подпертых озер.

В **болотах** аккумулировано воды значительно меньше, чем в озерах, но больше, чем в водохранилищах.

Ресурсов **почвенной влаги**, имеющих огромное значение для растений, – 40 тыс. км³. Оптимальным для растений считается количество влаги, близкое к так называемой наименьшей влагоемкости, то есть максимальному количеству воды, которое удерживается в почве после того, как она освободится от гравитационной воды. Если воды в почве больше, то может произойти заболачивание почвы и растения будут страдать от недостатка воздуха. Если воды меньше наименьшей влагоемкости, то растения могут страдать от недостатка влаги, для ликвидации которого применяется орошение, а на неполивных землях осуществляется комплекс агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий по увеличению ресурсов почвенной влаги за счет задержания поверхностного стока с полей, снегозадержания, а также подавления непродуктивного (с поверхности почвы) испарения.

Атмосферный пар содержится в основном в тропосфере, высота которой в районе экватора достигает 16–18 км, а в полярных районах – 7–10 км.

Речные воды – основа водных ресурсов, то есть запасов воды, которые наиболее реально можно использовать для целей водоснабжения населения и хозяйства. Их всего 2,1 тыс. км³. Но, как и объем водяных паров атмосферы, их единовременный запас многократно в течение года возобновляется в процессе круговорота воды в природе.

Соизмеримой с единовременным объемом речных вод является **вода, содержащаяся в живых организмах (биологическая вода)**. Ее объем оценивается более чем в 1 тыс. км³. В основном это вода, содержащаяся в растениях. Если принять средний вес одного человека на Земле равным 50 кг и учесть, что каждый из нас на 70% состоит из воды, то при семимиллиардном населении Земли объем воды в телах людей составит лишь 0,2–0,3 км³. Но и объем воды в живых организмах многократно возобновляется в процессе круговорота воды на Земле.

Гидросфера Земли возникла, по-видимому, 3,5–4 млрд лет назад и развивалась в тесном взаимодействии с другими сферами в процессе выделения воды в газообразном или жидком состоянии из ее глубин на протяжении всей истории формирования гидросферы. Наряду с поступлением воды из глубин Земли на ее поверхность (ювенильных вод) часть ее в процессе диссипации (рассеивания) водорода в верхних слоях атмосферы уходила в космос. Согласно некоторым расчетам, Земля в среднем теряет таким образом около 0,1 км³ воды в год. Учитывая, что до создания биосферы, тормозящей вынос воды в космос, этот процесс проходил более интенсивно, общий объем потерь за 3,5 млрд лет мог составить 0,5 млрд км³ или около трети современного объема гидросферы.

4.2. Круговорот воды в природе

Круговорот воды, или, как его еще называют, **гидрологический цикл**, связывает между собой все части гидросферы и все другие сферы Земли между собой и с другими сферами Земли. Можно привести аналогию между круговоротом воды и кровеносной системой человека. Именно круговорот воды позволяет считать гидросферу единой, а ее ресурсы возобновляемыми. Движущими силами круговорота воды служат энергия Солнца и сила тяжести. В самом общем виде круговорот воды выглядит следующим образом. Под действием солнечных лучей вода, испаряясь с поверхности океана и суши, пополняет атмосферу влагой. Причем испарение идет не только с водной поверхности, но также с поверхности почвы, осуществляется растениями (этот процесс называется транспирацией). Водяной пар переносится

атмосферными потоками, конденсируется и под влиянием силы тяжести образует атмосферные осадки, выпадающие в виде дождя или снега. Дождевые или снеговые (при снеготаянии) воды частично впитываются в почву, грунты, пополняют запасы подземных вод, а частично стекают в виде поверхностного стока со склонов, собираясь в оврагах и балках в ручьи, по разветвленной сети которых попадают в реки, в озера, а затем в моря и океаны или в замкнутые внутриматериковые понижения, не имеющие связи с Мировым океаном. Но реки питаются также и подземными водами, запасы которых пополняются в результате просачивания вглубь части почвенной влаги. Движение подземных вод происходит гораздо медленнее, чем поверхностных. Они пополняют реки и водоемы даже тогда, когда не выпадают атмосферные осадки. Поэтому относительно крупные реки не пересыхают и в длительные засушливые периоды. В озерах, морях, океанах вода перераспределяется течениями.

Движение воды между отдельными частями гидросферы и компонентами природы происходит непрерывно в течение многих миллионов лет. В результате водные ресурсы являются возобновляемыми, а динамические запасы воды значительно больше статичных, представленных в табл. 4.1.

Но активность водообмена различных частей гидросферы далеко не одинакова. Как считать активность водообмена? Принято такой расчет делать, сопоставляя ежегодное поступление воды в процессе ее круговорота с объемом рассматриваемой части гидросферы. Так, если в Мировой океан, объем которого, согласно табл. 4.1, составляет 1387 млн км³, ежегодно поступает в виде атмосферных осадков и речного стока с суши несколько более 500 тыс. км³ воды и примерно столько же ежегодно расходуется на испарение, то, разделив объем океана на эту величину, получим активность водообмена приблизительно 2500 лет (табл. 4.2). При этом очевидно, что отдельные части Мирового океана могут обновляться как значительно медленней, так и быстрее. Из табл. 4.2 видно, что все подземные воды обновляются в 1,8 раза быстрее, чем в среднем Мировой океан, то есть за 1400 лет. Опять-таки, для отдельных видов подземных вод диапазон периодов обновления очень велик – от многих сотен и даже тысяч лет в глубо-

ких подземных горизонтах до ежегодного в самых верхних слоях почвогрунтов. Медленней всего обновляются полярные ледники и подземный лед зоны вечной мерзлоты. Период их обновления составляет порядка 10 тыс. лет, а вот у почвенных вод – практически год. Быстрее всего обновляются запасы воды в реках, в атмосфере и в живых организмах. В реках на это требуется в среднем 16 суток, в атмосфере – восемь суток, в живых организмах – несколько часов. Благодаря круговороту воды ресурсы речных вод, на использовании которых базируется водоснабжение основных отраслей водного хозяйства, значительно больше их единовременного запаса. Выше были приведены средние многолетние значения, но в отдельные отрезки времени активность водообмена может меняться в широких пределах, и тогда мы говорим о годах и сезонах засушливых или влажных, маловодных или многоводных, об изменении естественных запасов и ресурсов воды. С течением времени все более активно в эти процессы вмешивается человек, нарушая сложившийся баланс приходной и расходной части рассматриваемого объекта гидросферы. Одно из наиболее ярких негативных последствий такого вмешательства – Аральское море, уровень которого быстро снижается в последние полвека.

Таблица 4.2.

Периоды полного возобновления водных ресурсов на Земле
(Водные..., 2008)

Виды вод	Период возобновления
Мировой океан	2500 лет
Подземные воды	1400 лет
Почвенная влага	1 год
Полярные льды и постоянный снежный покров	9700 лет
Горные ледники	1600 лет
Подземный лед зоны вечной мерзлоты	10000 лет
Запасы воды в озерах	17 лет
Воды болот	5 лет
Вода в руслах рек	16 суток
Биологическая вода	Несколько часов
Атмосферная влага	8 суток

Выделяется девять звеньев круговорота воды: атмосферное, океаническое, подземное, речное, почвенное, озерное, ледниковое, биологическое, хозяйственное.

Атмосферное звено круговорота воды. В воздухе вода содержится в основном в виде пара, образующегося в результате испарения с водного зеркала Мирового океана и с поверхности суши. Важно подчеркнуть, что основной вклад в формирование паров атмосферы вносит Мировой океан и значительная их часть переносится ветром на континенты. Более 80% выпадающих в европейской части России осадков – океанического происхождения. Причем над европейской частью России преобладает атмосферный перенос в направлении с запада на восток. Помимо водяных паров на нашу территорию переносятся и загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу промышленными предприятиями стран, расположенных к западу от наших границ. Выпадая затем с осадками, они вносят свою лепту в загрязнение наших водных объектов.

Океаническое звено круговорота воды поставляет большую часть влаги в атмосферу. Этот вклад составляет приблизительно 86%. Лишь 14% парообразной влаги образуется за счет испарения с поверхности суши. Причем знаменательно, что испаряющаяся с поверхности соленого Мирового океана вода – пресная. Таким образом, океан можно считать колоссальной фабрикой пресной воды, без которой трудно представить существование современной жизни на Земле. Специфической чертой круговорота воды в океане является перенос огромных ее масс течениями. При этом транспортируется за год в сотни раз больше воды, чем ее несут все реки Земного шара. Холодные и теплые морские течения вносят существенный вклад в формирование климата Земли, особенно климата морских побережий.

Самое крупное течение нашей планеты – *Антарктическое циркумполярное*, то есть вокруг Антарктиды. Оно прослеживается на расстоянии более 30 тыс. км при ширине 1000 км и глубине от 2 до 4,5 км при средней скорости течения в верхних слоях 3,5 км/ч.

Самое же знаменитое течение Мирового океана – *Гольфстрим*, зарождающееся у берегов Центральной Америки и

вместе со своим продолжением Северо-Атлантическим течением отепляющее Северную Европу.

В последнее время большое внимание уделяется теплomu течению в восточной части Тихого океана, один раз в 7–12 лет подходящему к побережью Перу, замещаая обычное для этого района холодное Перуанское течение. Оно носит название *Эль-Ниньо* (от испан. – младенец, мальчик), так как обычно появляется в преддрождественские дни. Происхождение этого течения до сих пор остается недостаточно изученным. Но оно приводит к резкому потеплению (на 5–9°C) поверхностного слоя воды на огромной площади восточной части Тихого океана. С Эль-Ниньо связывают экстремальные гидроклиматические явления на значительной части Земли. Интересно, что раз в несколько лет теплое течение Эль-Ниньо сменяется холодным течением *Ла-Ниньо*, которое не приводит к таким разрушительным последствиям, как его теплый антипод.

Подземное звено круговорота состоит из воды, поступающей сюда из глубинных слоев Земли или просочившейся вниз с ее поверхности. Вода на больших глубинах, как правило, сильно засолена. Но чем ближе к земной поверхности, тем больше вероятность того, что вода в толще горных пород будет пресной. Хотя и на больших глубинах (до нескольких километров) есть пресная вода. Такова вода многих *артезианских бассейнов*, удовлетворяющих питьевые нужды населения подчас весьма крупных городов. Добывают ее с помощью бурения скважин и откачки воды из них. Из подземных кладовых вода медленно стекает в реки, пополняя их вне зависимости от того, когда прошли дожди – давно или недавно. Таким образом, основная роль подземного звена круговорота воды – регулирование речного стока во времени. Другая важная роль подземного звена – очистка загрязненных поверхностных вод. Проходя через толщу грунтов, эти воды освобождаются от содержащихся в них токсичных веществ. Вот почему подземные воды служат наиболее надежным источником питьевого водоснабжения.

Почвенное звено круговорота воды теснейшим образом связано с атмосферным, от которого оно получает влагу, и с биологическим, которому оно ее отдает. С одной стороны, почва

обладает способностью удерживать воду и постепенно отдавать ее растениям. Даже во время длительной засухи в почвах сохраняется влага, запасенная в предшествующие периоды выпадения осадков. Конечно, запасы почвенной влаги ограничены, но во многих районах мира их достаточно для обеспечения высокой продуктивности растительности и сельскохозяйственных культур. Вместе с водой растения получают из почвы питательные вещества: питаться «всухомятку» они не умеют. С другой стороны, почва является основным «посредником» между атмосферой и реками. От того, сколько она может удержать в себе воды, во многом зависит, какая часть выпавших осадков стечет по поверхности почвы непосредственно в реки и водоемы, какая задержится в почве и будет израсходована растениями на испарение, а какая просочится в подземные горизонты и пойдет на питание рек в засушливые периоды.

Речное звено круговорота воды относится к числу наиболее изученных. Реки, петляя и впадая одна в другую, в конечном счете несут свои воды в моря Мирового океана или в замкнутые водоемы (то есть не связанные с океаном) типа Каспийского или Аральского морей, восполняя их потери на испарение. Процесс речного стока протекает весьма неравномерно во времени и по территории. Например, на реках европейской части России в середине XX века 60–70% речного стока проходило за сравнительно короткий период весеннего половодья, образующегося в результате весеннего снеготаяния (на больших реках это 2-3 месяца, на малых – существенно меньше). В остальное время года, особенно в летнюю и зимнюю межень (маловодные периоды), сток был значительно меньше. В настоящее время в этом регионе в результате главным образом климатических изменений доля весеннего половодья снизилась, а стока межени возросла. Тем не менее неравномерность внутригодового распределения стока сохраняется. Поэтому для обеспечения хозяйства водой приходится прибегать к искусственному регулированию стока с помощью прудов и водохранилищ, накапливающих воду в тот период, когда ее в реке много, и отдающих воду через пропускные сооружения в плотинах в маловодный период. Со временем зарегулированность стока рек мира возрастает.

Озерное звено круговорота воды интересно тем, что испарение с поверхности водоема (акватории) очень велико. Благодаря этому в окрестностях озер смягчается климат. Но такое облагораживающее влияние даже у крупных озер распространяется на небольшое расстояние – в лучшем случае на несколько километров. Достаточно вспомнить пустынные берега таких крупных озер, как Каспийское и Аральское моря. Кроме того, озера, как и почвы, – естественный регулятор речного стока. Реки, в бассейне которых имеются большие озера, меньше всего мелеют в периоды засух. В последние десятилетия во всем мире появилось большое количество искусственных озер – водохранилищ. Некоторые реки представляют собой сейчас цепочку (каскад) больших искусственных водоемов. В их числе Волжско-Камский, Днепровский, Ангаро-Енисейский каскады водохранилищ.

Ледниковое звено. Оно отличается весьма замедленным водообменом. Но бывают и очень быстрые подвижки льда, часто с катастрофическими последствиями, как это случилось с ледником Колка на Северном Кавказе в 2002 г. Ледники при своем таянии больше всего пополняют реки в самый теплый период года – тогда, когда потребность в воде наибольшая. Эту особенность водного режима горных рек, питающихся в основном ледниками, издавна использовал человек в предгорьях Памира, Тянь-Шаня, Кавказа и других горных систем мира.

Биологическое звено. Все живые организмы содержат в себе большое количество воды. Чрезвычайно опасно для организма обезвоживание. Растения получают воду из почвы, а животные – либо поедая растения, либо утоляя жажду водой из рек и водоемов. Особенно важна роль воды в процессе фотосинтеза – создания зелеными растениями сложных органических веществ с помощью солнечного света. Все богатство жизни на Земле, все продукты питания, которые потребляет человек, создаются растениями из углекислого газа и воды. Биологическое звено круговорота воды тесно связано с атмосферным, в первую очередь, за счет испарения влаги растениями.

Хозяйственное звено круговорота воды. Это звено стало играть существенную роль для большинства районов мира сравнительно недавно – с тех пор как человек начал сильно изменять

природу. Уничтожение лесов, распашка огромных территорий, осушение и орошение земель, создание гигантских водохранилищ и плотин, расходование воды на различные хозяйственные нужды – все это в значительной степени изменило гидрологические процессы на Земле. И хотя хозяйственная деятельность практически не повлияла на общий объем гидросферы, она заметно влияет на отдельные ее части. Сток одних рек уменьшился, других – увеличился, изменилось внутригодовое распределение стока. В результате изъятия воды из рек, водоемов, подземных слоев во многих районах мира возросло испарение, потому что именно на испарение расходуется значительная часть воды, изымаемой человеком из источников. Часть потребляемой человеком воды входит в состав производимой продукции, уходит в глубокие подземные горизонты. Вода, надолго выпадающая из активного круговорота в результате хозяйственной деятельности человека, называется «безвозвратным расходом». Термин «безвозвратный расход», конечно, достаточно условен, так как эта вода не исключается полностью из мирового круговорота, но ее возвращение в него может произойти с большой задержкой во времени и на совершенно другой территории. В орошаемом земледелии на безвозвратное изъятие расходуется бóльшая часть забранной из источников воды. Большинство других отраслей хозяйства расходует безвозвратно сравнительно немного воды – обычно менее 15%. Остальная вода после использования сбрасывается в реки и водоемы в виде так называемых сточных вод. Эти воды, как правило, загрязнены, так же, как и часто сток с освоенных человеком земель (диффузное загрязнение), и приводят в негодность во много раз больший объем чистой воды. Именно угроза загрязнения природных вод представляет сейчас главную опасность, гораздо большую, чем угроза физической нехватки воды. Но влияние хозяйственной деятельности на природные воды заслуживает отдельного разговора.

4.3. Водный баланс

Под водным балансом понимается количественное выражение круговорота воды (гидрологического цикла) и его звеньев. Основное уравнение водного баланса выглядит следующим образом:

$$O=C+I, \quad (4.1)$$

где O – атмосферные осадки, C – сток, I – испарение.

Это уравнение соответствует средним многолетним условиям рассматриваемой территории за год, будь то Земной шар в целом или отдельный речной бассейн, когда вся выпавшая в виде осадков вода расходуется на сток с территории и испарение. Но если брать более короткие периоды времени, например, один конкретный год или сезон, то указанное уравнение следует дополнить еще одним членом, и оно будет выглядеть как

$$O=C+I\pm\Delta B, \quad (4.2)$$

где ΔB – изменение влагозапасов.

Во влажные годы и сезоны не все выпавшие осадки расходуются на сток и испарение, часть из них в увлажненные годы и сезоны идет на увеличение запасов почвенной влаги, подземных вод. Эти запасы расходуются на сток и испарение в засушливые годы и сезоны. Тем самым происходит естественное регулирование стока и испарения во времени. Если брать отдельную территорию, то очень часто атмосферные осадки не являются единственным источником приходной части водного баланса. Она может кардинально возрасти за счет поступления вод из глубоких подземных горизонтов и особенно речных вод, сформировавшихся на других территориях. Яркий пример – Астраханская область, расположенная в полупустыне. Осадков здесь выпадает очень мало. Но к ее границам притекает крупнейшая река Европы Волга, воды которой сформировались далеко за пределами Астраханской области и по объему не идут ни в какое сравнение с местными атмосферными осадками. Такие реки, как Волга, пусть и менее крупные, пересекающие границы многих районов и областей, называют *транзитными*. Без учета их вод местный водный баланс является далеко не полным.

Приходная часть баланса может пополняться и в результате хозяйственной деятельности, например, в результате подачи воды из других рек и водоемов (так называемой переброски стока). Вода может поступать и в неявном виде – в составе сельско-

хозяйственной или промышленной продукции. Да и прибывающие на эту территорию люди и животные несут в себе воду, пусть и в ничтожно малых количествах. Эти факторы также меняют и расходную часть водного баланса. Но, как правило, главные изменения в расходную часть баланса вносятся в результате использования воды на различные нужды. И тогда все приходные и расходные статьи водного баланса фиксируются в виде **водохозяйственного баланса**.

Чаще всего в качестве приходной его части учитывается величина речного стока или запасов подземных вод, при этом надо следить, чтобы не было двойного счета, так как часть речного стока формируется подземными водами. Расходную часть водохозяйственного баланса составляют водозабор, использование воды (той части водозабора, которая доходит до потребителя), сброс в реки и водоемы сточных вод, а также безвозвратный расход, который в большинстве случаев приблизительно равен разнице водозабора и сброса сточных вод. Для уменьшения нагрузки на природные источники воды во многих случаях промышленностью применяется оборотное водоснабжение, то есть вода используется многократно. Тем самым снижается водозабор. Если после использования в оборотных системах вода не сбрасывается в реки и водоемы, а вновь используется (часто после очистки), имеет место ее оборот с замкнутым циклом. В этом случае водозабор равен безвозвратному расходу. В случае, когда оборотные системы отсутствуют, говорят о прямоточном водоснабжении, при котором наблюдаются повышенные значения водозабора и сточных вод.

А сейчас вернемся к первому (4.1) и второму (4.2) уравнениям. Многие исследователи считают, что их необходимо дифференцировать на различающиеся по происхождению составляющие. Так, в составе атмосферных осадков выделяются *твердые (снег и лед) и жидкие осадки, осадки, достигшие земной поверхности и задержанные растительностью*. Сток делится на *речной и склоновый* (до попадания воды в гидрографическую сеть), *поверхностный и подземный*. Нередко сток реки называют поверхностным, что генетически неверно, так как в значительной

мере он формируется, особенно в меженные периоды, за счет выклинивающихся в реку подземных вод. Да и поверхностный сток, строго говоря, далеко не всегда отвечает представлениям о стекании воды по какой-либо поверхности, как, например, по асфальту. В природных условиях это часто сток, который имеет место в самом верхнем слое почв и грунтов. Его часто называют *стоком верховодки*. Действительно, даже в разгар половодья вы редко увидите собственно поверхностный сток на большей части территории, занятой лесом. Он обычно проявляется лишь в ложбинах, оврагах и балках, которые дренируют воды из верхних слоев почвогрунтов.

Суммарное испарение часто делят на *транспирацию*, то есть испарение растительным покровом, и *непродуктивное испарение* (с поверхности почвы или воды). Здесь уместно, видимо, сказать о максимально возможном в данных природных условиях и ресурсах тепла испарении – *испаряемости*. Обычно за величину испаряемости принимается испарение с водной поверхности или поверхности суши при неограниченном поступлении воды к этой поверхности. Но все-таки это не совсем равнозначные величины. Испарение, а, следовательно, и испаряемость достигают максимальных значений в тех случаях, когда при неограниченном поступлении воды поверхность почвы занята густой растительностью.

В воднобалансовых расчетах широкое распространение получили и различные коэффициенты, выражающие соотношения между отдельными элементами водного баланса. Из них наиболее часто употребляется *коэффициент стока*, определяемый отношением величины стока к осадкам ($k=C/O$).

4.4. Водные ресурсы

Воды на Земле с одной стороны много, с другой мало. Оценка зависит от того, с каких позиций смотреть. Воды много, если учесть, что более 70% поверхности Земли занято океанами и морями. Воды очень много, когда попадаешь под ливень, плывешь по крупной реке, озеру, водохранилищу, оказываешься свидетелем наводнения. Воды мало или почти нет в пустыне,

в засушливые периоды или даже возле относительно большого водоема в районе крупного города, требующего для своих нужд огромного количества воды, намного превышающего запасы водного объекта. Особая статья – качество воды. Если она засолена, загрязнена, то, каким бы крупным ни был водный объект, водная проблема будет стоять очень остро. Но вообще-то, если не учитывать запросы человека, в природе нет ни избытка, ни дефицита воды. Как поется в известной песне: «У природы нет плохой погоды...». В процессе развития в различных частях Земли сложились экосистемы, идеально приспособленные к имеющим место условиям, в том числе условиям увлажнения. Экосистемам пустынь не нужно больше воды, чем есть. Точно так же влажные тропические леса прекрасно приспособлены к огромному объему воды, который поступает в виде обильных дождей. Поэтому все рассуждения об избытке или дефиците воды имеют антропоцентрический характер, то есть отражают точку зрения людей, их требования к воде, которые подчас весьма существенно отличаются. Поэтому одна из статей участника данного авторского коллектива названа «Такая богатая, бедная водой планета».

Но в целом для характеристики требуемого количества воды существует термин «водные ресурсы». Под водными ресурсами в основном понимаются запасы воды, единовременные или динамические, которые используются или могут быть использованы для водоснабжения населения и хозяйства. По существу, понятие «водные ресурсы» применимо ко всей гидросфере потому, что технические возможности современного человека таковы, что практически любую воду можно подготовить для употребления, но во многих случаях это экономически нерентабельно. Поэтому можно говорить о реальных (доступных) и потенциальных водных ресурсах.

Наиболее реальными водными ресурсами (далее будем называть их просто «водными ресурсами») являются запасы пресной воды в природных водных объектах – реках, озерах и рукотворных водохранилищах и каналах. Значительную ценность для водоснабжения представляют пресные подземные воды. Вода,

сосредоточенная в почвенных горизонтах, болотах, ледниках, имеет весьма ограниченное использование для большинства потребителей. Вместе с тем без ресурсов почвенной влаги невозможно представить существование растительности. Ресурсы засоленных вод, сосредоточенные в морях, соленых озерах и глубоких подземных горизонтах, для целей водоснабжения могут быть использованы в основном после дорогостоящего опреснения и их можно отнести к потенциальным ресурсам, так же как и атмосферную влагу.

В процессе круговорота воды все ее запасы возобновляются, хотя и с разной скоростью. Поэтому водные ресурсы, в отличие от угля, нефти, газа и других полезных ископаемых, относятся к возобновляемым. В отдельных случаях, при больших отборах воды, превышающих возобновление, водные ресурсы могут быть исчерпаны. Кроме того, загрязнение рек и водоемов отходами хозяйственной деятельности приводит к качественному истощению водных ресурсов.

Наиболее быстро за счет атмосферных осадков возобновляется речной сток, величиной которого в большинстве случаев и исчисляют размер водных ресурсов. При единовременном запасе воды в руслах рек 470 км^3 величина годового речного стока РФ превышает 4000 км^3 .

4.5. Где густо, а где пусто

Природные воды распределяются по территории Земли крайне неравномерно. Проиллюстрируем это на примере карты слоя речного стока, то есть величины стока, разделенной на площадь водосбора (рис. 4.2). Как видно, наибольшие значения слоя стока (свыше 1000 мм в год) отмечаются в экваториальной и приэкваториальной частях Южной Америки (именно здесь протекает наиболее многоводная река мира Амазонка), Африки, Юго-Восточной Азии. Отметим и многоводность северо-восточной и северо-западной частей Северной Америки, юго-западной части Южной Америки, северо-западной части Европы. Напротив, сток близок к нулю в пустынях Африки, Центральной Азии и других материков.

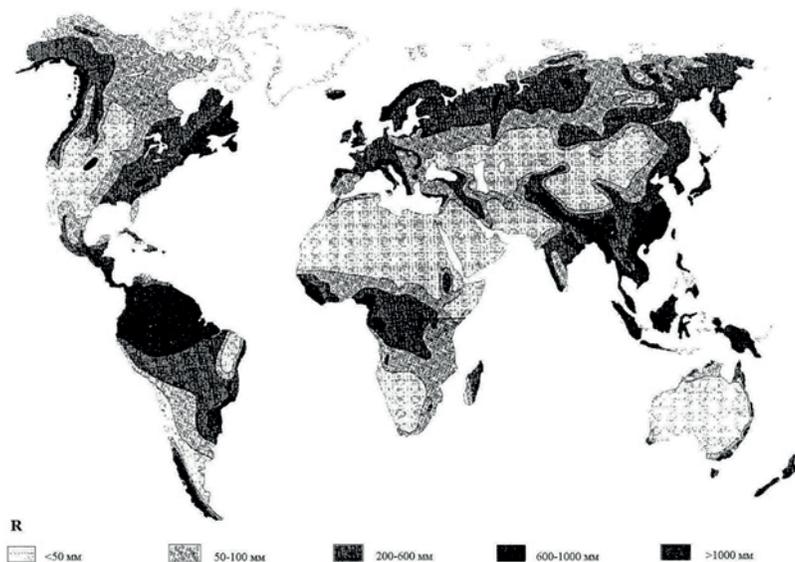


Рисунок 4.2. Слой полного речного стока на территории суши
Земного шара (Мировой..., 1974)

Слой речного стока на территории России несколько превышает 200 мм и колеблется на равнинной территории в основном в пределах от 300–400 мм в северных районах до значений, близких к нулю, в полупустыне Прикаспия. В горах значения стока значительно больше, превышая 2000 мм в горах Кавказа. Распределение стока в европейской части страны представлено на рис. 4.3. На карту не попала Калининградская область, слой стока с территории которой равен $6,9 \text{ л/с} \times \text{км}^2$. Диапазон величин слоя стока в европейской части страны соответствует тому, что имеет место для России в целом. Заметим, что эти карты, как и большинство других гидрологических карт, составлены по данным о стоке средних по площади водосбора рек. В основном это реки, имеющие площадь водосбора от 2000 до 50000 км². Малые реки с площадью водосбора до 2000 км², как правило, не полностью дренируют подземные воды. Данные же по большим рекам не дают возможности оценить зональные особенности формирования стока.

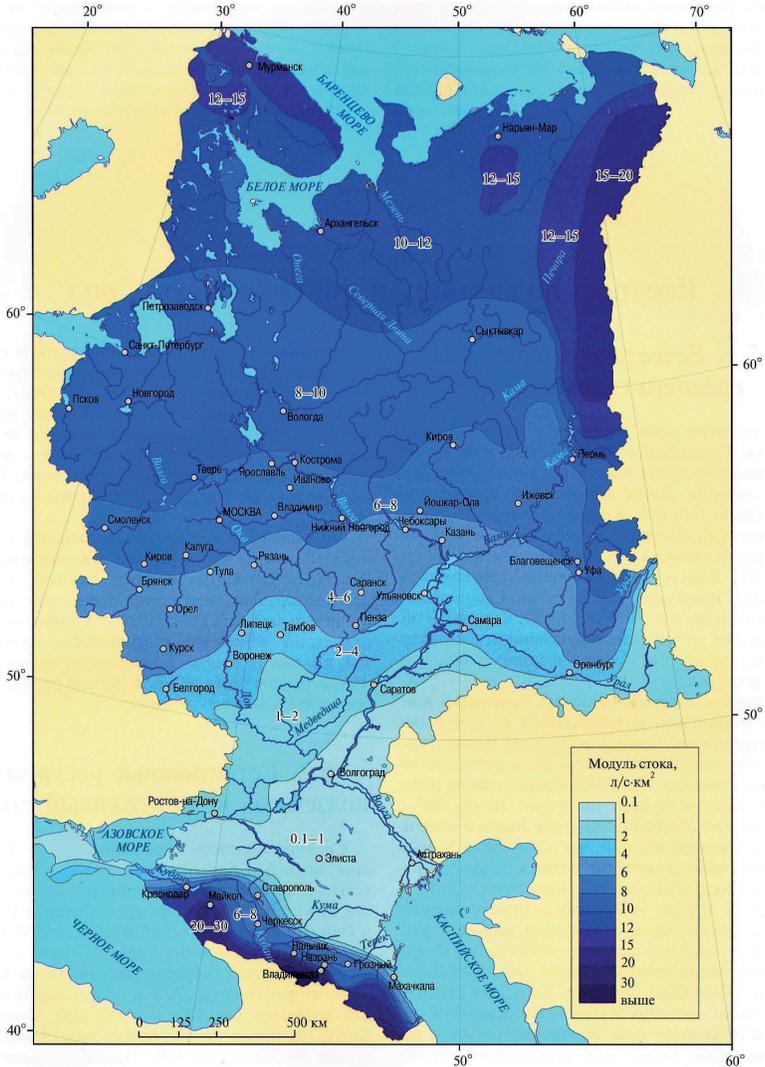


Рисунок 4.3. Речной сток в европейской части России (по (Джамалов и др., 2015))

Определяющую роль в богатстве или бедности района водой играют направление основных влагонесущих атмосферных потоков и рельеф. На наветренных склонах гор выпадают

обильные осадки и образуется большой сток. Подветренные же склоны и расположенные за ними равнины обеднены водой. Но самые крупные реки мира не обязательно приурочены к указанным выше ареалам с наибольшим слоем стока. Многие зависят от площади их водосбора. Вслед за крупнейшей рекой мира Амазонкой вторая по водности река – Конго, хотя ее слой стока (около 400 мм) более чем в 1,5 раза ниже, чем у занимающей третье место Янцзы. Но площадь водосбора у Конго в два с лишним раза больше, чем у Янцзы. Енисей и Лена уступают по слою стока Брахмапутре в несколько раз, но за счет значительно большей площади водосбора имеют больший расход воды. Крупнейшая река Европы Волга (средний годовой расход воды – 7,9 тыс. м³/с, длина – 3530 км, площадь бассейна – 1360 тыс. км²) значительно уступает по водоносности крупнейшим рекам мира.

Размеры озер также зависят от общей водообильности региона и площади водосбора. Но очень большую роль играет и рельеф, размер впадины, часто имеющей тектоническое происхождение.

Величины осадков, стока, испарения – основных элементов водного баланса, как и более подробных их составляющих, для всего мира, отдельных континентов и стран постоянно уточняются. Существуют разные оценки их размеров, впрочем, не меняющие картины принципиально. Одна из последних оценок представлена в табл. 4.3. В ней представлены не только общий сток и две его главные составляющие (поверхностный и подземный сток), но и осадки, испарение и валовое увлажнение территории, характеризующее ресурсы почвенной влаги и определяемое по разнице осадков и поверхностного стока. Как видно, Россия уступает средним мировым показателям по слою осадков, полного речного стока и особенно наиболее ценного подземного стока, а также валового увлажнения территории, хотя по общим ресурсам речного стока (несколько более 4 тыс. км³) уступает только Бразилии. Уступаем по относительным показателям и таким ведущим странам мира, как США и Германия. Так, слой осадков в США составляет 750 мм, в Германии – 725 мм, полного речного стока – 249 и 295 мм соответственно, устойчивого подземного стока – 60 и 145 мм, валового увлажнения территории – 561

и 575 мм. Отсюда видна повышенная актуальность в нашей стране регулирования речного стока и борьбы с засухой ввиду малой величины запасов почвенной влаги.

Вместе с тем в расчете водных ресурсов, приходящихся на одного жителя, положение в России значительно лучше, чем во всем мире и в названных странах. Так, на одного жителя в мире ежегодно приходится около 6 тыс. м³ воды, в США – 9,5 тыс. м³, тогда как в России – более 27 тыс. м³. Правда, это весьма осредненные цифры. Наиболее обжитые районы нашей страны значительно уступают по водообеспеченности общероссийским показателям. Это видно уже из сравнения водного баланса природных зон (табл. 4.4), в данном случае на территории Русской равнины.

Таблица 4.3.

Сравнительная балансовая оценка водных ресурсов
России и мира

Элемент водного баланса	Россия		Мир		Водные ресурсы России в % от всего мира	
	км ³	мм	км ³	мм	по объему	по слою
Осадки	9357	548	116720	865	8,0	63,4
Полный речной сток	4053	237	42780	318	9,5	74,5
Подземный (устойчивый) сток	922	53	13094	97	7,0	54,6
Поверхностный (паводочный) сток	3131	184	29686	221	10,5	83,3
Валовое увлажнение территории	6226	364	87034	644	7,2	56,5
Испарение	5304	311	73940	547	7,2	56,9

Таблица 4.4.

Средний многолетний водный баланс основных природных зон
Русской равнины (мм)

Природная зона	Осадки	Сток	Испарение	Коэффициент стока
Лесная	705	250	455	0,35
Лесостепная	650	110	540	0,17
Степная	500	45	455	0,09

Как видим, наибольшие величины осадков, стока и коэффициента стока наблюдаются в наименее обжитой лесной зоне, наименьшие – в степной. Наименьшее испарение имеет место в лесной и степной зонах, в первом случае – за счет ограниченных ресурсов тепла, во втором – из-за недостатка влаги. В других регионах соотношения элементов водного баланса могут быть еще более разительными.

Если сравнивать удельную водообеспеченность населения федеральных округов России, то оказывается, что наименьшая водообеспеченность по речному стоку (3000 м³/чел.) присуща самому населенному Центральному округу, располагающему скромными водными ресурсами, а наибольшая (свыше 200000 м³/чел.) – наименее населенному Дальневосточному со значительными водными ресурсами. Заметим, что в ряде случаев картина довольно существенно меняется, если учитывать не только местные ресурсы стока, сформировавшиеся в пределах округа, но и транзитные (трансграничные), притекающие с соседних территорий. Но на эти транзитные воды претендуют и другие регионы. На рис. 4.4. представлена доля местного и транзитного стока в федеральных округах России. Следует отметить, что приведенные соотношения могут меняться под влиянием климатических и антропогенных факторов. Как видно на рис. 4.4, транзитный сток является доминирующим в Южном ФО, где невелик объем местного стока, а объем общего стока значителен за счет притока в основном по Волге. Меньше всего (менее 10%) доля транзитного стока в общем стоке в Сибирском и Северо-Кавказском ФО.

Особенно актуален вопрос трансграничного обмена речным стоком между государствами. По нашим расчетам (Коронкевич и др., 2021), приток в Россию из соседних государств значительно превышает отток в них. Приток составляет около 200 км³/год (около 5% общих ресурсов речного стока), а отток – в 3-4 раза меньшую величину. Более 98% оттока с территории России идет в моря.

Россия имеет сухопутную границу или границу, проходящую по рекам и озерам, с 18 государствами, с которыми, за исключением Южной Осетии, осуществляется речной водообмен или только приток, или только отток. Этот водообмен представлен на рис. 4.5. В случае с пограничными реками – Псоу на границе

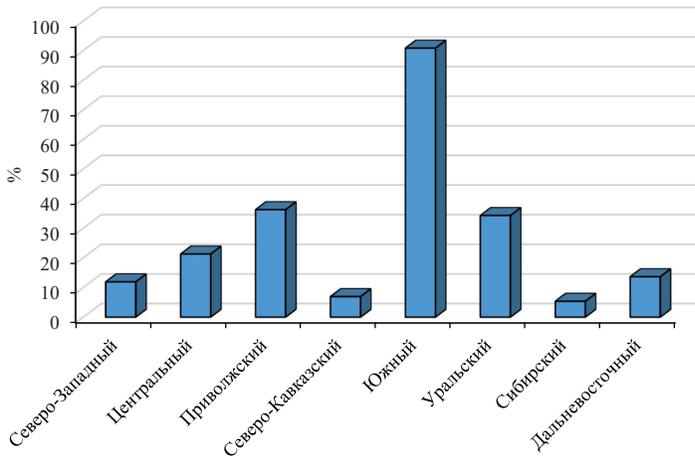


Рисунок 4.4. Доля притока в общем речном стоке в федеральных округах России

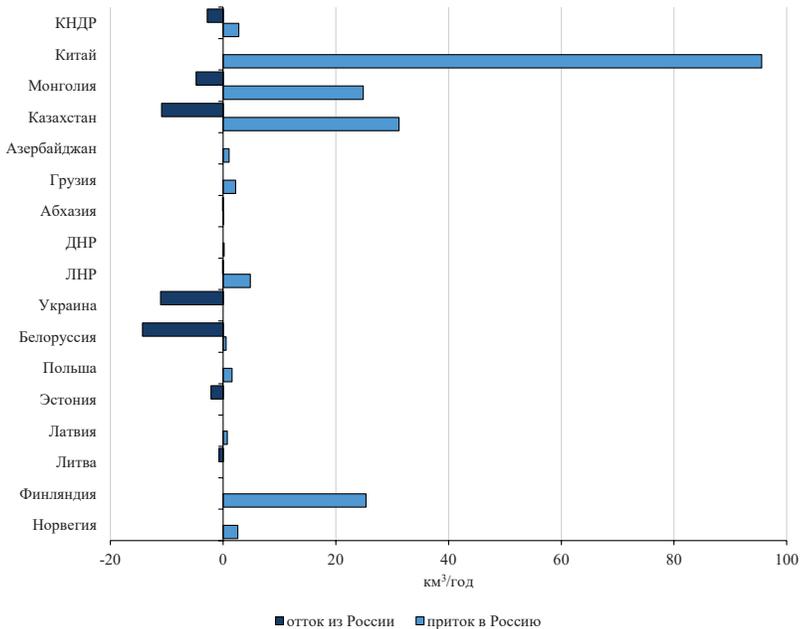


Рисунок 4.5. Речной водообмен России с соседними государствами

с Абхазией, Самур на границе с Азербайджаном и Туманной на границе с КНДР – долевое участие в стоке между странами разделено пополам. Больше всего на территорию России притекает в среднем за год из Финляндии (более 25 км³), Казахстана (свыше 31 км³), Монголии (около 25 км³) и особенно Китая (свыше 95 км³). Наибольший отток осуществляется в Белоруссию (более 14 км³), Казахстан и Украину (около 11 км³).

Водообмен осуществляется не только речным стоком, но и через атмосферу, морскими течениями, метелевым переносом снега, подвижкой ледников и не только между государствами, административными районами, а также через природные границы.

На большей части территории России преобладающим атмосферным потоком является западный. К западным границам России, согласно (Водные..., 2008), приносится ежегодно около 7500 км³ воды, из которых несколько более 2700 км³ расходуется на осадки и около 900 км³ – на речной сток. Таким образом, атмосферный влагоперенос значительно превышает речной водообмен. В то же время атмосферный влагоперенос намного уступает морскому водообмену на границах России. Достаточно сказать, что только приток атлантических вод к западным границам Баренцева моря, то есть относительно недалеко от морской границы России, составляет по разным оценкам от 49 до 74 тыс. км³/год.

На открытых пространствах европейской территории России предельная дальность метелевого переноса снега составляет 1,5-2 км, а в Западной Сибири – 2-3 км (Котляков, 1994).

Если рассматривать водообмен между природными зонами, то, например, в бассейне Волги к границам лесостепной зоны притекает из лесной зоны (включая горные территории) 87% общего речного стока Волги, к границам степной зоны – 96%, а к полупустынным районам – почти 100%.

Существует и антропогенное территориальное перераспределение водных ресурсов. Наиболее известна переброска речного стока из одних районов в другие. Об этом будет сказано ниже. Здесь же рассмотрим перемещение воды в составе производимой продукции, обычно не учитываемое в водохозяйственных расчетах. Между тем она присутствует даже в такой продукции, как нефть, уголь, руды металлов, хотя и в небольшом количестве. Так,

согласно статистическим данным, в составе транспортируемой нефти ее содержание составляет приблизительно 0,5%, угля и железной руды – 16–18%, древесины – 22%, зерна – 14%, а в составе овощей и корнеплодов – до 50 и более процентов. Учитывая размеры добычи нефти, угля, руды, производства древесины, зерна в России в 2016 г., объем воды в этой продукции составил от около 3 млн м³ (нефть) до 70 млн м³ (уголь). Значительное количество воды транспортируется из одних районов в другие непосредственно в виде товарной продукции (обычная натуральная, минеральная, газированная вода, напитки и соки). Возможно, в масштабах всей страны это сравнительно небольшие величины, но для отдельных районов, как производителей той или иной продукции, так и ее потребителей, вода в составе перемещаемой продукции может быть существенной частью местного водного баланса.

4.6. Когда густо, а когда пусто

Помимо неравномерности распределения по территории для природных вод характерна и временная неравномерность. Это хорошо видно из динамики речного стока Волги за более чем 100-летний период наблюдений (рис. 4.6). При среднем стоке около 250 км³/год он колебался от почти 400 км³ в 1926 г. до 150 км³ в 1937 г. Были и отдельные многоводные и маловодные периоды, состоящие из нескольких лет. Отметим маловодья 1930 и 1970 годов, которые послужили основанием для возникновения проектов регулирования стока Волги системой гидроузлов (это было осуществлено) и переброски части стока северных европейских рек в ее бассейн для восполнения ресурсов воды, забираемых на различные хозяйственные нужды (этот проект так и остался только на бумаге).

Неравномерность стока во времени свойственна и другим рекам Земного шара, правда, в разной степени. Многое здесь зависит от климатических условий, от естественной зарегулированности. Например, сток р. Невы относительно мало колеблется от года к году, главным образом из-за того, что в ее бассейне расположены такие мощные регуляторы стока, как Онежское и Ладожское озера. При равных прочих условиях сток более крупной реки зарегулирован лучше, чем малой реки.

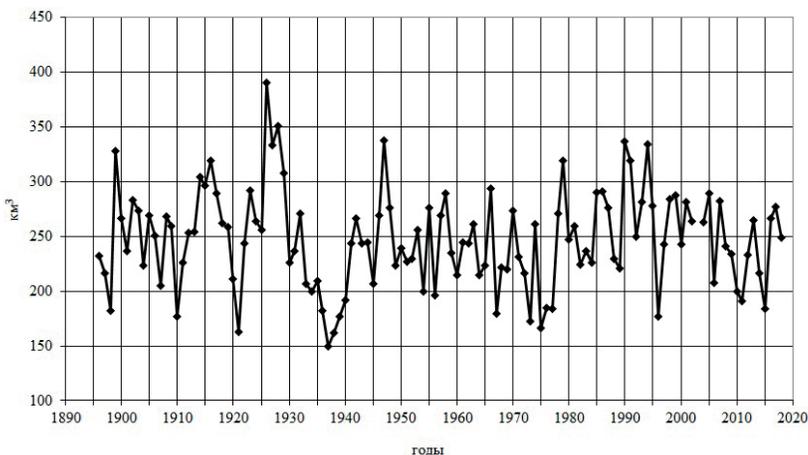
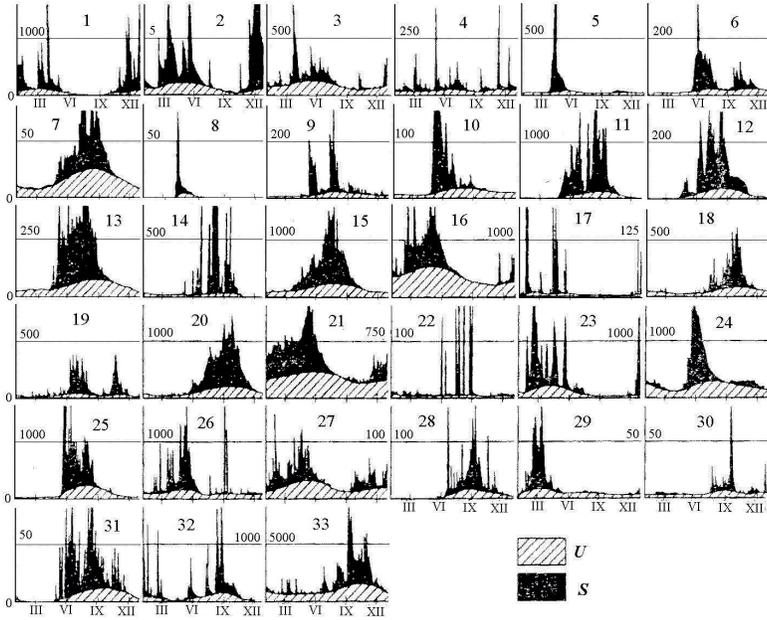


Рисунок 4.6. Динамика стока Волги у Волгограда

Помимо межгодовой существует и сезонная неравномерность стока. Примеры различного внутригодового распределения стока и соотношения при этом его поверхностной и подземной составляющих приведены на рис. 4.7. Для рек нашей страны наиболее характерны высокие расходы воды в период сравнительно короткого весеннего половодья, обусловленного снеготаянием, которое сменяет длительная маловодная межень, изредка прерываемая отдельными дождевыми паводками (см., например, р. Сейм, № 5). Часть рек в меженный период пересыхает или перемерзает. В других районах, например, в экваториальной части Южной Америки, дождевые паводки могут следовать один за другим, обеспечивая высокую водоносность реки почти в течение всего года.

Правда, в последнее время в связи с климатическими изменениями внутригодовое распределение стока рек изменилось. Так, на реках южной части Русской равнины (например, на Дону) резко снизилась доля весеннего половодья и поверхностного стока при росте меженного стока и подземного. Что касается годового стока, то, согласно Л.Н. Фроловой и др. (2022), на преобладающей части водосборов России отмечается его увеличение, особенно заметное в северных районах Сибири и Дальнего Востока.

Большинство модельных расчетов свидетельствует о высокой вероятности продолжения этой тенденции и в будущем (Гельфан и др., 2022).



Рисунки 1 – Эст, 2 – Амон, 3 – Везер, 4 – Раба, 5 – Сейн, 6 – Пиема, 7 – Терас, 8 – Азия, 9 – Нури, 10 – Нидель, 11 – Зен, 12 – Орхон, 13 – Дон, 14 – Карун, 15 – Каш, 16 – Кунар, Африка: 17 – Малафран, 18 – Бик, 19 – Лула, 20 – Ньянши, 21 – Баро.
Северная Америка: 22 – Пиекс, 23 – Магтай, 24 – Вирджин, 25 – Сабин, 26 – Салча.
Южная Америка: 27 – Палатов, 28 – Лаука, 29 – Пао, 30 – Гуарико, 31 – Итапикюри.
Австралия: 32 – Хитер, 33 – Муррей.
Числа на горизонтальных линиях – расход воды в м³/с.
U – подземный сток, S – поверхностный (паводочный) сток.

Рисунок 4.7. Примеры различного внутригодового распределения стока рек мира (Львович, 1974)

Глава 5.

КАК ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ВОДЫ С ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В процессе круговорота вода тесно взаимодействует с окружающей средой. С одной стороны, вода – один из важнейших созидателей этой среды, с другой – является объектом ее воздействия. При этом величина отдельных элементов водного баланса и его структура формируются под влиянием комплекса факторов, природных и антропогенных. На основании анализа гидрологической литературы можно выявить следующие аспекты в рассматриваемой взаимосвязи.

5.1. Вода формирует окружающую среду

Рассмотрим вначале **воду как среду жизни**. Вода – колыбель жизни на Земле. Именно в морской воде образовались первые белковые вещества, послужившие основой простейших организмов, а затем растительного и животного мира, в том числе и на суше. Одним из весомых доказательств «морского» происхождения жизни на Земле является близкий состав крови человека и большинства млекопитающих с составом вод Мирового океана. Вода составляет основную массу большинства живых организмов, как водных, так и обитающих на суше. Только мхи и лишайники содержат мало воды – не более 7%, а вот в водорослях и медузах ее 90–98%. Млекопитающие на 60–70% состоят из воды. В яблоках и грушах – 85%, в картофеле – 80%, огурцах и помидорах – 90-95%. Каждая клетка в организме живых веществ содержит воду, но не просто воду, а живительный раствор различных необходимых организму веществ. В водной среде совершаются основные жизненные процессы, в том числе пищеварение и усвоение пищи.

Тело новорожденного ребенка на 80–85% состоит из воды. С годами содержание воды в организме снижается: в среднем возрасте – до 65–75%, к старости – до 60%. Глаз человека на 99% состоит из воды, мускулы – на 75%, печень – почти на 70%,

скелет содержит 28% воды. В среднем в теле человека содержится в виде плазмы крови 3,5 л воды, лимфы и внеклеточной воды тканей 10,5 л. Остальной объем приходится на внутриклеточную воду. С возрастом происходит обезвоживание клеток, что, по мнению ряда ученых, является одной из причин старения организма.

Для поддержания нормальной жизнедеятельности необходимо пополнять содержание воды в организме, которое колеблется в зависимости от метеорологических условий, характера питания и работы. В среднем человеку необходимо в сутки 2,5–4 л воды. В жаркую погоду в нашем климате при тяжелой физической работе требуется до 10 л воды в сутки, в пустыне гораздо больше. Если человек теряет 6–8% воды по сравнению со своим обычным состоянием, это может привести к полубморочному состоянию, к сморщиванию кожи. Потеря 10% ведет к нарушению деятельности сердца, к отравлению организма. При потере около 15% воды наступает смерть. Без еды человек может прожить около месяца, без воды – не более четырех дней. При средней продолжительности жизни 60 лет человек выпивает 50–60 м³ воды. Но гораздо больше требуется воды для всего комплекса санитарных и хозяйственных нужд, о чем более подробно будет сказано ниже.

То, что сказано о значении воды непосредственно для жизни человека, в значительной мере относится и к животному миру суши, хотя потребность может колебаться в широких пределах.

Роль водной среды для водных и околородных организмов слишком очевидна, чтобы об этом много говорить. Но тяга к воде сохранилась у многих сухопутных животных и у современного человека. Отсюда широкая популярность отдыха на воде, купания, банных процедур и т. д. Эта тяга к воде подкрепляется той пользой для здоровья, которую человек и животные получают от контактов с водой, если, конечно, исключить различного рода чрезвычайные ситуации, связанные с ее загрязнением, наводнениями и т. д.

Выше шла речь о значении воды для жизни человека и животных. Не менее важна она и для растений. Для сухопутных растений особенно важна почвенная влага. Если бы не было

почв, выпавшая с атмосферными осадками влага стремительно скатывалась бы по уклону и использовать ее растениям было бы крайне затруднительно, да и большинства растений просто не было бы. Почва удерживает влагу и дает возможность ее использовать даже тогда, когда нет осадков. Растениям доступна не вся почвенная влага а главным образом гравитационная и капиллярная.

Большинство растений на сельскохозяйственных полях использует почвенную влагу с глубины до 50–100 см, но их корневая система может доставать воду и с глубины до двух и более метров. У сорных растений корневая система может доставать воду с глубины до 5-6 м. Отсюда их большая живучесть по сравнению с культурными растениями. Корни некоторых деревьев достигают гораздо больших глубин. У саксаула они могут доставать воду с глубины 20–30 м. Наибольшая глубина, на которой находили корни, равна 68 м. Это корни акации в Африке. С помощью корней каждое растение действует как насос, доставая воду и содержащиеся в ней питательные вещества из почв и грунтов и испаряя ее. Испарение воды растениями носит название «транспирация». Помимо снабжения растений питательными веществами, процесс испарения выполняет и важную функцию охлаждения растения. Количество испаряемой воды зависит от вида растения, климатических условий, наличия в почве питательных веществ, в первую очередь азота, фосфора, калия. В умеренно влажном климате одно растение кукурузы или подсолнечника расходует от 100 до 200 л воды за вегетационный период. Деревья транспирируют гораздо больше, так, липа – до 40 л в сутки, береза – 70 л, бук – 100 л. Наибольшее количество воды «выпивает» эвкалипт – более 140 тыс. л воды в год. Недаром посадки эвкалиптов используют для осушения территории в теплых странах. В СССР они нашли применение для осушения Колхидской низменности на территории Грузии.

В сельскохозяйственной практике расчет водопотребления обычно ведется не для отдельных растений, а в целом для их сообщества на определенной фиксированной площади, например, на 1 га. В умеренных широтах большинство растительных сообществ испаряет за год, в основном летом, 500–600 мм или

5-6 тыс. м³/га. Они могли бы испарять и больше, поскольку тепловые ресурсы позволяют, но самой влаги не хватает. Для достижения максимально возможного испарения – испаряемости – здесь недостает 100–150 мм или 1000-1500 м³/га воды, которую может дать орошение. Еще более актуально орошение в южных засушливых районах, где недостающее количество воды – оросительная норма – составляет 3–5 тыс. м³/га в степных районах и 10 и более тыс. м³/га в пустыне. Посевы риса требуют до 20 и более тыс. м³/га.

Правда, эти цифры учитывают не только расход воды на транспирацию, но и на испарение с почвы, то есть расход воды, не используемый растениями и называемый непродуктивным испарением. Подавление непродуктивного испарения, которое может составить до половины суммарного испарения, – один из кардинальных путей улучшения водообеспеченности растений и экономии воды. Частично дефицит воды может быть восполнен и агротехническими мероприятиями по снегозадержанию на полях и переводу поверхностного склонового стока в почвенную влагу. Об этом подробнее ниже. Заметим еще, что для растений вреден как недостаток воды, так и ее избыток, ведущий к ухудшению снабжения растений воздухом. В жарких странах «переполив» опасен и по другой причине. Избыточная вода фильтруется до уровня грунтовых вод, их уровень повышается, содержащиеся в них соли поднимаются в корнеобитаемый слой и приводят к губительному для растений засолению почвы.

Рассчитать оптимальное количество воды для растений в часто меняющихся метеорологических условиях – это большое искусство. Средние же размеры оросительных норм для различных культур и климатических поясов содержатся в соответствующих справочниках по ирригации.

5.2. Регулятор климата

Поглощая и распределяя энергию Солнца, вода выполняет чрезвычайно важную роль регулятора земного климата. Водяные пары земной атмосферы частично поглощают солнечную энергию, которая затем воздушными потоками разносится по

поверхности Земли. Особенно важна при этом роль приэкваториальных областей, обладающих наиболее мощным слоем атмосферы и облаков. Задержанное здесь водяными парами тепло с воздушными потоками переносится в области с умеренным или холодным климатом, где водяной пар конденсируется, отдавая задержанное тепло, тем самым восполняя его недостаток в этих районах. Помимо переноса тепла в атмосфере водяной пар защищает нашу планету от космического холода. По некоторым расчетам, при уменьшении содержания водяных паров в атмосфере вдвое средняя температура поверхности Земли понизилась бы более чем на 5°C (с почти 14 до 9°C).

Другой механизм аккумуляции и распределения тепла – теплые и холодные морские и океанические течения. Хорошо известно отепляющее влияние Гольфстрима на климат Северной Европы, включая северо-запад России. Гольфстрим зарождается в Мексиканском заливе, питается водами Северного и Южного экваториальных течений, огибает Флориду и пересекает Атлантический океан с юго-запада на северо-восток. В начале Гольфстрим имеет такие параметры: ширина – 78 км, глубина – 800 м, скорость движения воды – около 9 км/час, температура воды на поверхности – около 30°C. В дальнейшем при движении вдоль берегов Северной Америки его ширина увеличивается до 675 км, а скорость снижается втрое. Соединившись с Антильским течением, Гольфстрим несет воды в 20 с лишним раз больше, чем все реки Земного шара. Благодаря Гольфстриму и его ответвлениям, температура января в районе Мурманска на 15–20°C выше той, которая была бы при его отсутствии, и вода в море у Мурманска не замерзает. В то же время мощное холодное Лабрадорское течение, выносящее в Атлантику айсберги, с одним из которых в 1912 г. столкнулся «Титаник», делает намного более суровым климат полуострова Лабрадор и прилегающих территорий по сравнению с лежащими на той же широте по другую сторону Атлантики Великобританией и Германией.

В последние годы усиленно муссируется гипотеза резкого похолодания в Европе в результате глобального потепления как раз в связи с Гольфстримом и Лабрадорским течением. Согласно ей, глобальное потепление климата приведет к активному

таянию льдов в Северном Ледовитом океане и ледников Гренландии, что усилит холодное Лабрадорское течение, которое будет «отжимать» Гольфстрим к югу, в результате чего он уже не будет отеплять Северную Европу. К счастью, эта гипотеза не подтверждается серьезными научными расчетами.

В последние годы, как уже отмечалось, большое внимание уделяется тихоокеанским течениям Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Многие исследователи напрямую связывают современные климатические изменения именно с динамикой этих течений.

Хорошо известно и умеряющее воздействие на климат рек, озер и водохранилищ. Это воздействие тем больше, чем крупнее водный объект. Не всегда, правда, это комфортно для человека. Выше мы уже говорили о том, что даже при одних и тех же температурах холод при более влажном воздухе близ морских побережий, например, в Санкт-Петербурге, переносится хуже, чем вдали от них, например, в той же Москве. Другой пример негативного влияния на климат и в конечном счете на здоровье населения – незамерзающая зимой полынья в нижних бьефах сибирских водохранилищ. Она образуется за счет сброса через турбины ГЭС относительно теплой воды из водохранилища, при этом резко усиливается влажность воздуха на побережье, что при сибирских морозах переносится людьми не лучшим образом. Но это, конечно, частные случаи, и в целом на берегах водных объектов человек чувствует себя весьма комфортно.

5.3. Вода как глобальный очиститель и опреснитель

Во время пыльных бурь и извержений вулканов в атмосферу ежегодно выбрасывается огромное количество твердых и газообразных частиц. Свою лепту в загрязнение атмосферы вносит и человек. Если бы вся пыль и газы оставались в атмосфере, они бы не пропускали солнечное тепло, что привело бы к резкому похолоданию. Конечно, какая-то часть этих веществ под влиянием силы тяжести выпала бы из атмосферы на поверхность Земли. Но процесс очищения атмосферы многократно ускоряется в результате дождей и снегопадов. Правда, процессу самоочищения все труднее справляться с растущим антропогенным загрязнением атмосферы. Кстати, поступление пыли в атмосферу с хорошо

увлажненной земной поверхности при сильном ветре многократно ниже, чем с высушенной.

Самоочищение имеет место и в водных объектах на суше в результате химических реакций, в процессе которых разлагаются поступающие в них вещества. Особенно это касается органических веществ. Причем, чем выше температура воды, тем интенсивней идет процесс разложения. В северных же районах процессы разложения замедлены. Поэтому они особенно чувствительны к загрязнению, например, сточными водами. В результате процессов самоочищения вода в реке на некотором расстоянии вниз по течению от места попадания загрязняющих веществ становится чище, порой весьма значительно по сравнению с местом выпуска сточных вод. Но, как и в случае с водяными парами атмосферы, возможности самоочищения от загрязняющих веществ антропогенного происхождения ограничены. И при очень большой антропогенной нагрузке процессы самоочищения не срабатывают.

Один из важнейших результатов глобального круговорота воды на Земле – ее опреснение в процессе испарения. Атмосфера при этом обогащается водяным паром, а его конденсация дает осадки – первичный источник пресной воды. Какая-то часть атмосферной влаги, минуя фазу атмосферных осадков, конденсируется в почве и в горных породах, но в результате, как правило, тоже образуются пресная грунтовая вода и почвенная влага. Правда, в процессе испарения соли остаются в воде водных объектов, почвах и грунтах, но регулирование их содержания – задача происходящих в этих средах процессов самоочищения, обычно выполняемая в природных условиях и далеко не всегда в измененных человеком.

5.4. Поставщик кислорода

Кислород поставляется в атмосферу в процессе фотосинтеза, участниками которого являются солнечный свет, вода, углекислый газ воздуха и растения. При этом растения выделяют в воздух кислород, а углерод и водород удерживают, используя их для своего роста. Имеется гипотеза, что основной поставщик кислорода на Земле не фотосинтез, а частицы испаряемой

воды. Молекулы пароводяной воды в самых высоких слоях атмосферы под влиянием ультрафиолетовой солнечной радиации распадаются на атомы водорода и кислорода. При этом более легкий водород образует облака в космосе, окружающие Землю, а кислород медленно опускается вниз, включаясь в круговорот воды. Так это или не так, предстоит еще доказать, но в любом случае вода играет чрезвычайно важную роль в обеспечении Земли кислородом.

5.5. Вода как природный скульптор

В течение многих веков вода, наряду с тектоническими движениями, солнечной радиацией и ветрами, формирует рельеф Земли. Но если тектонические движения создают горные массивы, то вода дождевыми каплями и водными потоками разрушает самые твердые горные породы, размывает горы и возвышенности, смывает почвенный покров, способствует образованию равнин и в то же время в процессе эрозионной деятельности создает речные долины, овраги, ложбины. При этом происходит перемещение огромных объемов рыхлого обломочного материала. В значительной мере этим материалом сложены существующие на Земле равнины. Мощность слоя этого материала может достигать 15–20 км. Только часть продуктов эрозии остается на суше. Более 20 млрд т твердых веществ выносятся реками в Мировой океан, в том числе реками России – 600 млн т, постепенно заполняя его и способствуя современному поднятию его уровня. В растворенном виде в Мировой океан выносятся еще около 3 млрд т различных веществ. Если бы не было тектонических движений, эрозионная деятельность воды и ветра со временем превратила бы Землю в гладкий шар.

5.6. Природные факторы формирования водного баланса

Водный баланс конкретной территории, речного бассейна формируется в процессе круговорота воды под влиянием комплекса естественных и антропогенных факторов. В свою очередь, вода сама является фактором формирования окружающей среды и деятельности человека. Подчас бывает довольно сложно отделить причину от следствия и оценить действительную ги-

дрологическую роль того или иного фактора. Во многом такие оценки носят относительный характер.

Среди факторов, роль которых наиболее очевидна, – **климат**, метеорологические условия и их главные составляющие – осадки и температура воздуха. Заметим при этом, что климат, в свою очередь, формируется процессами, происходящими подчас весьма далеко от конкретного региона, истоки которых следует искать в солнечно-земных, планетарных связях. Но не будем углубляться в эти весьма сложные вопросы. Наиболее образно мысль о гидрологической роли климата еще в конце XIX века была выражена в известном высказывании нашего знаменитого соотечественника А. И. Воейкова: «Реки есть продукт климата». Чем больше величина осадков, тем при прочих равных условиях выше сток. В отношении испарения зависимость более сложная. Вначале с ростом осадков возрастают ресурсы почвенной влаги и испарение увеличивается, но не бесконечно – до максимально возможных значений испаряемости. В дальнейшем испарение остается приблизительно на том же уровне или даже снижается, так как при избыточном увлажнении корни растений могут испытывать недостаток воздуха и интенсивность транспирации снизится, а дальнейшее увеличение осадков практически полностью пойдет на увеличение стока. С увеличением температуры воздуха при равенстве осадков речной сток в общем случае снижается, так как возрастают возможности испарения. Но от этого общего правила есть отступления. Например, в условиях России рост температуры воздуха в период половодья приводит к ускорению процесса снеготаяния и к увеличению стока. Поэтому в гидрологических расчетах в нашей стране широкое применение получили зависимости величины речного стока от величины атмосферных осадков и температуры воздуха не за год, а отдельно за холодный и теплый сезоны.

Климатические характеристики разных регионов существенно отличаются, что делает чрезвычайно сложной задачу предвидения гидрологических последствий возможного изменения климата. Задача усложняется и тем обстоятельством, что с изменением климата меняется и состояние других компонентов окружающей среды, а, следовательно, и факторов, воздействующих на сток

и испарение. В свою очередь, состояние земной поверхности скажется на климате. Общеизвестно, например, влияние водных акваторий и леса на микроклимат соседних территорий.

Но и с учетом этих сложных взаимосвязей значительная, во многом ведущая, роль климата и отдельных метеорологических проявлений в формировании водного баланса территории не вызывает сомнения.

Издавна сложилось мнение, что гидрологические процессы прежде всего связаны с климатом. Изучение этих связей многое дало для понимания особенностей водного режима территории. В гидрологии сложилось направление, получившее название климатологического. Его сторонники основное внимание уделяли климатическим факторам формирования речного стока, нередко пренебрегая ролью других физико-географических факторов или считая их малозначимыми и забывая о том, что знаменитая формулировка А. И. Воейкова «реки – продукт климата» начиналась со слов «при прочих равных условиях».

Эти «прочие условия» регулируют структуру водного баланса и стока. Среди них важная роль принадлежит **почвенному покрову**. В конце XIX столетия даже возникло так называемое почвенное направление в гидрологии. Его сторонники, не отрицая ведущей роли климата, обосновывали большое значение неклиматических факторов, прежде всего почв и растительности, являющихся посредниками между климатом и рекой, в формировании водного режима территории. Основоположниками этого направления в полной мере можно считать наших знаменитых соотечественников – В.В. Докучаева, А.А. Измаильского, А. И. Воейкова, П.А. Костычева.

Гидрологическое значение почвенного покрова в основном определяется его инфильтрационной и водоудерживающей способностью, то есть способностью почвы соответственно впитывать воду и аккумулировать ее. Если инфильтрационные свойства почвы невысоки, ее водопроницаемость незначительна, поверхностный сток велик, в почву попадает мало воды, на испарение может быть израсходовано также небольшое количество воды.

При слабой водоудерживающей способности и неизменной инфильтрации водопроницаемость почвы велика и значительная

масса воды просачивается в глубокие подземные горизонты, откуда она не может испариться. По мере роста водоудерживающей способности почвы все меньшая часть воды просачивается вглубь, все больше ее аккумулируется в почве и в дальнейшем испаряется. При этом интенсивность роста испарения постепенно замедляется из-за усиливающейся связи влаги с почвенными частицами. Накопление воды в почве ухудшает ее инфильтрационные свойства, что служит причиной некоторого увеличения стока.

Указанные закономерности раскрывают характер влияния основных водно-физических свойств почвы на водный баланс, конечно, в самом общем виде. В них не учитывается все многообразие естественных и антропогенных факторов, в зависимости от которых соотношение элементов водного баланса может быть самым различным.

Очень четко проявляется зависимость водопроницаемости от механического состава почвы. Всем известно, как быстро впитывается вода после выпадения осадков на песчаные почвы и как долго застаивается на глинистых. Но возможности хозяйственного воздействия на механический состав почвы невелики. Неизмеримо большие перспективы в этом плане открываются в изменении плотности сложения почвы, ее оструктуренности. Очевидно, чем более пористо, рыхло сложена почва, чем крупнее размер пор (особенно межагрегатных), тем более благоприятные условия создаются для впитывания воды, а, следовательно, для уменьшения поверхностного стока. Так, при уменьшении объемного веса верхнего (30 см) слоя почвы в 1,5 раза (с 1,5 до 1 г/см³) количество впитавшейся в почву воды за 150 мин опыта возрастает в среднем для лесостепной зоны почти в десять раз. А, как показывает опыт, обычные агротехнические приемы обработки почвы изменяют объемный вес пахотного горизонта почти в два раза.

Правда, эти цифры не следует абсолютизировать. Опыты по инфильтрации, на основании которых были получены указанные выше цифры, проводились в конце лета, на сухой почве. Влажность же – один из основных регуляторов впитывания. Водопроницаемость сухой почвы значительно выше, чем сильно ув-

лаженной. Долгое время господствовало мнение, что влажная мерзлая почва совершенно не пропускает воду. Однако последними исследованиями доказано, что водопроницаемость этих почв колеблется в довольно широких пределах в зависимости от влажности почвы и размера пор. Поэтому, если мерзлая почва рыхло сложена, обладает крупными межагрегатными полостями (а это характерно для структурных почв), ее впитывающая способность сравнительно велика.

По мере изменения влажности почвы и ее физических свойств меняется и способ передвижения влаги, и вид испарения. Чем суше и рыхлее почва, тем больше некапиллярных пор, тем выше доля парообразной влаги и диффузного испарения, и, наоборот, чем большее число пор занято водой, чем плотней почва, тем существенней роль капиллярного передвижения и капиллярного испарения. Отсюда и разные средства для сохранения влаги в почве, например, рыхление почвы при ее высокой влажности или уплотнение, прикатывание почвы при небольшой влажности.

Влияние **растительности** на водный баланс проявляется непосредственно, а также через почвенный покров. Растительность – один из важнейших факторов почвообразования. Пожалуй, все физические свойства почвы, за исключением, может быть, механического состава, сформированы при активном участии растительного покрова. Причем, если содержание органического вещества в почве – результат многолетнего воздействия растительности, то такие важные для впитывания и удержания воды в почве показатели, как плотность, структура почвы, формируются сравнительно быстро. Непосредственно растительность оказывает влияние практически на все элементы водного баланса. Растительность задерживает атмосферные осадки и переносимый ветром снег. На сток она влияет, изменяя шероховатость поверхности. Но более существенная роль принадлежит лесной подстилке, образующейся из опавших листьев, хвои и войлока из отмершей травяной растительности, которые обладают большой водоемкостью и выполняют роль регулятора стока. В основном же влияние растительности на водный баланс проявляется через испарение.

Гидрологическая роль растительности хорошо видна при сравнении элементов водного баланса леса и поля (табл. 5.1). Обратим внимание, прежде всего, на кардинальную разницу в структуре стока и испарения. В лесу – явное преобладание почвенного и подземного стока, а в структуре испарения – испарения задержанных растительным покровом осадков и транспирации, в поле – поверхностного стока и испарения с поверхности почвы. Практическое отсутствие в лесу поверхностного стока – следствие особенностей лесных почв, обладающих высокими инфильтрационными свойствами. Переводу поверхностного стока в почвенный и подземный способствует и слабое промерзание почв в лесу из-за того, что снег меньше, чем в поле, сдувается ветром и лучше защищает почвы от промерзания.

Таблица 5.1.

Ориентировочный водный баланс леса и поля, %

Элементы водного баланса	Лес (ельник в возрасте 100 лет)	Луг
Осадки	100	100
Поверхностный сток	5	20
Почвенный и подземный сток	30	15
Полный сток	35	35
Транспирация и испарение задержанных осадков	60	30
Испарение с поверхности почвы	5	35
Суммарное испарение	65	65

Данные табл. 5.1, конечно, не универсальны и в ряде случаев могут подвергнуться весьма существенной корректировке, связанной, в первую очередь, с соотношением полного стока (испарения) в лесу и в поле – вопроса до сих пор дискуссионного в гидрологической науке. В его изучении выделяются три периода. Первый – до конца XIX века, когда на основании главным образом умозрительных заключений считалось, что леса увеличивают и регулируют сток. Второй период приурочен в основном ко времени исследований П. В. Отоцкого и Г. Н. Высоцкого, которые на основании наблюдений за уровнем грунтовых вод пришли к выводу об иссушающем влиянии лесов, то есть о большем

испарении лесом по сравнению с полем. Третий период, начавшийся примерно с тридцатых годов прошлого столетия, характеризовался неоднозначным подходом к гидрологической роли леса. Такой подход характерен и для настоящего времени. Безусловно, он наиболее закономерен. Объективно существуют условия, когда соотношение стока (испарения) лесной и безлесной территории может быть диаметрально противоположным.

Расхождения во взглядах на соотношение стока с лесной и безлесной территории объясняются следующими причинами:

I. Не всегда учитывается степень дренирования подземных вод сравниваемыми реками. Только в случае полного дренирования подземных вод, сформировавшихся в лесных и полевых бассейнах, можно обоснованно говорить об этом соотношении.

II. Недостаточно точно определяется приходная часть водного баланса при том, что некоторые исследователи полагают, что лес увеличивает осадки. Можно выделить пять природных механизмов, которые, как считается, способствуют увеличению приходной части водного баланса леса по сравнению с безлесной территорией:

1. Увеличение шероховатости поверхности по сравнению с полем, особенно на их границе, и связанное с этим усиление турбулентности воздушного потока.
2. Стимулирование местного влагооборота (в случае, когда лес испаряет больше поля).
3. Более благоприятные условия в лесу для выпадения так называемых горизонтальных (в виде росы, изморози, инея) осадков.
4. Перенос снега с открытых пространств к лесным опушкам, лесным полосам.
5. Деревья могут получать воду из более глубоких водоносных горизонтов.

Наименее изучены три первых механизма. Однако вряд ли приходится ожидать в результате их действия существенного превышения приходной части водного баланса крупных лесных массивов и даже более залесенного водосбора исходя из следующих соображений. Наибольшей шероховатостью обладает неоднородная территория, характеризующаяся чередованием лесных

и безлесных участков с практически одинаковой вероятностью выпадения стимулированных осадков на тех и других. Общая высота дополнительного подъема воздушных потоков над лесом невелика в сравнении с обычно встречающимися даже на равнинной территории положительными формами рельефа, являющимися основными перераспределителями осадков. Площадь опушек, на которых происходит основное стимулирование осадков, обычно незначительна в общей площади территории. При ограниченном запасе влаги в воздушной массе увеличение осадков в начале ее прохождения должно привести к их уменьшению на дальнейшем ее пути. Ввиду сравнительно небольших различий в величине испарения в лесу и поле и слабого (во всяком случае, на Русской равнине) участия внутриматериковой составляющей в общем влагообороте усиление местного влагооборота за счет леса не может быть значительным. Горизонтальные осадки представляют собой главным образом форму перераспределения влаги во времени с невысоким гидрологическим эффектом. Четвертый механизм изучен достаточно хорошо, и не вызывает сомнения его значительная роль, особенно в районах с выраженным метелевым переносом снега, в перераспределении приходной части водного баланса в пользу лесных опушек и лесных полос, а также участков с травянистой растительностью или ее остатками за счет участков, полностью лишенных растительного покрова.

Пятый механизм действует в основном лишь в районах недостаточного увлажнения. Основные же массивы лесов располагаются в районах, где влаги обычно достаточно как для лесной, так и травянистой растительности.

III. Главная же причина расхождений во взглядах заключается в том, что нередко не учитывается, что представляют собой лес и поле. А каждое из этих угодий широко варьирует по целому ряду признаков, например, леса по породному составу, возрасту, густоте насаждений, полевые угодья – по типу растительного покрова, длительности вегетационного периода. И те и другие, в конечном счете, – по биологической продуктивности (урожайности сельскохозяйственных культур) – интегральному показателю величины испарения. Остановимся на ее гидрологической роли

подробнее, вначале на примере травянистых сообществ и сельскохозяйственных культур.

Рассматривая данный вопрос, прежде всего отметим, что отсутствие растительного покрова приводит к уменьшению суммарного испарения, тем более существенному, чем ниже увлажненность почвы. Это обстоятельство, широко используемое в сельском хозяйстве засушливых районов путем введения в севооборот чистых паров, объясняется в основном тем, что с помощью корневой системы растения могут испарять влагу из гораздо большей толщи почв и грунтов, чем имеет место при их отсутствии, а также большей испаряющей поверхностью развитого растительного покрова. Отсюда следует и такой важный вывод: чем продолжительней период вегетации, тем при прочих равных условиях выше суммарное испарение. А. М. Алпатьевым (1969) показано и то, что испарение травянистым растительным сообществом не является чисто физическим процессом, а происходит в виде «биологической кривой водопотребления», которая существенно отличается от хода метеорологических элементов. У каждого вида растений и сорта сельскохозяйственных культур своя биологическая кривая водопотребления. Но в целом наименьшее валовое водопотребление растительного сообщества (транспирация плюс непродуктивное испарение) наблюдается при одной и той же напряженности метеорологического поля в начальные и конечные фазы развития растений, а наибольшее – в период формирования репродуктивных органов и максимального прироста биомассы.

При низких и средних урожаях биомассы и оптимальной влагообеспеченности растений большая часть тепла расходуется на нагревание воздуха и почвы. Собственно на испарение остается мало неиспользованного тепла и расходование воды сравнительно невелико, чему способствует и малоразвитая корневая система растений. По мере увеличения прироста биомассы расход солнечной энергии на транспирацию возрастает, меньше остается тепла на нагревание воздуха и почвы, суммарное испарение растет, чему способствует и более развитая корневая система. При высоких урожаях затраты солнечной энергии на испарение достигают максимума, причем в результате образования стойкого

фитоклимата вода расходуется в основном на транспирацию. По мере приближения к максимально возможному испарению рост валового расхода воды на испарение замедляется в значительной мере и потому, что корневая система растений охватывает всю толщу почвы и, наконец, рост прекращается, однако биомасса продолжает увеличиваться за счет других факторов, например, благодаря повышению уровня агротехники.

Таким образом, в условиях оптимального увлажнения не столько количество поданной воды определяет продуктивность биомассы, сколько величина последней определяет размер валового водопотребления. При высоких урожаях биомассы эта связь, по существу, отсутствует, в то время как при низкой и средней биологической продуктивности, обусловленной, в частности, соответствующим уровнем агротехники, она носит почти линейный характер.

При влажности почвы ниже оптимальной испарение не достигает испаряемости и прирост биомассы тем выше, чем больше влагозапасы и больше расходуется влаги. Что касается избыточного увлажнения, то оно ведет к снижению биологической продуктивности и уменьшению испарения.

Таким образом, при неизменной продолжительности вегетационного периода большим урожаям, как правило, соответствует большее суммарное испарение, хотя бывают и отдельные исключения из этого правила, объясняемые в основном недостатком продуктивных влагозапасов в отдельные периоды вегетации. Аналогичный травянистой растительности вид имеет биологическая кривая и для многолетних растений, у которых четко вырисовывается и изменение интенсивности водопотребления по годам в процессе сукцессии. Продуктивность леса, а вместе с ней и испарение, также варьирует в широких пределах в зависимости от полноты, возраста, типа, местоположения леса. Наибольшим испарением отличаются древостои в возрасте в среднем 40–60 лет. У более молодых и более старых древостоев суммарное испарение существенно снижается, что наряду со значительной изменчивостью испарения с поля создает предпосылки для широкого диапазона соотношений суммарного испарения с леса и поля. Вместе с тем отметим, что

по мере возрастания дефицита влажности воздуха испарение с леса все же более вероятно будет выше, чем с поля, из-за более глубоко развитой корневой системы лесной растительности и большей разницы в продолжительности вегетационного периода (особенно при сравнении леса и сельскохозяйственных полей).

Животному миру в гидрологии обычно отводится незаслуженно скромное место, хотя во многих случаях его участие в круговороте воды весьма заметно.

Животный мир оказывает влияние на воды в основном через посредство почв и растительности. Важная гидрологическая роль принадлежит различным землероям, рыхлящим почву (иногда до глубины 6–8 м) и обогащающим ее органическими веществами, повышая тем самым инфильтрационную способность почвы. Дождевые черви могут создавать 8–17 млн нор на 1 га. По ходам кротовин вода буквально проваливается. Их наличие увеличивает инфильтрацию в десятки и сотни раз. На участках с большим количеством кротовин механический состав почвы и ее структурное состояние играют второстепенную роль. Наличие в почве густой сети горизонтальных ходов землероев и такого же расположения корней растений во многом объясняет высокую динамичность стока почвенных и отчасти грунтовых вод, не согласовывающуюся с классическим представлением об их спокойном, ламинарном движении.

Наличие микрорельефа на поверхности почвы также во многом результат деятельности животных, в первую очередь землероев.

Интенсивный выпас скота приводит к уплотнению почвы, уничтожению лесной подстилки и травяного войлока и, в конечном счете, к уменьшению водопроницаемости почвы. Поедая растительность, животные способствуют уменьшению транспирации и суммарного испарения. По существу, выпас скота – разновидность хозяйственного воздействия на водный баланс. Влияние диких животных гораздо скромнее, поскольку оно проявляется, как правило, менее сосредоточенно.

Рассматривая гидрологическую **роль геологического строения** территории, следует прежде всего отметить, что мате-

ринская порода служит субстратом для почвы и определяет ее механический состав. Непосредственное влияние на процессы формирования водного баланса она оказывает примерно в том же ключе, что и почва. Однако в большинстве районов геологический фактор заметно уступает по своему воздействию на водный режим территории почвенному покрову, в котором гидрологические процессы происходят в первую очередь и гораздо более интенсивно. Роль геологического строения территории резко возрастает в тех районах, где горные породы выходят на поверхность или же почвенный покров маломощен, а также там, где гидрологические процессы носят интенсивный характер и ниже почвенных горизонтов. В первую очередь к ним должны быть отнесены горные районы, а также районы, находящиеся в зоне так называемого избыточного увлажнения.

Классическим примером воздействия геологического фактора на водный баланс и сток может служить рассмотрение гидрологической роли карста. Вот некоторые обобщенные выводы о влиянии карста на сток, приводимые специально изучавшим это влияние В. А. Балковым (1970).

1. Наличие карста приводит к несовпадению поверхностного и подземного водосборов.
2. При положительном подземном водообмене (в случае притока воды из соседних речных бассейнов) карст обуславливает повышение среднего многолетнего стока, внутригодовой его зарегулированности и минимального стока. Обратная картина наблюдается в случае отрицательного водообмена, то есть подземного оттока из рассматриваемого бассейна в соседние.
3. При малом расчленении водосбора увеличение закарстованности бассейна приводит к снижению регистрируемого стока. При большом расчленении, благодаря более глубокому эрозионному врезу реки, увеличение закарстованности способствует увеличению стока.

Если отвлечься от отдельных речных бассейнов и рассматривать территорию, на которой подземный водообмен с соседними районами сведен к минимуму и происходит полное дренирование подземных вод, то увеличение закарстованности приводит

к уменьшению поверхностного стока и испарения и к соответственному возрастанию подземного стока.

Иногда в качестве самостоятельного фактора формирования стока рассматривается **площадь речного бассейна**. Однако два бассейна, большой и малый, если они располагаются в одной природной зоне и характеризуются одинаковым состоянием земной поверхности, с гидрологической точки зрения отличаются в основном условиями дренирования подземных вод. Поэтому площадь водосбора следует рассматривать прежде всего как показатель гидрологического влияния геологического фактора и отчасти рельефа, характеризующий степень дренирования подземных вод. С увеличением площади водосбора возрастает вероятность дренирования дополнительного числа водоносных горизонтов, а, следовательно, роста слоя подземного и полного стока. Именно разная степень дренирования подземных вод – один из основных факторов, отличающих малую реку, где такое дренирование, как правило, не полное, от средних и больших рек. Правда, число водоносных горизонтов с существенными запасами воды ограничено, после чего связь между площадью водосбора и слоем стока может не прослеживаться или даже приобрести обратный характер в связи с увеличением времени добегания воды до замыкающего створа и дополнительных потерь на испарение.

В конкретной обстановке приходится считаться с тем, что водосборы разной площади подчас весьма существенно отличаются по комплексу природных условий, в том числе по геологическому строению местности. Отсюда вероятность при определенных условиях превышения слоя стока малых водосборов над большими, особенно в случае малой «действующей площади» (то есть территории, с которой реально поступают воды в речную сеть) в больших водосборах.

Воднобалансовая роль **рельефа** определяется крупностью его форм. Макрорельеф коренным образом изменяет весь комплекс физико-географических факторов, а, следовательно, и условий формирования водного баланса. В горных районах действуют те же факторы, которые рассмотрены выше, но изменяется их удельный вес. Резко возрастает, в частности, гидрологическая роль геологического строения местности. Характерна

и пестрота природных условий. На сравнительно небольшой территории располагается несколько природных зон (высотных поясов), получающих, как правило, большее количество осадков, чем соседние равнинные районы (особенно это относится к склонам, обращенным к преобладающим влагонесущим атмосферным потокам), и отличающихся своеобразной структурой водного баланса.

На равнинных территориях высота местности также влияет на количество осадков и структуру водного баланса. Но все же на первый план выходят мезо- и микрорельеф. Их значение проявляется, прежде всего, в перераспределении осадков в холодное время года. Во время метелей и поземок снег с возвышенных участков сносится в отрицательные формы рельефа, где снеготпасы обычно выше, чем на склонах.

Условия формирования стока на площади, занимаемой *гидрографической сетью* (оврагами, балками, долинами рек), специфичны. Близкое залегание к земной поверхности уровня грунтовых вод, смытые и намытые бесструктурные почвы обуславливают здесь низкую интенсивность инфильтрации. По этой причине именно площадь гидрографической сети определяет величину поверхностного стока в летний период на большей части ЕТС. С другой стороны, весной в результате больших снеготпасов почва в гидрографической сети, как и в других отрицательных формах рельефа, должна быть менее промерзшей, чем на склонах, что благоприятствует инфильтрации.

Чрезвычайно велика гидрологическая роль различного рода *замкнутых понижений*, в первую очередь, в условиях небольших в данном районе абсолютных величин слоя стока, когда почти весь сток со склонов может аккумулироваться в отрицательных формах рельефа и действующая площадь водосбора, то есть та площадь, с которой вода поступает в водный объект, может быть заметно меньше формальной.

Важное обстоятельство усиливает гидрологическую роль замкнутых углублений. Оно заключается в том, что при водопроницаемых почвогрунтах депрессии заполняются неоднократно, то есть их динамическая емкость значительно больше статической. Это особенно актуально для понимания гидрологической

роли микрорельефа, единовременная емкость отрицательных форм которого иногда достигает нескольких десятков мм, хотя чаще всего не превышает 10 мм.

Влияние *уклона склона* на водный баланс и особенно поверхностный сток принадлежит к числу вопросов, которые давно дискутируются в гидрологии. При этом выявились две разные позиции. Сторонники одной из них считают, что влияние крутизны склона на сток незначительно. Поэтому нет необходимости вводить поправки на различия в уклоне при обобщении результатов наблюдений за поверхностным склоновым стоком. Другая точка зрения, напротив, исходит из значительной роли уклона в формировании стока, выражающейся в существенном увеличении коэффициента стока, в том числе снегового, с ростом уклонов. Отсюда необходимость введения поправок на крутизну склона при обобщении данных по склоновому стоку. Кроме того, имеются факторы, свидетельствующие и о наличии в ряде случаев заметной обратной связи стока с крутизной склона.

Представляется, что дискуссионность вопроса в основном вызвана смешением понятий и неодинаковыми условиями опытов. Многие исследователи, говоря об уклонах, по существу, вкладывают разный смысл в их гидрологическую роль. В одних случаях имеется в виду непосредственное влияние уклонов на сток при прочих равных условиях, в других – в сочетании с рядом факторов (в первую очередь, некоторыми свойствами почвенного покрова), обусловленных различиями в крутизне склонов.

То, что при прочих равных условиях рост уклона должен увеличивать сток, поскольку с участков большей крутизны вода стекает быстрее и меньше возможности для ее впитывания в почву и испарения, очевидно. Вопрос в том, насколько существенно это влияние. Оно определяется соотношением периодов установившегося и неуставившегося режимов формирования стока. В условиях установившегося режима, характеризующегося значительным превышением времени поступления воды на склон над временем добегающего ее до замыкающего створа, сток практически не зависит от уклона, поскольку определяется соотношением интенсивности поступления воды на склон в результате дождя или снеготаяния и интенсивности

впитывания, практически не зависящих при одинаковых почвах от крутизны склона. Влияние уклона сказывается в условиях неустановившегося режима, характеризующегося малым соотношением времени поступления воды на склон и ее добегаания до замыкающего створа. Особенно типичен он для фазы спада стока, когда поступление воды на склон прекращается и сказывается разное время добегаания воды до замыкающего створа. В реальных условиях формирования стока, особенно снегового, период установившегося режима явно преобладает над периодом неустановившегося режима. Поэтому следует ожидать в целом незначительного непосредственного влияния уклонов на склоновый сток.

Что касается косвенной роли уклона склона, то следует иметь в виду, что в процессе исторического развития рельефа на участках с разными уклонами сформировались разные природные комплексы. Так, на участках меньшей крутизны несколько больше емкость отрицательных форм рельефа, что способствует снижению стока. Но прежде всего различия в уклонах сказались на почвенном покрове, влияние которого на сток значительно превышает непосредственное влияние уклона на сток. На участках с большими уклонами из-за большей кинетической энергии стекающей воды сформировались более смытые почвы. Это двояко сказалось на условиях инфильтрации и стока. С одной стороны, способствовало увеличению стока, ухудшая структуру почвы, снижая содержание гумуса, ее порозность. Процесс увеличения стока интенсифицировался тем, что мутность воды на более крутых склонах выше и коагуляция (заполнение) пор происходит более выражено. С другой стороны, большая кинетическая энергия стекающей воды способствовала уменьшению стока, приводя к росту содержания фракций песка и к снижению содержания глинистых и илистых частиц, а, следовательно, к снижению влагоемкости почвы и ее влажности. При этом первый процесс – увеличение стока – в соответствии с гидрологической ролью физических свойств почвы должен быть более выражен на структурных почвах тяжелого механического состава, а второй – уменьшение стока – на почвах бесструктурных, легких по механическому составу.

К неоднозначному влиянию на сток и коэффициент стока приводят и различные сочетания участков, различающихся уклонами, с другими факторами, в том числе и с такой характеристикой рельефа, как *экспозиция склона*.

Для более сложных водосборов, чем склон, на одну из первых ролей в формировании снегового стока выдвигается дружность снеготаяния. Разновременность снеготаяния на более расчлененных и обладающих большими средними уклонами водосборах может привести к снижению коэффициента стока по сравнению с менее расчлененными, с меньшими уклонами водосборов, на которых снеготаяние происходит более дружно. На дружность снеготаяния влияет зависящая от рельефа *форма водосбора*. Дружному снеготаянию способствует округлая форма водосбора, растягиванию во времени – вытянутая.

Таким образом, объективно существуют предпосылки для получения неоднозначных связей участков с разными уклонами со стоком и с коэффициентом стока.

Влияние *длины склона* на сток и водный баланс также относится к числу дискуссионных факторов. В гидрологической роли этого фактора много общего с гидрологической ролью уклона. При прочих равных условиях, чем больше время пребывания воды на склоне, то есть чем длиннее склон, тем больше вероятность потерь стока. Но так же, как и в случае с уклонами, на склонах разной длины формируются почвы неодинаковой инфильтрационной способности. Большой объем воды на длинных склонах способствует формированию здесь и более смытых почв со всеми вытекающими отсюда последствиями. Моделью сказанного может служить любой склон на местности, если рассматривать его в целом и отдельно верхнюю часть. Известно, что верхние части склонов (модель более короткого участка) обычно, особенно для прямых и выпуклых склонов, менее смыты, чем нижние и, следовательно, склон в целом (модель более длинного участка). Следовательно, и на участках с разной длиной склона вполне правомерно ожидать неоднозначных связей стока и коэффициента стока с ее величиной.

Закljučая раздел о воднобалансовой роли природных факторов, отметим, что в природе все факторы действуют одновре-

менно, образуя многочисленные сочетания в пространстве и во времени. Это обязательно следует иметь в виду, «вырывая» отдельные компоненты из всеобщей связи. В одних условиях на первый план выходят одни факторы, в других – другие. Но можно говорить и о ведущих, влияние которых на водный баланс в большинстве случаев относится к наиболее важным. Важность одного из них – климата – общепризнана. Первостепенное значение другого фактора – почвенного (почвенно-растительного) – осознано еще недостаточно. Между тем именно в понимании значительной гидрологической роли почв и растительности, как основного посредника между климатом и рекой, к тому же наиболее подверженного антропогенным воздействиям, лежит ключ к правильной оценке динамики водного баланса территории, в том числе его преобразований под влиянием разных видов деятельности человека на водосборах.

5.7. Формирование вещественного состава вод

Во всякой природной воде содержатся растворенные соли. Их нет только в дистиллированной воде, получаемой в лабораториях. Наиболее чистой является влага, содержащаяся в верхних слоях атмосферы. В процессе конденсации она растворяет атмосферные газы: кислород, азот и углекислый газ, но в ничтожном количестве. В дальнейшем при падении конденсированных капель вода поглощает в себя и другие растворимые соли нижних слоев атмосферы, заносимые сюда продуктами вулканических извержений, эоловым переносом и др., и, наконец, в самых нижних слоях атмосферы водяные капли начинают засоряться выбросами промышленных предприятий. Если раньше считалось, что дождевая вода является наиболее химически чистой, то в настоящее время кислые дожди, обусловленные попаданием в атмосферу соединений серы, особенно в наиболее густонаселенных районах, не редкость. Далее, стекая по поверхности или через толщу почвогрунтов, дождевые воды в большей или меньшей степени минерализуются. Состав растворенных веществ, как мы видели выше, весьма разнообразен и полностью зависит от состава тех почв, грунтов или горных пород, через которые она просачивается, а также всего

комплекса физико-географических условий процесса круговорота воды на Земле.

Часть природных пресных вод испаряется, а частично воды с суши стекают в Мировой океан, постепенно увеличивая запасы его солей. Вода, испаряющаяся с поверхности океанов, морей и других водных объектов, не захватывает содержащихся в ней растворенных солей. Этот процесс происходил на протяжении миллиардов лет, в результате чего в Мировом океане накопилось большое количество солей, создавших современную соленость океанической воды.

На территории суши содержание растворенных солей в воде во многом определяется соотношением количества осадков, интенсивности процессов инфильтрации в почву с одной стороны и испарения с другой. Вот почему в аридных районах, где осадки малы, а потенциальное испарение велико, почвы и воды обладают повышенной минерализацией и весьма реальна угроза их засоления при орошении, когда нет дренажа и промывки верхнего горизонта почвы, а содержащиеся в поливной воде соли интенсивно накапливаются. Кстати, периодически проводимые промывки засоленных почв в орошаемых районах значительно увеличивают общий расход воды на орошение.

В хорошо увлажненных районах или в периоды обильного увлажнения в аридных районах реальна другая опасность – *эрозия* почв. Продукты эрозии почв составляют значительную часть твердого речного стока и стока растворенных веществ. Другая часть поставляется в реки эрозионными процессами в их руслах. Если эрозия почв формирует в составе твердого стока в основном сток взвешенных наносов, показателем которых является мутность воды, то русловая эрозия определяет величину стока крупных (влекомых) наносов, которые в равнинных условиях обычно составляют 10–20% общего стока наносов. Интересно, что в равнинных условиях, например, на Русской равнине, лишь 10–20% смываемых с водосборов продуктов эрозии достигает средних и крупных рек. Большая их часть откладывается в верхних звеньях гидрографической сети, приводя к заилению, а то и к исчезновению малых рек.

Глава 6.

ВОДА НА СУШЕ

При всем хозяйственном значении вод Мирового океана, в первую очередь, для рыболовства, судоходства, рекреации, а также перспектив опреснения воды, извлечения из нее различных полезных компонентов, использования для энергетических целей, главную роль в жизни человеческого общества играют воды суши, особенно пресные, сосредоточенные в реках, озерах, подземных горизонтах, ряде других водных объектах. К числу основных водных объектов суши относятся также рукотворные водохранилища и каналы, о которых речь пойдет в других главах.

6.1. Реки

Роль рек в жизни человека трудно переоценить. На берегах рек зародилась человеческая цивилизация. Они служат основным источником водных ресурсов, средой обитания водных организмов, удаляют загрязнения и в то же время создают угрозу наводнений. Да и вообще трудно представить жизнь большей части человечества вне речных систем. Нередко и по значению для жизни человека, и по форме речные системы сравнивают с кровеносной системой человека. Наглядным свидетельством служит речная сеть Волги (рис. 6.1).

Реки – одно из порождений круговорота воды в природе, являясь результатом взаимодействия климата с другими компонентами природы. Очевидно, что рек больше в лучше увлажненных районах, и они здесь более водоносны. Но нередко бывает и так, что крупная река встречается и в аридных районах за счет очень большой водосборной площади и за счет того, что она является транзитной рекой и формирует свой сток в хорошо увлажненных районах. Та же Волга, речная сеть которой представлена на рис. 6.1, большую часть своего стока формирует в лесной зоне и лишь в небольшой степени в лесостепных и степных районах. Полупустынные территории, примыкаю-

щие к Каспию, практически никакого участия в пополнении стока Волги не принимают. Более того, существенная часть водных ресурсов Волги теряется, в основном на испарение, на пути от Волгограда к Каспийскому морю. Величие и красота рек и их прибрежных территорий проиллюстрированы на многочисленных фотографиях. Некоторые из них представлены ниже (рис. 6.2, 6.3, 6.4).



Рисунок 6.1. Речная сеть Волги



Рисунок 6.2. Волга у Куйбышевского гидроузла (фото А.Г. Хропова)



Рисунок 6.3. Дон у ст. Вешенской (фото С.В. Долгова)



Рисунок 6.4. Сухона, г. Великий Устюг (фото Н.Л. Фроловой)

В России ориентировочно 2,5 млн рек (в мире их 15–20 млн), но большую часть из них составляют малые реки. Существуют разные подходы к делению рек по размерам – по длине, величине водосборной площади, по расходам воды (объему стока). Малая река по длине может быть очень небольшой, например, Нева, но очень полноводной, и наоборот. Представляется привлекательным генетический подход к выделению малых рек – это те реки, которые не полностью дренируют подземные воды. Остальные относятся к средним и большим. Показателем полного дренирования подземных вод может служить площадь водосбора. Если в лесной зоне полное дренирование подземных вод происходит при площади водосбора около 1 тыс. км², то в степной – при 10 тыс. км² и более. В первом же приближении к малым принято относить реки длиной до 100 км, к средним – от 100 до 500 км, а к большим – свыше 500 км.

Конечно, наибольший интерес представляют самые крупные реки. Вряд ли необходимо подробно описывать их. Необходимые сведения о них можно найти в энциклопедиях и справочниках. Здесь же приведем сведения о десяти самых крупных из них

в мире и в России (табл. 6.1, 6.2). При этом приведены только те реки, которые сами не впадают в другие реки. Может быть, несколько спорным в этом отношении выглядит включение в список р. Токантинс, которая впадает в правый рукав Амазонки в ее устье. Если же исключить Токантинс, то следующая в списке будет р. Иравади в Юго-Восточной Азии (расход – 16 тыс. м³/с, длина – 2120 км, площадь бассейна – 430 тыс. км²).

Таблица 6.1.

Десять самых многоводных рек мира (Большой словарь..., 2003)

Название	Расход воды, тыс. м ³ /с	Длина, тыс. км	Площадь бассейна тыс. км ²	Материк / часть света
Амазонка	220	7000	7180	Южная Америка
Конго	46	4320	3691	Центральная Африка
Янцзы	34	5800	1800	Восточная Азия
Ориноко	29	2730	1086	Южная Америка
Енисей	19,8	4120	2580	Евразия (Россия)
Миссисипи	18,4	6420	3270	Северная Америка
Парана	17,5	4380	2663	Южная Америка
Лена	17	4400	2490	Евразия (Россия)
Брахмапутра	16,3	2900	580	Южная Азия
Токантинс	16,3	2850	770	Южная Америка

Таблица 6.2.

Десять самых многоводных рек России (Большой словарь..., 2003)

Название	Расход воды, тыс. м ³ /с	Длина, тыс. км	Площадь бассейна тыс. км ²
Енисей	19,8	4120	2580
Лена	17,0	4400	2490
Обь	12,5	4338	2990
Амур	10,9	4444	1856
Волга	7,9	3530	1360
Печора	4,0	1800	322
Колыма	3,9	2513	643
Сев. Двина	3,6	1300	360
Пясины	2,6	818	182
Нева	2,5	74	281

Как видим, крупнейшей рекой мира во всех отношениях является Амазонка, которая несет воды в устье примерно в 1,7 раза больше, чем все реки России. Объем ее стока составляет около 7000 км³/год. Енисей и Лена занимают соответственно пятое и седьмое место в этой десятке. Значительно уступает им Волга – крупнейшая река Европы. Добавим еще, что вторая по величине река Европы Дунай имеет расход 6,4 тыс. м³/с, площадь водосбора – 2850 тыс. км², длину – 817 км. Самой длинной рекой мира долгое время считался Нил (6671 км), по расходу воды (2,9 тыс. м³/с) занимающий довольно скромное место в мировом списке. Но теперь первенство отдается Амазонке с истоком р. Апахеты. Вообще, по длине рек существуют большие расхождения у различных исследователей, объясняющиеся разночтениями в определении истоков. Если за исток Оби принять Черный Иртыш (а так иногда делают), то общая протяженность непрерывного водного пути составит 5410 км. Енисей с Ангарой и Селенгой «увеличивает» свою длину до 5060 км.

Отметим, что водные ресурсы ряда крупнейших рек мира и России (Амазонка, Ориноко, Конго, Енисей, Лена) еще сравнительно мало подвержены антропогенному воздействию по сравнению, например, с Янцзы, Миссисипи, Обью, Волгой, хотя и в их бассейнах это воздействие быстро нарастает (пример – массовые рубки леса в бассейне Амазонки, и они служат важным резервом мировых водных ресурсов.

6.2. Озера

Озера в силу своего точечного расположения по территории имеют в целом несколько меньшее значение в обеспечении населения и хозяйства крупных территорий водой. К тому же не все из них пресные, как самое крупное озеро-море Каспийское или Аральское (табл. 6.3). Заметим здесь, что сведения по Аралу даны на период до его современного усыхания. Значение же пресных озер для обеспечения водоснабжения прилегающих территорий трудно переоценить. В этом отношении выделяются Великие американские озера (Верхнее, Гурон, Мичиган), составляющие с озером Эри (площадь 24,3 тыс. км²) величайшую пресноводную озерную систему мира. В нашей стране наибольшее внимание

приковано к Байкалу (табл. 6.4), самому глубоководному водоему мира, сосредоточивающему 23 тыс. км³ пресной воды – около 1/5 ее мировых запасов (без ледников). Давно уже обсуждается опасность его загрязнения. Пока же можно констатировать, что большая часть Байкала все еще остается чистой.

Таблица 6.3.

Десять самых крупных озер мира (Большой словарь..., 2003)

Название	Площадь, тыс. км ²	Урез воды, м над уровнем моря	Наибольшая глубина, м	Местоположение
Каспийское море	376,0	-28	1025	Европа, Азия
Верхнее	82,7	183	406	Сев. Америка
Виктория	68,0	1134	80	Вост. Африка
Гурон	59,6	177	229	Сев. Америка
Мичиган	58,0	177	280	Сев. Америка
Аральское море*	35,5	39	54	Центр. Азия
Танганьика	34,0	774	1470	Вост. Африка
Байкал	31,5	456	1620**	Сев. Азия
Ньяса	30,8	472	706	Вост. Африка
Большое Медвежье	30,2	157	137	Сев. Америка

* До своего усыхания

** По другим данным 1637 м

Таблица 6.4.

Десять самых крупных озер России, целиком расположенных на ее территории (Большой словарь..., 2003)

Название	Площадь, тыс. км ²	Урез воды, м над уровнем моря	Наибольшая глубина, м
Байкал	31,5	456	1620*
Ладожское	17,7	5	230
Онежское	9,7	33	127
Таймыр	4,6	6	26
Чаны	1,7–2,3	106	10
Белое озеро	1,29	113	6
Топозеро	0,99	110	56
Ильмень	0,98	18	до 10
Имандра	0,88	127	67
Хантайское	0,82	65	420

* По другим данным 1637 м

Общее число озер в России превышает 2,7 млн, а их площадь составляет примерно 0,5% общей площади страны. Помимо Байкала (рис. 6.5) к числу крупнейших в мире озер относятся и Ладожское с Онежским, причем Ладожское занимает первое место в Европе (рис. 6.6).



Рисунок 6.5. Озеро Байкал (фото Е.А. Барабановой)



Рисунок 6.6. Ладожское озеро (фото А.В. Сазонова)

Представленные в табл. 6.3 и 6.4, да и другие крупные озера широко известны, и сведения о них, как и о крупнейших реках, легко почерпнуть в разного рода справочниках, например, в энциклопедии «Реки и озера мира» (2012). Гораздо меньше известно об открытом сравнительно недавно крупном подледном озере в Антарктиде, названном «Восток» по аналогии с расположенной поблизости одноименной российской антарктической станцией. Существование этого озера, находящегося подо льдом на глубине около 3660 м, теоретически было предсказано И. А. Зотиковым. Контуры озера очертил другой наш соотечественник А. П. Капица. Более двух десятков лет назад началось бурение ледникового щита над озером. В связи с различного рода техническими трудностями бурение неоднократно прерывалось и было завершено 5 февраля 2012 г. Размеры озера «Восток» впечатляют: площадь – 15790 км², длина – 260 км, ширина – 60 км, средняя глубина – 400 м, наибольшая глубина – 1200 м, объем воды – 6100 км³ (более ¼ объема Байкала). Открытие озера «Восток» и бурение скважины до его поверхности стало крупным успехом отечественной науки и техники. Теперь предстоит тщательное изучение этого уникального озера и его вод, возраст которых 500 млн лет.

6.3. Водопады

Водопады образуются на реках в местах резкого изменения высоты их дна с образованием уступа. Такой профиль реки заставляет водный поток падать почти вертикально. Чаще всего водопады встречаются в горах, где плавный профиль реки еще не выработан, а также в результате перегораживания ущелий обвалами. В равнинных районах водопады образуются в тех местах, где река пересекает участки со слабо размываемыми породами. Вода может падать по нескольким уступам, образуя серию водопадов или каскад. Водопады обладают большой эрозионной активностью. Уступ водопада непрерывно разрушается как сверху, так и у основания, и водопад, таким образом, отступает вверх по течению реки.

Самый высокий в мире водопад **Ангель** находится на северо-западе Южной Америки, в Венесуэле на реке Чурун. Он пред-

ставляет собой каскад из двух водопадов с общей высотой падения 1054 м. Ширина в основании – 150 м.

Самый знаменитый водопад – **Ниагарский** – на одноименной реке на границе США и Канады (рис. 6.7). Островом Козий низвергающийся поток реки делится на две части. Левая, канадская, имеет ширину около 800 м и падает с высоты 48 м. Через нее проходит около 95% всей воды. Правая часть, расположенная на территории США, имеет ширину 300 м и высоту 50 м. Гидропотенциал падающей воды оценивается в 3 ГВт, из которых построенными ГЭС используется только 2/3. В обход водопада сооружен судоходный канал. Водопад пользуется огромной популярностью у туристов.



Рисунок 6.7. Ниагарский водопад. Красота этого чуда природы привлекает множество туристов со всего света (фото Е.А. Барабановой)

В России водопады есть в Карелии, на Кольском полуострове, в Саянах, на Алтае, Кавказе и других горных районах. Небольшие водопады на севере часто называют «падунами».

Самый высокий водопад в России – **Илья Муромец** – находится на острове Итуруп (Курильские острова) близ мыса Илья

Муромец. Образуется он на ручье, стекающем с северо-восточного склона вулкана Иван Грозный. Вода срывается с отвесного обрыва в океан, высота свободного падения – 141 м.

Большой популярностью у туристов пользуются водопады Карелии: Кивач, Большая Юма и другие.

Водопад **Кивач** – один из замечательных памятников природы Карелии. Он расположен в 30 км от устья реки Суна в 70 км от Петрозаводска, на территории заповедника Кивач. Участок водопада имеет протяжение 170 м. В этом месте скалистые берега Суны сужаются до 20–25 м. Вода падает с высоты 10,7 м четырьмя каскадами. Построенная в 1938 г. Гирвасская плотина изменила режим стока нижнего течения Суны. Только весной при пропуске воды через плотину можно видеть некое подобие прежнего Кивача.

Большая Юма – порог-водопад в нижнем течении р. Кепа (приток р. Кемь). При сплаве по реке гул слышен задолго до появления водопада. Карельское его имя означает «грохот» или «огромный». Он представляет собой четыре водопадных слива с общим падением около 5 м в изгибающемся скальном желобе.

Наличие водопадов на реках препятствует судоходству, но представляет собой удобное место для использования водной энергии. Большое падение реки на коротком участке имеет большие преимущества для строительства ГЭС. Многие водопады преобразованы или затоплены в результате сооружения плотин и водохранилищ. Так используется, например, энергия Нарвского водопада на реке Нарва на границе Ленинградской области и Эстонии, водопада Кивач на реке Суна в Карелии и других.

6.4. Подземные воды

Подземные воды представляют собой особо ценный вид водных ресурсов, поскольку их запасы мало изменяются в течение года и они гораздо лучше поверхностных вод защищены от загрязнения. Выше уже говорилось о том, что оценка этих запасов связана с большими сложностями. Один из наиболее надежных методов заключается в расчленении гидрографов речного стока с выделением поверхностной и подземной составляющих (см. рис. 4.7). Таким путем выделяются запасы подземных вод,

дренируемых реками. Но есть и те запасы, которые не дренируются или слабо дренируются реками. По существу, это месторождения подземных вод. В основном к ним применяется термин «эксплуатационные запасы подземных вод». Уже отмечалось, что по ресурсам подземного стока, отнесенным к единице площади территории, то есть по слою стока, Россия более чем в 1,8 раза уступает среднемировым показателям, хотя в абсолютном измерении (922 км³/год) и в расчете на одного человека она занимает передовые позиции, но в основном за счет слабообжитых районов. Что касается эксплуатационных запасов разведанных месторождений, то они составляют примерно 30 км³/год, из которых 2/3 подготовлены к промышленному освоению.

6.5. Почвенная влага

Почвенная влага – специфический вид водных ресурсов, но ее роль в водообеспечении растений трудно переоценить. Непосредственные количественные оценки средних годовых значений почвенной влаги затруднены. Если же судить по величине валового увлажнения территории, находимого по разнице осадков и поверхностного стока, то Россия уступает среднемировым показателям почти в два раза. Наибольшие значения валового увлажнения почвы отмечаются на Камчатке (более 1000 мм), юге Дальнего Востока (более 700 мм) и в центральной части Русской равнины (более 600 мм). Наименьшие значения отмечаются на севере и крайнем юге Восточной Сибири (менее 300 мм), а также в Прикаспии, на юге Западной Сибири (менее 400 мм). Очевидно, что величина запасов почвенной влаги тем больше, чем больше осадки и меньше поверхностный сток. Часть запасов почвенной влаги расходуется на пополнение запасов подземных вод, большая ее часть – на испарение, продуктивное (транспирацию растениями) и непродуктивное (с поверхности почвы). Ресурсы почвенной влаги важно соотносить с ресурсами тепла. Для большинства районов России характерна диспропорция в этом отношении. Оптимум обычно наблюдается в южной части лесной зоны, в лесостепи. Северным районам присущ избыток влаги и недостаток тепла. В южных районах, наоборот, при относительно больших ресурсах тепла не хватает влаги. Отсюда

актуальность осуществления мелиоративных (осушительных или оросительных) мероприятий. Кардинально проблема обеспечения растений влагой в засушливых районах могла бы быть осуществлена при подавлении непродуктивного испарения и увеличения за его счет транспирации.

6.6. Вода во льдах

Крупных массивов материкового льда, подобных антарктическому или гренландскому, у нас в стране нет. Но напоминающие их ледники так называемого скандинавского типа распространены на арктических островах. На эти ледники приходится примерно 90% общей площади ледников России, которая составляет около 60 тыс. км² (Атлас..., 1997). Остальные ледники сосредоточены в горах, преимущественно на Северном Кавказе, и играют важную роль в питании горных рек. Важно, что ледниковый сток происходит в основном в летний период, когда наиболее велики потребности в воде орошаемого земледелия.

Огромное количество льда сосредоточено в Сибири и на Дальнем Востоке в составе многолетнемерзлых пород. Многолетнемерзлые породы занимают в пределах России около 7 млн км², а количество воды в этих породах составляет более 19 тыс. км³.

В районах многолетней мерзлоты нередко встречаются наледи на реках, которые образуются в результате излияния поверхностных и подземных вод на ледяную поверхность. Наиболее крупные наледи сохраняются и в течение теплого периода года. Общий объем образующихся наледей оценивается в России почти в 85 км³.

Не забудем и о ледяном покрове, который ежегодно образуется на большинстве наших рек и водоемов зимой. В районах Сибири и Дальнего Востока его толщина порой превышает 2 м. Лед на реках нередко служит причиной крупных наводнений. Особенно часто это случается на реках, текущих с юга на север. Половодье, начавшееся в южных районах водосборов, постепенно движется на север, где встречает не растаявший еще лед. Образуются заторы льда, подпруживающие реку порой на 10–20 и более метров и вызывающие разрушительные наводнения. Особенно часто такие наводнения происходят в бассейне Лены.

6.7. Болота

Болота делятся на низинные, верховые и переходные. Низинные болота питаются грунтовыми водами, богатыми растворами минеральных солей. Верховые болота не связаны с грунтовыми водами, их питание осуществляется исключительно за счет атмосферных осадков. Промежуточное положение занимают переходные болота.

Болота служат аккумуляторами влаги за счет большой влагоемкости верхнего слоя торфяной залежи с растительным покровом и неразложившимися отмершими остатками растительности. Гидрологическая роль болот остается во многом дискуссионной. Но все-таки преобладает точка зрения, что болота, испаряя большое количество влаги, уменьшают речной сток по сравнению с незаболоченными территориями. А являются ли они регуляторами стока? Это зависит от того, что преобладает – повышенное испарение, которое может исчерпать водные ресурсы болот в теплый период года, или фактор нахождения болот на участках местности с малыми уклонами, что замедляет сток по сравнению с хорошо дренированными территориями.

При осушении болот сток вначале возрастает за счет сработки накопленных запасов воды, а в дальнейшем может и уменьшаться, если биологическая продуктивность осушенных земель будет велика и испарение с них превысит испарение с болот.

Болота на Земном шаре занимают площадь около 2,7 млн км², а запасы воды в них близки к 11,5 тыс. км³. В нашей стране площадь болот и заболоченных земель составляет примерно 1,8 млн км², из которых собственно болота занимают около половины этой площади. В них сосредоточено более 1,5 тыс. км³ воды. Крупнейший в мире массив болот и заболоченных территорий сосредоточен в Западной Сибири.

6.8. Минеральные воды

Лечение минеральными водами имеет большую популярность во всем мире. Настоящий бум бальнеотерапии начался в XIX веке. Именно тогда были разработаны методы лечения с помощью минеральных вод целого реестра распространенных недугов. Тогда же вокруг известных европейских источников

начали расцветать курорты. В 1856 году во Франции был принят первый в мире закон об охране минеральных источников. В считанные годы лечение на водах стало излюбленным времяпрепровождением европейской аристократии. Остается оно таковым и теперь. Бальнеотерапия стала мощным методом лечения и релаксации. А в архитектуре появился отдельный «жанр» – бюветы, бассейны и галереи минеральной воды. Красивее всего эти изящные постройки смотрятся в уютной архитектурной среде альпийских городов. Природа здесь необычайно щедра на минеральные, термальные и грязевые источники.

Самый популярный европейский минеральный курорт – **немецкий Баден-Баден**. Термальные источники здесь были открыты еще римлянами. Максимальная температура воды – 68°C. Лечебная влага бьет с глубины 1200–1800 метров. Кроме благотворного влияния на нервную систему, источники помогают справиться с заболеваниями, связанными с нарушением двигательного аппарата, нарушениями обмена веществ.

В Австрии самый популярный минеральный курорт находится в городе **Бад Халл**. К местным источникам едут лечить атеросклероз, последствия лучевой болезни и гормональные расстройства, в частности заболевания щитовидной железы, а также воспаления всех видов. Воды одиннадцати источников Бад Халл очень богаты йодом – до 50 мг на 1 кг воды. Целебные свойства обусловлены еще и тем, что помимо йода в воде присутствует бром, а также множество регенерирующих веществ – до 150 мг на 1 кг воды. Все эти примеси помогают организму.

Нигде больше в мире в минеральной воде не содержится столько радона, как в Чешских источниках **города Яхимова**. Этот городок на южном склоне Крушных гор стал первым на Земле местом, где начали лечить людей с помощью природного радона. Температура воды в источниках – от 26 до 34°C.

Самый известный минеральный курорт Чехии – Карловы Вары. В Карловы Вары ездил поправлять здоровье еще Петр I. Позже в этот живописный город на берегу реки Тепла приезжали отдыхать многие известные русские деятели, писатели, музыканты. Среди совсем уж известных имен – Гоголь, Тургенев и Чайковский. Такая популярность (которая и по сей день делает Кар-

ловы Вары чуть ли не главным минеральным курортом мира) городу досталась не только из-за потрясающих пейзажей и видов, которые открываются с многочисленных смотровых площадок. Местная вода – одна из самых биологически активных на Земле.

В России первое письменное сообщение о минеральных водах, обладающих лечебными свойствами, датируется 1714 годом. В это время Петру I была подана челобитная с описанием источника целебных (железных) вод в Олонецкой губернии. По приказу Петра I в Карелию приехал придворный врач Лаврентий Блюментрост, который выступил сторонником создания первого в России курорта на базе марциальных (то есть железистых, от имени бога войны Марса) вод. Был издан указ о Кончезерских водах близ Петрозаводска, которые объявлялись лечебными. Это был первый официально утвержденный курорт России. Сам царь неоднократно бывал здесь.

Первые государственные мероприятия по разведке минеральных вод проводились также по инициативе Петра I после его знакомства с такими европейскими курортами, как Баден-Баден. Были открыты источники на реке Терек, в уезде г. Самары на реке Соке, кисловодские нарзаны, Липецкие соленые воды и другие, дано их описание.

К 1800 году специально для изучения минеральных вод российскими и зарубежными исследователями были разработаны все основы химического анализа вод. К концу XIX века было открыто около 500 источников и 54 курорта Российской империи. Наибольший интерес вызывали Кавказские минеральные воды.

Кавказские минеральные воды сейчас – крупнейший и уникальный курортный регион России, который по составу и качеству своих бальнео- и климатических ресурсов, сконцентрированных на относительно небольшой территории, не имеет аналогов на Евразийском континенте. Основное богатство района составляют минеральные воды, здесь расположено 14 месторождений минеральных вод практически всех типов, выявлено около 130 минеральных источников сложного химического состава, осуществляется промышленный розлив минеральной воды. По химическому составу и применению для лечения воды разнообразны. По большей части это мало- и среднеминерализованные

воды с содержанием солей от 2 до 15 г/л. Происхождение, формирование и свойства минеральных вод связаны с пятигорскими горами – лакколитами и высокогорными областями Северного Кавказа.

Зарождение целебной воды происходит в предгорьях Кавказа, на склонах Скалистого и Пастбищного хребтов. Дождевая и талая вода, проникая в глубь земли, движется по наклонным осадочным пластам мелового и юрского морей. За несколько месяцев своего пути вода насыщается солями, возраст которых более 60 млн лет. В ней растворяются углекислый газ, сероводород и другие газы. Достигая района Пятигорья, минеральная вода выходит на поверхность по трещинам и разломам, которые появились в процессе горообразования 10–12 млн лет назад. Именно к этому времени геологи относят образование здешних гор-лакколитов.

Температура воды зависит от того, как долго она поднимается на поверхность. Поэтому на Кавказских минеральных водах соседствуют холодные, теплые и горячие источники. Нарзаны Кисловодска – холодные, с температурой до +15°. Эссентукские воды имеют температуру и +10° и +37°. В Пятигорске и Железноводске есть термальные источники с температурой до +60°.

Первое научное описание целебных свойств Кавказских минеральных вод было сделано академиком Российской академии наук А.И. Гюльденштедтом, посетившим эти места в 1773 г. В 1803 г. недалеко от источника нарзана была построена Кисловодская крепость. С этого года начинается официальная история Кавминвод: правительственным актом были признаны их государственное значение и необходимость их устройства. В 1990-е годы Кавказским минеральным водам был присвоен статус особо охраняемого эколого-курортного региона России.

Глава 7.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ

Термин «экстремальный» трактуется в справочниках как неординарный, выходящий за пределы. По мере развития общества к различным экстремальным событиям и явлениям проявляется все больший интерес. С одной стороны, это объясняется их недостаточной изученностью, во многом загадочностью, в отличие от обыденных, каждодневных явлений. С другой стороны, именно с экстремальными событиями связаны наибольшая опасность и различного рода издержки. В полной мере это относится и к экстремальным гидрологическим явлениям или ситуациям (ЭГС), то есть происходящим в гидросфере. Больше того, из всех экстремальных ситуаций в окружающей природной среде именно с ЭГС, наряду с тайфунами, штормами, землетрясениями, связаны самые крупные прямые материальные ущербы и наибольшее число жертв. Существует большое число различных ЭГС, но все их разнообразие можно свести к трем основным видам: многоводьям, маловодьям и существенному изменению качественного состава вод. В обиходе их синонимами часто выступают соответственно: наводнения, дефицит воды, загрязнение природных вод, которые правильней называть последствиями ЭГС. Но, по существу, если абстрагироваться от деталей, это те же основные экстремальные гидрологические ситуации, но с антропоцентрической точки зрения.

Принципиально важно отделять ЭГС от чрезвычайных гидрологических ситуаций (ЧГС). Если последние обязательно связаны с большим материальным ущербом, то многие ЭГС могут и не сопровождаться такими негативными последствиями, например, если они имеют место в необжитых районах. Очевидно, ЧГС является частной и наиболее острой неблагоприятной составляющей ЭГС. Важно различать затопление территории и наводнение. Обе ситуации – разновидности многоводья, но представляется более правильным считать наводнением только

то затопление, которое связано с материальным ущербом, то есть так же, как и в отношении ЧГС, иметь в виду антропоцентрический подход.

7.1. Многоводья, наводнения

Многоводья и наводнения обусловлены как природными, так и антропогенными факторами. Среди природных факторов на суше это чаще всего обильные осадки или интенсивное таяние больших снеготпасов, особенно если почва хорошо увлажнена с осени, а затем промерзла. Важный фактор наводнений – ледовые заторы. Среди антропогенных факторов – сведение лесов, нерациональная распашка, различные техногенные аварии. На границе суши и моря причинами наводнений служат ветровые нагоны воды, землетрясения, вызывающие цунами.

Чаще всего наводнения связаны с разливами рек в многоводные годы и сезоны (половодья и паводки). Принято считать многоводными значения речного стока менее 25% обеспеченности в гидрологическом ряду, то есть такие, вероятность превышения которых составляет 25%. В 75% случаев сток будет ниже. Очевидно, что еще более многоводными являются величины стока 10, 5, 1 и менее процентов обеспеченности.

С 1985 г. Дартмутской обсерваторией Ганноверского университета (штата Нью-Джерси, США) ведется Глобальный регистр (реестр, журнал) экстремальных наводнений различного происхождения, которые принесли значительные разрушения, материальный ущерб или стали причиной гибели людей. А. А. Таратунин (2011), обработав эти данные, пришел к следующим результатам.

За 24 года в реестр было занесено 3467 наводнений, в том числе, согласно принятой обсерваторией классификации: наводнений первого класса (сравнительно небольших) – около 3 тыс.; второго класса (средних по размерам) – 548; третьего класса (крупных и катастрофических) – 120 (табл. 7.1, 7.2).

Анализ собранных данных за рассматриваемый период времени показывает, что, несмотря на принимаемые всеми странами меры по предотвращению наводнений и защите от них, видна тенденция увеличения их количества.

Таблица 7.1.

Суммарное распределение наводнений с 1985 по 2008 г.
по континентам

Континент	Число наводнений с 1985 по 2008 г.			
	1 класса	2 класса	3 класса	Всего
Европа	240	61	28	329
Азия	1400	216	44	1660
Африка	408	69	4	481
Северная Америка	428	140	20	588
Южная Америка	223	28	10	261
Австралия и Океания	100	34	14	148
Итого	2799	548	120	3467

Причинами увеличения количества наводнений являются не только интенсивное освоение периодически и потенциально затопляемых территорий, изменение климата, имеющее место в последние годы, но и совершенствование системы сбора информации обо всех особо опасных природных явлениях.

Таблица 7.2.

Негативные последствия наводнений за 1985–2008 гг.

Континент	Количество наводнений	Число погибших	Число эвакуированных, тыс. человек	Площадь пострадавшего региона, млн км ²	Ущерб, млрд долл.
Европа	329	2351	3370	17	114,646
Азия	1660	507936	552433	146,5	475,075
Африка	481	21141	28056	58,9	5,220
Северная Америка	588	29471	44105	47,9	217,724
Южная Америка	261	26923	13655	49,6	15,765
Австралия и Океания	148	672	667	17	4,815
Итого	3467	588494	642287	336,9	833,245

Несмотря на дискуссионность причин потепления климата, к возможной причине роста числа наводнений следует относиться с повышенным вниманием, поскольку для ряда регионов свой-

ственной взаимосвязь между ростом глобальной температуры воздуха и увеличением количества тропических циклонов, ураганов, тайфунов и принесенных ими осадков.

По неполным данным в результате наводнений за период с 1985 по 2008 г. включительно общая суммарная площадь пострадавших от них регионов составила около 337 млн км², что фактически превосходит общую площадь суши Земли в 2,5 раза. Во время наводнений из зоны затопления и пострадавших от наводнений регионов было эвакуировано более 642 млн человек, а число погибших превысило 580 тыс. человек (табл. 7.2).

Суммарный ущерб только ¼ из общего числа занесенных в реестр наводнений составил более 833 млрд долл. США. Фактический ущерб от наводнений, даже по скромным подсчетам, не менее 2000 млрд долл. (ежегодно примерно 100 млрд долл.).

Наибольшее число наводнений зарегистрировано на территории стран азиатского континента – 1660 (табл. 7.2, рис. 7.1). Больше всего (более 100 наводнений) зарегистрировано на территории США, Китая, Индонезии, Филиппин.

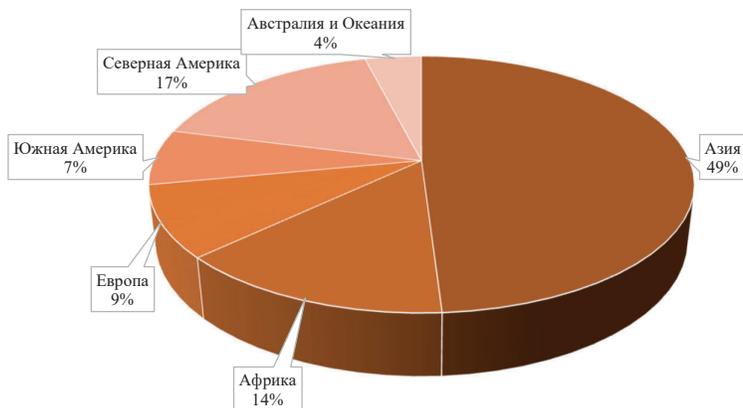


Рисунок 7.1. Распределение наводнений по континентам с 1985 по 2008 г.

В целом конец XX и начало XXI века характеризуются увеличением числа наводнений и материального ущерба от них. Число жертв от наводнений подвержено значительным колебаниям и во

многим зависит от того, в каких регионах они происходят. Так, несмотря на самое большое количество наводнений, зарегистрированных с 1985 по 2008 г. в США, число жертв было здесь во много раз меньше, чем в странах Юго-Восточной Азии и Африки. В материальном отношении от наводнений больше страдают высокоразвитые страны.

Одно из самых разрушительных наводнений в истории случилось 31 мая 1889 г., когда в считанные минуты был снесен г. Джонстаун (штат Пенсильвания, США) и погибло более 2 тыс. человек.

А.А. Таратунин так описывает это наводнение. Город Джонстаун расположен на плоской местности, в междуречье рек Кономо (Коунем) и Стон (Стоун) Крик. В 1824 г. в 20 км выше города была запроектирована и построена в 1836 г. крупнейшая для своего времени земляная дамба для удержания воды в вырытом русловом водохранилище длиной 3 км, шириной 1,5 км и глубиной 21 м. В сечении, у основания, ширина дамбы достигала 82 м и 3 м на гребне. От одной каменной скалы до другой она протянулась на 280 м. Высота гребня дамбы над ложем реки имела 30-метровую отметку. В водопропускном отверстии было размещено пять чугунных труб, каждая диаметром 60 см. Это сооружение с помощью регулировочных клапанов, расположенных в соседней деревянной башне, должно было спускать воду из водохранилища, объем которого составлял 20 км³. Вдобавок на восточном конце дамбы в скале был вырублен водослив шириной 21 м и глубиной около 3 м.

Когда строительство дамбы было завершено, она уже устарела. К этому времени повсюду в Элегенских горах путь сообщения канал – железная дорога был заменен одними железнодорожными перевозками. По этой причине в 1879 г. Пенсильвания продала дамбу вместе с водохранилищем Саутфоркскому клубу любителей рыбной ловли и охоты. Был проведен косметический ремонт разрушающейся дамбы, построены коттеджи и здание клуба. Для затыкания дыр и наложения заплаток были использованы ветки болиголова и стволы деревьев. Трубы для отвода воды были удалены и водопропускной канал заделан. На случай непредвиденного повышения воды в водохранилище и предот-

вращения ее переливания через верх дамбы был оставлен только водослив, гребень дамбы был выровнен и расширен для строительства шестиметровой дороги, в результате чего водослив оказался заблокирован обломками и всяким хламом. Плюс к этому на него натянули рыболовную металлическую сеть, что еще больше уменьшило его пропускную способность.

Наводнения того или иного вида случались каждый год, включая и знаменитое «тыквенное» 1820 г., когда тысячи тыкв поплыли в город, принесенные паводком с ферм, расположенных выше по течению. Жители г. Джонстаун подозревали об опасности наводнений, которыми грозили такие модификации дамбы.

В конце третьей декады мая 1889 г. неожиданная сильная буря пронеслась в горном районе западной Пенсильвании. Трехдневные ливни наполнили влагой и без того уже переувлажненную почву, которая за месяц до этого была насыщена влагой в результате снеготаяния. Реки были наполнены до самых бровок, озера выше г. Джонстаун – тоже. Сотни м³ воды стали сливаться через частично заблокированный водослив.

Позже было подсчитано, что реки и выпадавшие осадки обеспечили поступление в водохранилище 278 м³/с воды, в то время как пропускная способность водотока составляла только 166 м³/с и то при условии, что он совершенно свободен от посторонних предметов.

Попытка 30 человек, членов клуба любителей рыбной ловли и охоты, укрепить дамбу и очистить водослив не увенчалась успехом.

31 мая в 15 часов 10 минут дамба не выдержала создавшегося напора воды. Из воспоминаний одного из очевидцев: «Стена воды высотой 45 м со скоростью 80 км/час устремилась на деревню Саут-Форк. Деревня была предусмотрительно построена на возвышенности, и снесено было только 24 дома».

Но теперь несущаяся вода тащила вниз по течению от деревни Саут-Форк всякий плавающий хлам, включая дома, деревья, обломки железнодорожного моста. Инженер товарного поезда Джон Гесс, ожидавший возможности провести состав через мост, получив телеграфное сообщение о приближении воды, дал поезду задний ход.

Пока поезд давал задний ход, водяной поток врезался в деревню Минерал Пойнт и снес ее с лица земли, погубив при этом 16 человек. В деревне он подхватил местную церковь и потащил ее вниз по течению, швыряя, как игрушечную.

В Пенсильванском железнодорожном и паровозном депо у Западного Коунмо поток подхватил и легко понес 33 локомотива модели Консолидейшен (вес каждого составлял 85 т), прихватив еще 315 грузовых и 18 пассажирских вагонов. Позднее один паровоз был обнаружен зарытым в песок и камни на расстоянии почти полутора километров от своего первоначального местонахождения.

Поглотив Западный Коунмо, смертоносная, несущая обломки волна вторглась в г. Вудвейл. Здесь бушующий водный поток перевернул 800 строений, смял, как спичечные коробки, 255 жилых дома и убил 1000 жителей. Через некоторое время вода достигла сталепрокатного завода. Начали взрываться его котлы, выбрасывая в воздух фонтаны пара на высоту в десятки метров.

В 16 часов вечера исполинская волна достигла окрестностей г. Джонстауна. Она несла обломки домов, заводов, железнодорожные вагоны и паровозы, деревья и телеграфные столбы, стальные рельсы, валуны, тела людей и животных. Только десять минут понадобилось ей, чтобы лишить жизни еще 1000 человек.

«В одно мгновение пустые улицы стали черными от бегущих, спасающихся от потока людей, – писал один репортер. – Вода достигала и слизывала их одним жадным, яростным броском».

Несколько секунд хватило, чтобы под напором потока рухнули огромные каменные здания, заваливая сотни людей, которые, несомненно, надеялись найти там безопасное место. Покрылись трещинами и обрушились каменные строения германской лютеранской церкви и христианского союза молодых людей. В развалины превратились все муниципальные здания. Обрушилось здание отеля «Гулберт хауз», похоронив 60 постояльцев, которые столпились на лестнице третьего этажа, ведущей на крышу, где они надеялись спастись.

За г. Джонстаун ниже по течению реки поток налетел на каменный железнодорожный мост, который на 9,5 метров возвышался над нормальным уровнем воды в реке. Он остался

стоять, но река нагромодила вокруг него огромную гору обломков скальных пород, остатков разрушенных зданий, глыб земли, живых и мертвых человеческих тел. Поток подхватил угольные печи, в которых был горящий уголь. Загорелся товарный вагон с известью, когда она вступила в реакцию с водой. К 18 часам гора мусора, застрявшего у моста, превратилась в исполинский погребальный костер. Оказавшиеся в этой массе люди пытались освободиться. Огонь поглотил почти всех.

Двести человек удалось освободить от захватившей их горы обломков, но бесчисленное множество погибло. На следующий день еще несколько живых откопали из-под кучи мусора, других обнаружили под обломками зданий. Почти в сотне км вниз по течению, у г. Питсбурга, в плывущем полуразрушенном доме на полу нашли пятимесячного ребенка. На протяжении нескольких недель по течению реки плыли трупы погибших людей или их находили прибитыми к берегу.

Огромные бедствия приносят *цунами*. Цунами (длинные гравитационные волны) представляют собой колебания поверхности воды, возникающие при внезапном смещении участков морского дна. Чаще всего цунами значительной величины возникают в результате резкого, сопровождающегося землетрясением в шесть баллов и выше по десятибалльной шкале Рихтера, смещения по подводному разрыву. Цунами, так же как и землетрясения, классифицируются по магнитуде. Магнитуда цунами определяется по аналогии с магнитудой землетрясений. Энергия цунами обычно составляет от 1 до 10% энергии вызывающих их землетрясений. Кроме того, причиной цунами могут быть подводные вулканические извержения, оползни на подводных склонах.

В открытом океане волны цунами по своей длине во много раз превосходят все другие морские волны. Расстояние между гребнями волн цунами варьирует в значительных пределах – от 5 до 1000 км. Обычно цунами представляет собой несколько волн, идущих одна за другой. В открытом океане заметить их трудно, так как их высота не превышает 2 м. Скорость распространения цунами велика и достигает 1000 км/час. Волна цунами идет от Чили до Гавайских островов около десяти часов, а от Чили до Японии – около 20 часов.

При подходе к побережью скорость волны резко уменьшается. Одновременно во много раз возрастает амплитуда волны, доходя до 35 м и более. Разница по времени между следующими одна за другой волнами-цунами (число которых чаще всего от трех до десяти) может составлять от нескольких минут до полутора-двух часов. По продолжительности затопления такие наводнения самые быстротечные. Высота подъема воды и расстояние, на которое она отступает, значительно меняются вдоль побережья в зависимости от глубины моря, конфигурации берега, угла направленности цунами к берегу.

Известны более 1000 случаев цунами, из них свыше ста с катастрофическими последствиями, связанные с полным уничтожением сооружений, смывом населенных пунктов и почвенно-растительного покрова. Около 80% цунами возникает на периферии Тихого океана.

Самое разрушительное в начале XXI века по своим последствиям цунами (магнитуда девять баллов) имело место в Индийском океане 26 декабря 2004 г. Оно вызвало наводнения в береговой зоне Индонезии, Шри-Ланки, Индии, Таиланда, Малайзии, Бангладеш, Мьянмы и Мальдивских островов, а также Танзании, Сомали, Кении и Сейшельских островов. Волна двигалась со скоростью около 900 км/час. Основной удар стихии пришелся на прибрежную полосу шириной до 1 км (на наиболее освоенную зону курортного бизнеса азиатских стран). Отсутствие в Индийском океане системы раннего предупреждения явилось одной из основных причин огромного социально-экономического ущерба. Общее число погибших во время цунами, по разным данным, составило от 140 до 300 тыс. человек, миллионы человек пострадали. Пострадали или погибли граждане 40 государств, в числе которых туристы из Канады, Швеции, Швейцарии, Норвегии, Финляндии, Германии, России, Италии и других стран. Ущерб только по странам Юго-Восточной Азии оценен в 20 млрд долл.

Практически ни один участок прибрежной полосы, расположенный вдоль океанов и морей, не застрахован от воздействия цунами. Но более всего подвержено цунами Тихоокеанском побережье, однако эти волны причиняют ущерб и на побережьях других океанов (Атлантического, Индийского).

Часты наводнения различного происхождения и в России, но в основном они вызваны разливами рек. Ежегодно в нашей стране подвергается затоплению около 500 тыс. км². Наводнениям с катастрофическими последствиями подвержена территория в 150 тыс. км², в пределах которой расположены 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов. Чаще всего они случаются в бассейнах рек Лены, Северной Двины, Амура, Северного Кавказа. Достаточно вспомнить катастрофическое заторное наводнение в Якутии в 2001 г., 2020 г. на Северной Двине, наводнение 2012 г. в Краснодарском крае, в г. Крымске, расположенном на берегах р. Адагум, когда ее уровень поднялся на 4–7 м. Было разрушено много домов, а человеческие жертвы, по официальной статистике, превысили 150 человек. Или катастрофическое наводнение 2013 г. в бассейне Амура. Совсем недавно, 2021–2022 гг., крупные наводнения имели место на черноморском побережье Кавказа и в Крыму.

Вместе с тем по интенсивности и повторяемости наводнений, а также по ущербу от них, Россия в целом уступает среднемировым показателям. Это хорошо видно из табл. 7.3, составленной С.Г. Добровольским и М.Н. Истоминой (2006).

Таблица 7.3.

Величина ущерба от наводнений за 1998–2002 гг.

Регион	Ущерб от наводнений, млн долл.	Ущерб на 1 наводнение, млн долл.	Ущерб на 1 км ² , долл.	Ущерб на 1 человека, долл.	Ущерб, % от ВВП
Северная Америка	15714	148,2	648	38,80	0,03
Южная Америка	7113	76,5	389	20,44	0,11
Европа	34480	341,4	3448	47,49	0,07
Азия	64881	171,6	1495	17,39	0,17
Африка	1560	13,9	52	1,96	0,06
Австралия	960	29,1	126	49,11	0,04
Итого по миру	124708	151,5	932	20,69	0,08
Россия	1600	13,1	94	11,04	0,13

Помимо наводнений на территории России широкое распространение получили и другие ЭГС. В России *подтапливается* в результате подъема уровня грунтовых вод около 9 млн га земель,

в том числе 5 млн га сельскохозяйственных и 0,8 млн га застроенных городских территорий. Из общего числа городов подтопление отмечается почти в 75%. На огромных площадях наблюдается интенсивная эрозия почв. В числе наиболее опасных ЭГС сели и лавины.

Сель – грязевой или грязекаменный поток, внезапно возникающий в руслах горных рек и характеризующийся резким кратковременным подъемом уровня, волнообразным движением и отсутствием строгой периодичности, значительным эрозионно-аккумулятивным разрушительным эффектом. Скорость селя может быть более 10 м в секунду. Известны случаи, когда высота вала достигала 15 м и легко переносились валуны весом 300 т.

Селевые процессы проявляются на территории России примерно на 8% ее площади и развиваются в горных регионах Северного Кавказа, Западных и Восточных Саян, в Байкальской рифтовой зоне, на Камчатке, Северном Урале и Кольском полуострове, в районе Верхоянска и Норильска. Наиболее опасные селевые процессы развиты на северном склоне Большого Кавказского хребта и на восточном побережье Камчатки, Восточном и Западном Саяне, Прибайкальской рифтовой зоне, на Сахалине. Средняя повторяемость селей в этих районах составляет от 5 до 15 лет; максимальный объем селевых потоков для среднегорий – до 500 тыс. м³, для высокогорий – до 5 млн м³.

Бывают сели и на равнинных территориях. Катастрофическим по своим последствиям был сель в овраге Бабий Яр в г. Киве 13 марта 1961 г. Основной причиной послужили оползень на откосе оврага, перелив намываемого грунта через недостроенную дамбу, ее быстрое разрушение и продвижение разжиженного грунта вниз по оврагу. Размеры оврага Бабий Яр составляли: в длину – 2 км, в ширину – от 170 до 200 м, по глубине в средней части – 53 м. Скорость селя превышала 5 м/с, высота переднего фронта волны достигала 10 м, объем вынесенного материала – около 7 млн м³. Результатом схода селя явились человеческие жертвы и большой материальный ущерб.

Лавинами называют пришедшие в движение и низвергающиеся с гор снежные массы. Возникновение лавины возможно во всех горных районах, где формируется снежный покров. Лавино-

опасное место – длинный склон с крутизной 45 градусов и более. Скорость пылевидных лавин достигает 450–500 км/час, грунтовых лавин из мокрого снега – 60–120, лавин из сухого снега – 160–200 км/час. Ударная воздушная волна, движущаяся впереди скользящего снега, обладает высокой скоростью, сравнимой со скоростью турбулизованного атмосферного потока, и может вызвать разрушения в радиусе более 100 м от конуса выноса сошедшего снега. Для человека опасна даже совсем небольшая лавина. Совсем маленький обвал в 5 м³ снега с плотностью 0,2 т/м³, мчащийся со скоростью 10 м/с, эквивалентен наезду машины со скоростью 30 км/час.

Размеры особо крупных лавин отличаются по различным горным регионам и зависят от геоморфологии и метеорологических условий. Максимальный объем зарегистрированных лавин составляет на Кавказе 5,9 млн м³.

Ежегодно в России в лавинах погибает в среднем более 20 человек. При этом наибольшее число жертв дает Транскавказская автомагистраль. К числу крупнейших лавинных катастроф в России относятся события зимы 1992–1993 гг. на Кавказе, когда только в районе Транскавказской автомагистрали погибло 56 человек. Ущерб мог бы быть неизмеримо выше, однако лавиноопасные районы в России мало заселены. Плотность населения на лавиноопасных территориях России составляет менее двух человек на 1 км², тогда как в лавиноопасных районах Альп она достигает 75 человек на 1 км².

Опасность лавин существует на 9% территории России в горных районах страны, где часты обильные снегопады и метели (пять регионов, включающих 51 лавиноопасный район). К лавиноопасным районам России относятся значительные области Хибин, Кавказа, Урала, Камчатки, северо-востока, Алтая, Саян и обширные пространства к востоку от р. Енисей. Во всех горных районах сход лавин возможен в среднем один раз в семь-десять лет. Лавины угрожают восьми городам России, еще в 36 городах существует опасность для коммуникаций.

Наиболее известная лавинная катастрофа на территории России произошла 5 декабря 1935 г. в Хибинах. Две лавины, обрушившиеся одна за другой с г. Юкспор, вызвали значительные

разрушения в горняцком поселке и гибель 88 человек. Это событие стало импульсом для начала систематизированных научных исследований лавин в нашей стране.

7.2. Маловодье как экстремальное гидрологическое явление

Маловодье – сравнительно малое количество воды в реках, водоемах, других водных объектах, а также в почвенных и грунтовых горизонтах. Сравнение может быть пространственным и временным. Очевидно, что в условиях широтной географической зональности на территории Русской равнины южные ее районы по слою местного стока являются маловодными по сравнению с северными. Внутри речного бассейна водораздельные и приводораздельные участки гораздо хуже обеспечены ресурсами стока, чем приречные территории. Горные районы в связи с высотной поясностью, как правило, гораздо более многоводны, чем предгорные. Наличие транзитных рек может кардинально изменить ситуацию, Например, наличие Волги превращает исключительно бедную местными водными ресурсами Астраханскую область в одну из самых водообеспеченных.

В соответствии с широтной и высотной географической зональностью распределяется и большинство других водных ресурсов, например, ресурсов почвенной влаги. В то же время ситуация может быть несколько иной по сравнению с распределением стока. Так, именно на водораздельных и приводораздельных участках отмечаются наибольшая мощность почвенного покрова и величина запасов почвенной влаги, тогда как на площади гидрографической сети и прилегающих крутых склонах, ввиду эрозионных процессов, слой почвенного покрова и влагозапасы значительно меньше.

Наиболее же часто говорят о маловодье во временном аспекте. Если иметь в виду речной сток, то маловодным обычно считается его величина 75 и более процентов обеспеченности, то есть та, вероятность превышения которой составляет 75% в гидрологическом ряду. Самые маловодные годы имеют больший процент обеспеченности, например, 90, 95 и более. Даже в хорошо обеспеченных водными ресурсами районах случаются маловодные

периоды, но они характеризуются все же значительно большими величинами, чем такие же периоды в более бедных водными ресурсами районах. При этом в маловодные периоды различия в водообеспеченности по сравнению со средними условиями значительно возрастают. Так, сток Дона у Раздорской, формирующийся в лесостепной и степной зонах, в экстремально маловодный год ниже среднего многолетнего в 2,18 раза, тогда как аналогичный сток в устье близкой по площади бассейна Северной Двины, протекающей в северной части лесной зоны, – лишь в 1,44 раза. То есть при различии в среднем многолетнем стоке в четыре раза в экстремально маловодный год это соотношение возрастает до шести раз.

Во внутrigодовом разрезе маловодья чаще всего приурочены к периодам зимней и летней межени. Именно в эти периоды выделяется 30-дневный (месячный) период минимального стока, положенный в основу водохозяйственных расчетов.

Природное маловодье нередко усугубляется хозяйственной деятельностью, прежде всего водозабором на различные нужды и сопутствующим безвозвратным расходом. Наиболее яркий пример – ситуация с Аральским морем, где рост безвозвратных изъятий в его бассейне привел к резкому обмелению Амударьи и Сырдарьи и катастрофическому падению уровня моря.

В хозяйственно освоенных районах показателей природной водности недостаточно и приходится соотносить их с показателями, характеризующими антропогенную нагрузку на среду. При этом в разряд маловодных могут попасть и районы, располагающие в природных условиях сравнительно большими водными ресурсами.

С учетом хозяйственной освоенности территории воднеобеспеченными, по данным Европейской комиссии ООН, считаются государства, водные ресурсы которых на одного человека составляют менее 1,5 тыс. м³. Отметим, что в России аналогичный показатель около 30 тыс. м³, в Казахстане – 6 тыс. м³, а на Украине – 1 тыс. м³.

При общей благополучной картине для России в целом есть большая группа областей, где этот показатель водообеспеченности ниже нормативов. В их числе области юга России, располага-

ющие малым объемом природных водных ресурсов, а также ряд областей центра России, в которых велик антропогенный пресс на воды.

7.3. Экстремальное загрязнение природных вод

Воды может быть много, но если она низкого качества и малопригодна или вовсе непригодна для хозяйственных целей, то с антропоцентрических позиций районы, в которых имеет место подобная ситуация, также можно причислять к маловодным. Так, маловодье в бассейне Арала усугубляется ростом минерализации речных вод до 2-3 г/л и присутствием в них ядохимикатов и других загрязняющих веществ. Следует отметить, что между качеством природных вод и их количеством обычно прослеживается довольно отчетливая связь, во всяком случае, при рассмотрении слоя речного стока и минерализации речных вод. Чем водообильней район, тем ниже их минерализация. В степных и полупустынных районах России минерализация воды в малых реках может превышать 1 г/л, что делает их малопригодными для питьевого водоснабжения. Но, конечно, главный фактор неудовлетворительного качества воды – загрязнение рек и водоемов сточными водами и опасными ингредиентами, смываемыми с территории водосборов.

Наиболее опасно экстремальное загрязнение рек и водоемов, под которым понимается максимальное разовое содержание особо токсичных веществ, например, ртути, фосфора, свинца, превышающее предельно допустимую концентрацию (ПДК) в пять и более раз, других загрязняющих веществ в 50 и более раз. Существует и ряд других показателей экстремальной ситуации с качеством воды, например, снижение содержания растворенного кислорода в воде рек и водоемов до 2 мг/л и менее.

Об опасности загрязнения, особенно экстремального, будет еще сказано в главе о водных проблемах.

Глава 8.

МНОГООБРАЗИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ

Всем очевидны такие воздействия на природные воды, как водозабор для удовлетворения питьевых потребностей и различных хозяйственных нужд, гидротехнические сооружения, обеспечивающие водозабор и снижающие опасность наводнений, загрязнение рек и водоемов после использования воды, ее очистка. Но существуют и менее очевидные, часто неумышленные воздействия, приводящие подчас к существенным изменениям количества и качества природных вод. По существу, любая деятельность человека сказывается на природных водах. Другое дело, что это часто бывает незаметно. В табл. 8.1 указаны основные признаки для классификации антропогенных воздействий на воды, водные ресурсы. Это: назначение деятельности человека по отношению к водным ресурсам; место деятельности, механизм антропогенных воздействий и их результаты (изменения водных ресурсов).

Таблица 8.1.

Основные классификационные признаки антропогенной нагрузки на водные ресурсы и их индексация

Признак	Индекс
Назначение:	A
непреднамеренные воздействия	A ₁
преобразование	A ₂
потребление воды	A ₃
Место:	B
в атмосфере и космосе	B ₁
на водосборах	B ₂
в водных объектах	B ₃
Механизмы:	B
косвенные (неявные) воздействия	B ₁
непосредственные воздействия с изъятием или подачей воды	B ₂
непосредственные воздействия без изъятия или подачи воды	B ₃
Изменение:	Г
годового количества водных ресурсов	Г ₁
внутригодового режима	Г ₂
качества вод	Г ₃

В табл. 8.1 каждый из выделенных признаков и основные его подразделения наделены условным индексом, позволяющим, как показано в табл. 8.2, кратко охарактеризовать укрупненные и вместе с тем достаточно специфичные виды деятельности человека (всего 16), с влиянием которых необходимо считаться в первую очередь. Рамки выделенных видов достаточно широки. Каждый из них включает в себя несколько более частных видов, объединяемых общностью воздействий на водные ресурсы. Перечень индексов после каждого из видов деятельности человека (шифр основных воздействий) позволяет выявить принципиальные черты сходства и различия их по влиянию на воды. Например, для сельскохозяйственного использования территории, включающего обычное (неорошаемое) земледелие, выпас скота и т. п., характерно в основном непреднамеренное влияние на водные ресурсы, поскольку решается широкий круг задач сельского хозяйства (индекс A_1), но наряду с этим осуществляются меры по целенаправленному изменению водного баланса сельскохозяйственных полей (преобразованию – A_2) и использованию ресурсов почвенной влаги (A_3). Это влияние осуществляется рассредоточенно по территории (B_2), не непосредственно, а через почву, растительность и другие элементы природы (B_1) и приводит к изменению как количества, так и качества вод ($\Gamma_3, \Gamma_2, \Gamma_1$). Близкую картину дают и другие виды человеческой деятельности, осуществляемые преимущественно на водосборах и воздействующие на водные ресурсы (№ 2–7) в основном непреднамеренно и косвенно.

Заметно отличаются от них непосредственные воздействия (№ 9–14). Так, хозяйственно-бытовое и промышленное водопотребление осуществляются преимущественно целенаправленно (A_3), хотя и не исключают побочных непредусмотренных последствий (A_1). Они начинаются изъятием воды непосредственно из водных объектов с последующим в большинстве случаев возвратом части ее после использования (B_3, B_2), продолжают на водосборах (B_2), связаны с косвенным (в основном через почву) воздействием (B_1) и приводят в первую очередь к загрязнению рек сточными водами (Γ_3), а во вторую и третью очереди – к изменению режима и годового количества вод (Γ_2, Γ_1).

Таблица 8. 2.

Общая характеристика влияния укрупненных видов
деятельности человека на водные ресурсы

№	Вид деятельности	Индексы* (шифр основных влияний)
1.	Действия в атмосфере и космосе	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₁ , Г ₂ , Г ₁ , Г ₃
2.	Сельскохозяйственное использование территории	A ₁ , A ₂ , A ₃ , B ₂ , B ₁ , Г ₃ , Г ₂ , Г ₁
3.	Лесное хозяйство	A ₁ , A ₂ , B ₂ , B ₁ , Г ₂ , Г ₃ , Г ₁
4.	Рост урбанизированных площадей	A ₁ , B ₂ , B ₁ , Г ₅ , Г ₁ , Г ₃
5.	Горнодобывающая промышленность	A ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₁ , B ₂ , Г ₃ , Г ₂ , Г ₁
6.	Рекреация, туризм на водосборе	A ₁ , B ₂ , B ₁ , Г ₃ , Г ₂ , Г ₁
7.	Осушение земель	A ₂ , A ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₁ , B ₂ , Г ₂ , Г ₁ , Г ₃
8.	Орошение земель	A ₂ , A ₃ , A ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , B ₁ , Г ₁ , Г ₂ , Г ₃
9.	Хозяйственно-бытовое и промышленное водопотребление	A ₃ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₂ , B ₁ , Г ₃ , Г ₁ , Г ₂
10.	Рыбное хозяйство	A ₂ , B ₃ , B ₂ , B ₃ , Г ₂ , Г ₁
11.	Очистка вод	A ₂ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , B ₃ , Г ₃ , Г ₁
12.	Гидротехническое регулирование стока	A ₂ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , B ₁ , Г ₂ , Г ₃ , Г ₁
13.	Территориальное перераспределение водных ресурсов	A ₂ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₂ , Г ₃ , Г ₁ , Г ₂ , Г ₃
14.	Опреснение засоленных вод	A ₂ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , Г ₃ , Г ₁
15.	Общее водопользование**	A ₃ , A ₁ , B ₃ , B ₃ , Г ₃
16.	Военные действия, террористические акты, аварии	A ₁ , A ₂ , A ₃ , B ₂ , B ₃ , B ₁ , B ₁ , B ₃ , B ₂ , Г ₃ , Г ₂ , Г ₁
Все виды деятельности (обобщенно)		A ₃ , A ₂ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₁ , B ₃ , B ₁ , B ₃ , Г ₃ , Г ₂ , Г ₁

* Индексы, объединяемые одной буквой, расположены в порядке преимущественного снижения значимости воздействий.

** Гидроэнергетика, водный транспорт, водный туризм и т.п.

В **рыбном хозяйстве** важную роль играет создание рыбоводных прудов, испарение с которых уменьшает годовые ресурсы стока, но увеличивает их в меженный период. **Очистка вод**, осуществляемая как на искусственных сооружениях, так и через посредство почвы, биоты, помимо своего прямого назначения

может иметь и негативные последствия. Среди них увеличение испарения и, соответственно, уменьшение стока. Очистные сооружения могут быть источником вторичного загрязнения вод.

Гидротехническое регулирование стока является, как известно, мощным средством увеличения стока в маловодные периоды и годы за счет половодья и паводков. Вместе с тем создаваемые водохранилища являются крупным источником потерь воды на испарение. Вопрос о влиянии водохранилищ на качество вод остается дискуссионным. Но нет сомнения в том, что это влияние очень существенно.

Территориальное перераспределение водных ресурсов – одно из самых радикальных средств преобразования водных ресурсов, резко увеличивая их в одних местах и уменьшая в других.

Опреснение засоленных вод, естественно, резко меняет качество воды, увеличивая тем самым ресурсы пресных вод. Но пока оно носит локальный характер.

Общее водопользование сказывается прежде всего на качестве вод, в основном ухудшая его.

Промежуточное положение занимают осушение и орошение земель (№ 7, 8). С одной стороны, они осуществляются целенаправленно и связаны с непосредственным воздействием на водные ресурсы, а с другой – при водных мелиорациях существенно (по сравнению с прочими непосредственными воздействиями) возрастает роль водосбора и косвенных воздействий на воды, что роднит осушение и орошение земель с видами деятельности человека под № 2–6.

Особо выделим воздействие на водные ресурсы через климат (№ 1). Сейчас происходящие и возможные изменения климатических условий и их гидрологические последствия широко обсуждаются научной общественностью. Уже в последние десятилетия глобальное потепление климата, в основном, как считается, антропогенного происхождения (хотя эта точка зрения разделяется далеко не всеми исследователями), привело на значительной части России к существенному изменению величины речного стока и его структуры. Соответственно изменяются интенсивность эрозионных процессов, мутность воды и разбавление попадающих в воду ингредиентов. Активные

воздействия на климатические процессы в атмосфере, способствующие выпадению осадков или, наоборот, их предупреждению, носят пока весьма локальный характер.

Обобщенно структура основных нагрузок на водные ресурсы представлена в последней строке табл. 8.2. Но в каждом регионе она своя. Для преимущественно сельскохозяйственного водосбора на первый план, очевидно, выходят виды хозяйственной деятельности под № 2, 8, отчасти № 9, в меньшей степени – № 1 (трансграничный перенос загрязнений), 6, 12 и др.

Для водосбора с развитой промышленностью особенно актуальны № 4, 5, 9, 11, 16, хотя нельзя не учитывать и того, что обычно урбанизированные территории занимают сравнительно небольшую часть общей площади водосбора, а остальную занимают сельскохозяйственные угодья.

Особого внимания заслуживают различного рода экстремальные ситуации, выделенные под № 16, поскольку они, например, разрушение атомных и гидроэлектростанций, химических заводов, массовое заражение местности, могут привести к кардинальным изменениям состояния водных ресурсов, прежде всего их качества и режима.

В последующих главах более детально рассмотрим воздействие на водные ресурсы хозяйственной деятельности на водосборах до попадания воды в речную сеть, совокупности гидротехнических сооружений, а также водозабора из рек и водоемов.

Глава 9.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ВОДОСБОРАХ

Любая хозяйственная деятельность сказывается на водном балансе и водных ресурсах. В гл. VIII было показано все многообразие этих воздействий. В их число входят и различные виды хозяйственной деятельности на водосборах рек и водоемов. Эти виды деятельности можно разделить на две основные группы. В одну входят те, которые преднамеренно их преобразуют. Другую группу составляют те виды деятельности, которые воздействуют на воды неумышленно, решая свои сугубо специфические задачи. Но, в большинстве случаев, при осуществлении хозяйственной деятельности на водосборах не учитывается, как она скажется на водных ресурсах рек и водоемов.

9.1. Преобразование водного баланса агротехническими и лесомелиоративными средствами

Основная цель этих преобразований – улучшение условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, прежде всего в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения. Конечно, наиболее радикальное средство решения проблемы – это орошение в засушливых районах и осушение в переувлажненных. Если в каком-то районе засушливые и избыточно увлажненные сезоны чередуются, создаются системы двухстороннего регулирования водного режима территории. Однако системами орошения и осушения охвачена обычно сравнительно небольшая часть сельскохозяйственных полей. На большей их части, где ведется обычное (богарное) земледелие, осуществляются агротехнические и агролесомелиоративные (связанные с созданием лесных полос) мероприятия. Эти мероприятия осуществляются во всем мире, в том числе и в нашей стране. В районах избыточного увлажнения их задачи заключаются в быстрейшем удалении воды с сельскохозяйственных полей путем создания лучших

условий для стока, усиления испарения почвенной влаги. В засушливых районах, напротив, эти мероприятия направлены на увеличение и экономное расходование почвенной влаги. В России второе направление особенно актуально.

Известно, что большая часть пахотных земель России периодически подвергается засухам. Районы, являющиеся житницей страны, получают в год менее 500 мм осадков. В этом отношении земледелие России находится в гораздо менее выгодных условиях, чем, например, земледелие США, не говоря уже о таких западноевропейских странах, как Германия, Франция, Великобритания. Дефицит ресурсов почвенной влаги – основной фактор, лимитирующий урожайность в нашей стране. Осуществление ряда мер, не связанных по своему прямому назначению с преобразованием водного баланса сельскохозяйственных полей (селекция, борьба с сорняками и вредителями сельскохозяйственных культур, применение удобрений), позволяет существенно повысить урожай в засушливой зоне. Однако наиболее эффективно это можно сделать при осуществлении комплекса мер, в котором одну из главных ролей играют мероприятия по накоплению и рациональному использованию ресурсов почвенной влаги за счет снижения поверхностного стока с полей, уменьшения ветрового сноса снега, подавления непродуктивного испарения.

Расчеты показывают, что при прочих равных условиях для увеличения на 1 ц урожайности зерновых на неорошаемых землях в засушливой зоне необходимо увеличить расход воды на транспирацию на 80–160 м³/га (80–160 мм) или же дополнительно накопить к началу вегетационного периода 250–350 м³/га воды (считая, что более половины ресурсов почвенной влаги будет израсходовано на непродуктивное испарение). Улучшение условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур тесно связано с решением двух других важных задач – борьбой с эрозией и предотвращением загрязнения рек и водоемов химическими веществами, выносимыми стоком с полей.

Агротехнические мероприятия. Их действие на водный баланс и сток сказывается в основном через почву. Выше уже говорилось о том, что воднофизические свойства почвы, ее инфильтрационная и водоудерживающая способность изменяют-

ся в широких пределах в зависимости от способа ее обработки. А вместе с ними весьма существенно изменяются и все элементы водного баланса, в первую очередь поверхностный сток.

Очень важную гидрологическую роль в нашей стране сыграл такой агротехнический прием, как *зяблевая* (осенняя) пахота. Дело в том, что вплоть до коллективизации сельского хозяйства (в конце 1920 – начале 1930-х годов) зяблевая пахота у нас в стране (за исключением западных районов) почти не применялась. Почва вспахивалась, как правило, весной после схода снежного покрова и полного ее оттаивания. Причем пахота осуществлялась плугом на конной тяге и на небольшую глубину. Мало-мощность крестьянских хозяйств не позволяла им после уборки урожая и посева озимых управиться еще со вспашкой почвы под посев яровых следующего года. Кроме того, пожнивные остатки служили немалым кормовым подспорьем для домашнего скота, который выпасался на стерне почти до наступления зимы. Сказывался, конечно, и недостаточно высокий уровень агрокультуры большей части крестьянства. Между тем преимущества зяблевой пахоты перед весновспашкой были известны давно. Еще в конце XIX столетия известный русский писатель Н. Г. Гарин-Михайловский, сам занимавшийся сельским хозяйством в Бугурусланском уезде Самарской губернии (ныне Куйбышевской области), писал: «На земле, вспаханной с осени, влага гораздо лучше держится, чем на непаханой... Причем вода не сбегает, как она сбегает по гладкой жниве, а тут же, вследствие неровности пашни, задерживается и проходит в землю». Другими словами, почва, вспаханная с осени, остается разрыхленной до снеготаяния, а потому обладает лучшими инфильтрационными свойствами и способствует увеличению ресурсов почвенной влаги за счет поверхностного стока. Горячими сторонниками зяблевой пахоты были В. В. Докучаев, А. А. Измаильский, П. А. Костычев и другие передовые ученые того времени. Однако лишь после коллективизации сельского хозяйства, сопровождавшейся появлением большого количества тракторов, зяблевая пахота получила в СССР широкое распространение. Во время Великой Отечественной войны и в годы послевоенного восстановления народного хозяйства площадь под зябью опять резко сократилась. По существу,

широкое распространение она получила лишь в середине 1950-х годов. Условия формирования стока в результате введения зяблевой пахоты изменились в ряде районов и речных бассейнов более чем на 50% площади водосбора. Следовательно, в прежние средние многолетние воднобалансовые данные необходимо вносить поправку. Но насколько существенную?

Прежде чем перейти к оценке гидрологической роли зяблевой пахоты и других агротехнических приемов, необходимо хотя бы вкратце остановиться на методике определения этой роли. Она базируется на данных полевых экспериментальных исследований, осуществляемых различными организациями и ведомствами на воднобалансовых (стоковых) станциях. Эти наблюдения ведутся на стоковых площадках и малых водосборах, обладающих одним несомненным преимуществом перед речными бассейнами. Они позволяют выявить в «чистом виде» роль изучаемого фактора, создавая условия равенства всех прочих факторов.

Данные воднобалансовых станций в нашей стране показывают, что гидрологическая роль зяблевой пахоты носит ярко выраженный зональный характер и возрастает с севера на юг – в направлении усиления инфильтрационных свойств почвы и увеличения дефицита влажности почвы. По сравнению с полями, не вспаханymi с осени, зябь уменьшает коэффициент поверхностного стока с полей на юге лесной зоны в 1,3–1,5 раза, в лесостепи – в 1,5–3 раза и в степной зоне – более чем в три раза.

Приведенные выше показатели характеризуют влияние зяблевой пахоты на склоновый сток в средних многолетних условиях. В зависимости от особенностей формирования стока ее эффективность колеблется в довольно широких пределах.

В лесостепной зоне в многоводные годы коэффициент стока на зяби в 1,5–1,7 раза, в средние по водности в 2,5–3 раза, в маловодные годы в десять раз ниже, чем на уплотненной пашне. В степной зоне соответственное уменьшение составляет 3–4, 8–9, а для маловодных лет – бесконечно большое число раз. Таким образом, в условиях, благоприятных для формирования стока (сильное увлажнение почвы осенью, глубокое ее промерзание, ледяная корка на поверхности почвы, интенсивное снеготаяние), различия в величине стока сглаживаются. Если же условия бла-

гоприятны для инфильтрации, роль почвенного фактора возрастает и различия становятся особенно заметными.

Зяблевая пахота влияет и на другие элементы водного баланса. В частности, снегозапасы на обычной отвальной зяби меньше, чем на полях, на которых сохранились растительные остатки, препятствующие ветровому сносу снега. Поэтому наибольшая прибавка ресурсов почвенной влаги от применения зяблевой пахоты (без снегозадержания) наблюдается там, где снижение поверхностного стока в оптимальной степени сочетается с уменьшением весенних запасов воды в снежном покрове на полях, вспаханных осенью. В лесостепной зоне ресурсы почвенной влаги возрастают на 20–25 мм. В лесной и степной зонах эта величина меньше, в первом случае – из-за неблагоприятных для инфильтрации условий, во втором – из-за сравнительно небольших величин стока даже на уплотненной пашне. В степных районах Русской равнины и Западной Сибири потери воды с пашни за счет ветрового переноса снега превосходят то количество воды, которое теряется с поверхностным стоком. Для этих районов большой влагонакопительный эффект дает безотвальная осенняя пахота с оставшейся на поверхности поля стерней, задерживающей снег.

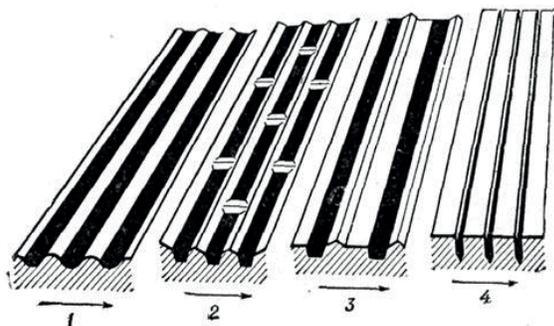
В ряде случаев на первый план выходит *борьба с непродуктивным испарением* во вневегетационный период. Для этого после основной вспашки почву выравнивают, боронуют или прикапывают ее в зависимости от увлажненности. Таким образом в ряде степных районов России удается сохранить до 25 мм влаги. В то же время боронование или прикапывание почвы, как и всякая дополнительная обработка, ведут к уплотнению почвы, что ухудшает условия инфильтрации по сравнению с обычной отвальной зябью. Однако этот процесс обычно компенсируют большей глубиной вспашки.

Как показывают экспериментальные исследования, 1 см углубления пахоты уменьшает поверхностный сток в пределах 1–5 мм. В настоящее время в большинстве земледельческих районов глубина тракторной вспашки составляет 22–25 см, а до коллективизации сельского хозяйства глубина конной пахоты не превышала, как правило, 12–16 см, поэтому современная вспашка уменьшает сток по сравнению с конной пахотой в среднем в 1,5 раза.

Из разновидностей зяблевой пахоты необходимо отметить *поперечную вспашку*. Создавая дополнительный микрорельеф на поверхности почвы и замедляя сток, зябь поперек склона способствует дополнительному влагонакоплению в среднем 3–6, а в отдельных случаях более 10 мм. Поперечная пахота является эффективным средством уменьшения дождевого стока и прекращения смыва почвы в теплое время года.

В результате осенней вспашки запасы почвенной влаги существенно пополняются, но ее дефицит не устраняется полностью ни в лесостепной, ни тем более в степной зоне. Поэтому в земледелии предпринимаются дополнительные меры для уменьшения поверхностного стока. Среди них хорошо себя зарекомендовали почвоуглубление (глубокое рыхление), гидрологическая эффективность которого близка к углублению обычной вспашки, и обвалование зяби. Как показывают воднобалансовые исследования, обвалованная (гребнистая) зябь уменьшает коэффициент стока в лесостепи в 1,2–2,2 раза по сравнению с обычной зябью, а в степных районах она может полностью прекратить склоновый сток.

Такие агротехнические приемы, как *прерывистое бороздование*, *создание микроклиманов и лунок* на поверхности почвы, *котование*, *щелевание полей*, не вспаханных с осени, еще не нашли широкого распространения, но во многих экспериментах они позволяют дополнительно задержать на полях 20–30 мм воды и более (рис. 9.1).



1 – бороздование, 2 – прерывистое бороздование, 3 – гребневание, 4 – щелевание.
Черным показана задержанная вода. Стрелки – направление уклона

Рисунок 9.1. Приемы сезонного водозадержания на полях

Совершенно новые перспективы открывает *искусственное оструктуривание почвы*. Пока еще немногочисленные опыты по использованию с этой целью полимеров свидетельствуют о повышении в несколько раз водопроницаемости почв и значительном снижении непродуктивного испарения. Так, под влиянием полимеров склоновый сток снижался в 4-5 раз, а смыв почвы – в 20–30 раз. В опытах по применению мульчирования (покрытия поверхности почвы растительными остатками или, например, нефтяными отходами), осуществленных в различных районах, удалось снизить испарение в отдельные периоды вегетации сельскохозяйственных культур на 5–20%.

Большая группа агротехнических мероприятий не имеет своей главной целью изменение водного баланса, но их действие неизбежно сказывается и в этом аспекте. Общее *повышение культуры земледелия*, применение наиболее приспособленных к местным условиям сортов растений, введение правильных севооборотов, внесение агрономически обоснованных норм удобрений способствуют улучшению структуры почвы, повышению ее водопроницаемости, более производительному и полному использованию воды. Так, результаты опытов по удобрению сельскохозяйственных полей в различных природных зонах навозом свидетельствуют о снижении склонового стока на этих полях в 1,2–1,5 раза по сравнению с теми полями, где такие удобрения не применялись.

Значительные преобразования водного баланса происходят в результате *распашки новых земель*. В настоящее время почти не осталось целинных участков, не затронутых каким-либо видом хозяйственной деятельности. Большинство вновь осваиваемых земель представляет собой залежь или использовалось для выпаса скота. В зависимости от того, что представляла собой территория до распашки (целина или залежь) и как она обработана (зябь или весновспашка), характер изменения стока может быть диаметрально противоположным.

К сожалению, после распада СССР многие передовые приемы земледелия преданы забвению.

Лесные полосы. Механизм действия лесной растительности на водный баланс рассматривался выше. Однако «островное»

(среди сельскохозяйственных полей) положение лесных полос имеет свою специфику. По сравнению со сплошным лесным массивом на первый план выходят особенности взаимодействия с окружающими полями. Лесные полосы занимают сравнительно небольшую площадь (обычно менее 1% территории), тем не менее они являются важным средством преобразования водного баланса. Взрослые водорегулирующие лесные полосы, то есть расположенные поперек склона, при ширине 20 м и средней длине необлесенного склона 500 м уменьшают склоновый сток в Центрально-Черноземных областях на 25–30%, 20-летняя лесная полоса уменьшает сток на 15–20%, десятилетняя – на 10–15 и пятилетняя – на 5–10%.

Не меньшее значение имеет ветрозащитное действие лесных полос. За лесными полосами снижается скорость ветра, а, следовательно, и испаряемость, уменьшаются снос снега с полей и дефляция почвы. Для того чтобы защитить поля от засухи при любом направлении ветра, создаются клетки лесных полос, размеры которых определяются местными природными условиями и характером сельскохозяйственных работ. Последнее обстоятельство важно учитывать, поскольку, очевидно, что чем гуще сеть лесных полос, тем меньше размеры межполосного поля, тем более существенно преобразование водного баланса территории.

Наша страна была одним из зачинателей полезащитного лесоразведения. Классическим примером полезащитного лесного оазиса служит Каменная степь (Воронежская область), где лесные полосы заложены еще в конце XIX столетия В. В. Докучаевым после катастрофической засухи 1891 г., унесшей в России миллионы человеческих жизней. Очень важное значение для преобразования водного баланса нашей страны имел Государственный план полезащитного лесоразведения в степных и лесостепных районах европейской части СССР, разработанный в 1948 г. По ряду причин, в числе которых были и методические ошибки (главный акцент делался на создание малоэффективных в воднобалансовом отношении широких государственных лесных полос, а не на сеть узких лесных полос на полях колхозов и совхозов), он был осуществлен лишь частично.

Конструкция многих лесных полос не достигла оптимальных значений. В последнее время внимание к лесным полосам, как и многим агротехническим приемам, ослабло. Тем не менее они оказывают на защищаемые ими поля действие, равноценное увеличению расхода воды на транспирацию в среднем на 20–30 мм, что увеличивает урожайность зерновых на 2–2,5 ц/га. Во многих же случаях их эффективность гораздо выше. Представляет интерес сравнение роли лесных полос в условиях неорошаемого и орошаемого земледелия. И в том, и в другом случае повышение урожайности сопровождается существенным возрастанием доли продуктивного испарения при снижении коэффициента транспирации, то есть расходования воды на создание единицы продукции. В то же время суммарное испарение на неорошаемом поле растет (что вообще характерно для тех случаев, когда велика разница между испаряемостью и испарением), а на орошаемом поле, где испарение близко к испаряемости, снижается. Создание сети лесных полос в районах орошаемого земледелия позволяет существенно снизить оросительную норму.

Комплекс агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий. Осуществление комплекса этих мер, связанное с ним уменьшение поверхностного стока с полей и увеличение ресурсов почвенной влаги послужили одними из главных причин увеличения урожайности сельскохозяйственных культур в нашей стране, особенно в 1960–1980-е годы.

Этим выгоды преобразования водного баланса сельскохозяйственных полей не исчерпываются. Борьба с поверхностным стоком – наиболее радикальное средство предотвращения эрозии, а также смыва удобрений и ядохимикатов в реки и водоемы.

Очевидно, всякое изменение водного баланса на склонах и расположенных на них сельскохозяйственных полях неизбежно сказывается и на речном стоке. Существуют два основных метода оценки преобразований речного стока под влиянием деятельности человека. Один из них – воднобалансовый – заключается в решении уравнения водного баланса с учетом отдельных хозяйственных мер, осуществляемых или планируемых на изучаемой территории. Другой – метод анализа многолетних колебаний речного стока – основан на сравнительном анализе колебаний

речного стока двух или нескольких периодов, различающихся по уровню хозяйственной деятельности, но идентичных по климатическим условиям. Оба метода при надежности исходных данных и тщательном их анализе дают близкие результаты. Но на практике нередко большие расхождения. При использовании воднобалансового метода придется решать ряд сложных вопросов. Среди них: оценка достоверности данных наблюдений на стоковых и воднобалансовых станциях, определение соотношения поверхностного стока, формируемого на разных угодьях и элементах рельефа, выяснение характера взаимосвязи поверхностных и подземных вод и, что особенно сложно, оценка влияния хозяйственной деятельности на подземный сток. При использовании второго метода основная трудность заключается в необходимости применения чрезвычайно тонкого способа разделения колебаний стока климатического происхождения от изменений стока антропогенного характера, поскольку последние, как правило, значительно меньше первых. Следует также иметь в виду недостаточность и ненадежность метеорологических данных в прошлом. Анализ многолетних колебаний стока дает интегральную характеристику всех видов антропогенного воздействия на речной сток, иногда противоположных по знаку, тогда как воднобалансовый метод позволяет выделить роль отдельных хозяйственных мер и проследить эволюцию различных составляющих полного стока на разных этапах их формирования. Воднобалансовый метод имеет преимущество и другого рода. Он дает возможность оценить не только уже произошедшие изменения стока, но и ожидаемые, то есть дать прогноз преобразований на перспективу.

При оценке изменений речного стока более просто обстоит дело с поверхностным стоком. Мероприятия, проводимые на водосборе реки или водоема в засушливой зоне, в большинстве своем направлены на задержание воды на полях и на уменьшение поверхностного стока.

Изменение же подземного стока, как выяснилось в последнее время, во многом зависит от характера питания подземных вод. Если оно происходит по отдельным очагам питания (поту-скулам) и подземный сток в значительной мере формируется

за счет поверхностного, притекающего к этим потускалам, то вместе с уменьшением поверхностного стока следует ожидать и уменьшения подземного. Если питание подземных вод происходит более или менее равномерно по территории, то с уменьшением поверхностного стока условия питания подземных вод улучшаются и подземный сток возрастает. Возможен и третий вариант, когда оба процесса уравниваются и подземный сток практически не изменяется. В то же время следует иметь в виду, что в процессе хозяйственной деятельности могут создаваться новые очаги питания подземных вод, например, под лесными полосами и прудами. Что касается полного речного стока, то его изменение определяется в основном изменением поверхностной составляющей.

В бассейнах Днепра, Дона, Волги произошедшее к середине 1980-х годов уменьшение полного речного стока оценивается примерно в 12 км^3 , что составило более 3% от суммарного стока этих рек и более 8% от стока, формирующегося в районах наибольшего развития земледелия. Такое преобразование речного стока во многих отношениях выгодно для народного хозяйства, так как позволяет существенно повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий, снизить ущерб, причиняемый наводнениями, эрозией, смывом загрязняющих веществ в реки и водоемы. В ряде районов возросла устойчивая составляющая полного речного стока. В то же время несколько снизилась общая обеспеченность ресурсами стока других отраслей хозяйства. Негативно это повлияло и на условия весеннего нереста рыбы.

В 1990–2000-е годы мы являлись свидетелями уменьшения масштабов осуществления агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий. Яровые культуры стали вытесняться озимыми, как правило, более урожайными, соответственно снизилась площадь зяблевой пахоты. Урожайность несколько возросла, главной причиной этого стало все же улучшение в целом метеорологических условий, что выразилось в увеличении осадков, снижении дефицита влажности воздуха в вегетационный период на значительной части земледельческих районов нашей страны, особенно в ее европейской части. Следствием изменения

климатических условий стало увеличение увлажненности территории, что привело к увеличению ресурсов почвенной влаги и подъему уровня грунтовых вод. Интересно, что Каменная степь, традиционно страдавшая от засух, теперь все чаще испытывает проблемы с переувлажнением земель, хотя здесь дело не только в климате. Переувлажнению способствовало и старение лесных полос, которые сейчас сами меньше испаряют, продолжая уменьшать испарение на защищаемых полях, и мероприятия по задержанию стока, и создание большого числа прудов.

Все же современное улучшение увлажнения юга европейской части России более правильно рассматривать как временное явление. Многие прогнозы об этом говорят. А крайне засушливый 2010 г. это подтверждает. Следовательно, актуальность агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий на водосборах сохраняется.

9.2. Непреднамеренные воздействия на воды

Одним из самых дискуссионных вопросов в гидрологии остается вопрос о влиянии лесов и лесохозяйственной деятельности на водный баланс и сток, точнее, на их годовые значения, поскольку факт регулирования стока лесами достаточно очевиден. В гл. V рассматривались причины разных выводов у отдельных исследователей по поводу гидрологической роли леса. Один из наиболее продуманных подходов к решению вопроса предложен О. И. Крестовским (1986). Им обосновано, что интегральным показателем состояния леса могут служить его возраст и породный состав, и даны обобщенные количественные соотношения между этими показателями и величиной стока и испарения применительно к таежной зоне европейской части нашей страны. При этом влияние леса разных пород на испарение и сток с возрастом меняется однозначно, хотя и отличается по величине. После вырубki леса испарение обычно ниже, чем с полевых участков, а сток значительно выше. Затем по мере восстановления леса, роста его биологической продуктивности испарение возрастает, а сток снижается, достигая соответственно максимальных и минимальных значений при некоторых средних возрастных показателях. Затем по мере приближения к спелому возрасту испарение

вновь снижается, а сток возрастает (рис. 9.2). Расчеты по методике О. И. Крестовского позволили оценить влияние современного изменения лесов (в основном в результате их рубок и восстановления) на изменение речного стока в европейской части страны за последние десятилетия.

В небольших речных бассейнах сплошная вырубка леса увеличивает сток в 2-3 раза, а испарение соответственно снижается. Но одновременно на других водосборах, где лес был вырублен раньше, по мере его восстановления испарение растет, а сток снижается. Поэтому в больших речных бассейнах разнонаправленные воздействия в значительной мере компенсируются. Это показали и соответствующие расчеты. Так, в бассейне Волги в результате лесохозяйственной деятельности слой речного стока снизился в последние 30–40 лет в среднем на 4 мм, то есть примерно на 2%.

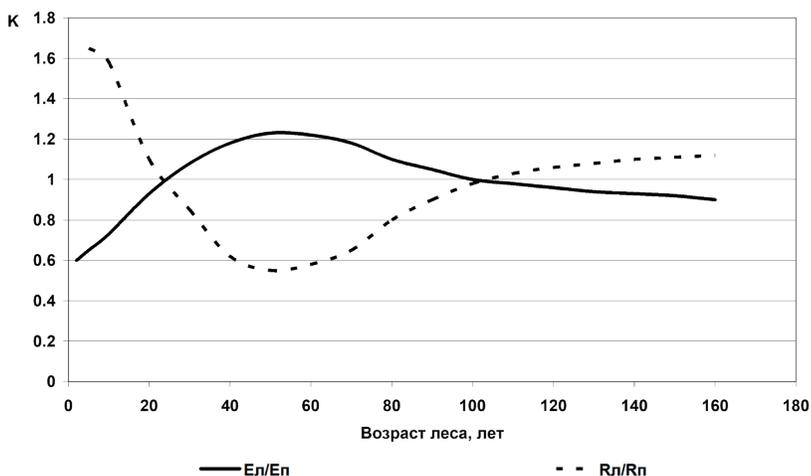


Рисунок 9.2. Отношение (K) годовых величин испарения (E_l) и стока (R_l) с леса разного возраста к испарению (E_p) и стоку (R_p) с полевых участков

Во многих странах мира, помимо агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение условий водообеспечения сельскохозяйственных культур, на

неорошаемых полях росту испарения и снижению стока способствует увеличение урожайности, обусловленное повышением общего уровня агротехники, успехами селекции. Например, в Германии, ряде других западноевропейских стран средняя урожайность зерновых культур в последние десятилетия выросла до 80 и более ц/га. Ориентировочные расчеты, выполненный нами, показывают, что в масштабах всего мира это увеличило испарение и уменьшило сток на сотни км³ в год.

В современный период имеет место быстрый рост *урбанизированных площадей*, не способствующих инфильтрации воды в почву. В отдельных промышленно развитых районах России площадь застроенных территорий и дорог превышает 5%, достигая, например, в Московской области 8%. В наиболее обжитой части зарубежной Европы площадь урбанизированных территорий достигла почти 15%. Во всем мире она оценивается в 3% от общей площади и в 7% в наиболее обжитой его части.

Результаты наших расчетов (Коронкевич и др., 2022) показывают, что 1% площади урбанизированных территорий увеличивает речной сток в наиболее обжитых районах мира в среднем на 0,5–1,5%. В пересчете на общую площадь урбанизированных территорий в мире получаем увеличение мирового стока более чем на 700 км³/год, или почти на 2%, в том числе стока с наиболее обжитой территории мира почти на 6%. Из отдельных крупных регионов мира наиболее заметные изменения стока произошли в зарубежной Европе – соответственно на 7 и около 11%. В бассейнах рек Шпреи (Германия), Сены и Москвы прибавка стока за счет урбанизированных ландшафтов составила в среднем 10%, а в бассейне Темзы – 20%.

Для бассейна Волги, где площадь урбанизированных территорий оценивается в 1,5–2% от площади всего водосбора, наличие таких площадей увеличивает полный речной сток в среднем на 2%, а для бассейна Дона, где площадь урбанизированных территорий 2-3%, – в среднем на 4%, что в значительной мере компенсирует уменьшение стока под влиянием неорошаемого земледелия и водозабора. Гораздо более заметное влияние сток с урбанизированных территорий оказывает на качество вод в сторону его ухудшения.

9.3. Общее воздействие хозяйственной деятельности на водосборах на речной сток

Подведем некоторый итог гидрологической роли хозяйственной деятельности на водосборах. Включим еще в рассматриваемые виды деятельности *осушительную мелиорацию*, которая одно время интенсивно развивалась в нашей стране, а затем была практически заброшена. Наиболее прогрессивны осушительные мелиорации двухстороннего действия. В избыточные по воде периоды она отводится, а в засушливые вода вновь подается на осушенные земли. Заброшенные осушительные системы еще выполняют свои основные, осушительные, функции, но обратная подача воды по ним, когда это нужно, как правило, не осуществляется, что и послужило одной из причин пожаров на осушенных болотах, в том числе под Москвой.

В табл. 9.1 дан расчет изменения стока Дона и Волги под влиянием рассмотренных видов хозяйственной деятельности на водосборах.

Таблица 9.1.

Изменение среднегодового речного стока Дона и Волги под влиянием косвенных воздействий на водосборах на начало XXI столетия

Показатели		Бассейн	
		Дона	Волги
Средний многолетний сток	мм	70	187
	км ³	29,5	254
Изменение, %	неорошаемое земледелие	-7	-1
	осушительная мелиорация	-	+1
	лесное хозяйство*	-	-2
	рост урбанизированных территорий	+4	+2
	всего	-3	0

* По сравнению с 1970-ми годами

Влиянием осушительных мелиораций в бассейне Дона можно пренебречь, но в бассейне Волги они содействуют в целом незначительному (около 1%) увеличению стока. Из анализа табл. 9.1 следует, что различные виды хозяйственной деятельности на

водосборах действуют неоднозначно на речной сток и в значительной мере взаимно компенсируются, хотя в бассейне Дона все же превалирует воздействие агротехники, приводящее к уменьшению стока, хотя и гораздо меньшему, чем прежде.

Подобная взаимокомпенсация разных видов хозяйственной деятельности на водосборах во влиянии на речной сток является поводом для отдельных специалистов не учитывать в водохозяйственных расчетах деятельность человека на водосборах. Но это было бы ошибкой, поскольку в отдельных небольших речных бассейнах гидрологическая роль этой деятельности велика и сейчас, приводя к очень большому уменьшению или, наоборот, увеличению стока, а со временем структура хозяйственной деятельности на водосборах и в пределах крупных речных бассейнов может резко измениться, и тот или иной вид хозяйственной деятельности резко повлияет на изменение речного стока в какую-либо одну сторону. Не менее актуально учитывать влияние хозяйственной деятельности на водосборах на качество воды, поскольку скапливающиеся на их территории загрязнения во многих районах вносят решающую лепту в общее загрязнение рек и водоемов. Правда, учету влияния хозяйственной деятельности на водосборах на водный баланс и качество вод часто препятствует отсутствие необходимой информации.

Глава 10.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕК И ВОДОЕМОВ

10.1. Виды гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения предназначены для регулирования и использования водных ресурсов рек, озер, морей, грунтовых вод или для борьбы с разрушительным действием водной стихии. В зависимости от места расположения гидротехнические сооружения могут быть морскими, речными, озерными, прудовыми. Различают также наземные и подземные гидротехнические сооружения. В соответствии с обслуживаемыми отраслями водного хозяйства гидротехнические сооружения бывают водноэнергетическими, мелиоративными, водотранспортными, лесосплавными, рыбохозяйственными. Они сооружаются для создания водохранилищ, для водоснабжения и канализации, для использования подземных вод, для благоустройства городов, рекреации, спортивных целей и др.

Различают гидротехнические сооружения общие, применяемые почти для всех видов использования вод, и специальные, возводимые для какой-либо одной отрасли водного хозяйства. К общим гидротехническим сооружениям относятся водоподпорные, водопроводящие, регуляционные, водозаборные и водосбросные. Водоподпорные сооружения создают напор или разность уровней воды перед сооружением и за ним. К ним относятся плотины (важнейший и наиболее распространенный тип гидротехнического сооружения), перегораживающие речные русла, и речные долины, поднимающие уровень воды, накапливаемой в верхнем бьефе, дамбы (или валы), отгораживающие прибрежную территорию и предотвращающие ее затопление при паводках и половодье на реках, при приливах и штормах на морях и озерах.

Водопроводящие сооружения (водоводы) – это каналы, гидротехнические туннели, лотки, трубопроводы. Они служат для переброски воды в заданные пункты, а ряд каналов соединяет

водные объекты для целей судоходства. Некоторые из них, например, каналы, из-за природных условий их расположения, необходимости пересечения путей сообщения и обеспечения безопасности эксплуатации требуют устройства других гидротехнических сооружений, объединяемых в особую группу сооружений на каналах (акведуки, дюкеры, мосты, паромные переправы, заградительные ворота, водосбросы и др.).

Регуляционные (выправительные) гидротехнические сооружения предназначены для изменения и улучшения естественных условий протекания водотоков и защиты русел и берегов рек от размывов, отложения наносов, воздействия льда и др. При регулировании русел рек используют струенаправляющие устройства (полузапруды, щиты, дамбы и др.), берегоукрепительные сооружения, ледонаправляющие и ледозадерживающие сооружения.

Водозаборные (водоприемные) сооружения устраивают для забора воды из водосточника и направления ее в водовод. Кроме обеспечения бесперебойного снабжения потребителей водой в нужном количестве и в требуемое время, они защищают водопроводящие сооружения от попадания льда, шуги, наносов и др.

Водосбросные сооружения служат для пропуска излишков воды из водохранилищ, каналов, напорных бассейнов и пр. Они могут быть русловыми и береговыми, поверхностными и глубинными, позволяющими частично или полностью опорожнять водоемы. Для регулирования количества выпускаемой (сбрасываемой) воды водосбросные сооружения снабжают гидротехническими затворами. При небольших сбросах воды применяют также водосбросы-автоматы, автоматически включающиеся при подъеме уровня верхнего бьефа выше заданного. К ним относятся открытые водосливы (без затворов), водосбросы с автоматическими затворами, сифонные водосбросы.

Существует широкий спектр специальных гидротехнических сооружений. Например, сооружения для использования водной энергии включают в себя здания гидроэлектрических станций, напорные бассейны и др., сооружения для водного транспорта – судоходные шлюзы, судоподъемники, маяки, плотходы, бревнопуски, молы, волноломы, пирсы, причалы, доки, эллинги,

слипы и др.; для мелиорации и орошения – магистральные и распределительные каналы, шлюзы-регуляторы на оросительных и осушительных системах; для рыбного хозяйства – рыбоходы, рыбоподъемники, рыбоводные пруды и т. п.

В ряде случаев общие и специальные сооружения совмещают в одном комплексе, например водосброс и здание гидроэлектростанции (так называемая совмещенная ГЭС) или другие сооружения для выполнения нескольких функций одновременно. При осуществлении водохозяйственных мероприятий гидротехнические сооружения, объединенные общей целью и располагаемые в одном месте, составляют комплексы, называемые узлами гидротехнических сооружений, или гидроузлами. Несколько гидроузлов образуют водохозяйственные системы, например энергетические, транспортные, ирригационные и т. п.

Основным гидротехническим сооружением при использовании и регулировании водных ресурсов является плотина – массивная перемычка, возводимая для удержания водного потока. Уже в доисторические времена в Египте, Месопотамии и других районах обитания человека строились простейшие плотины в виде насыпей из земли и камней. На протяжении многих веков устройство плотин определялось соображениями, почерпнутыми только из практического опыта, и лишь в 1853 г. французский инженер Де Сазилли теоретически обосновал их конструктивные принципы.

Чаще всего возводятся водосливные плотины. Глухие плотины (без пропуска воды) нередки на малых водотоках. Плотина противодействует напору воды либо собственным весом (гравитационные плотины), либо своей конструкцией, силовые элементы которой обеспечивают устойчивость всего сооружения (арочные, контрфорсные плотины). Гравитационные плотины делают в виде каменной кладки, бетонных заграждений, земляного или скального (щебневого) заполнителя; другие плотины строят из бетона, железобетона, стальных конструкций или лесоматериалов. В степных районах России нередки случаи, когда на малых реках, оврагах плотины создаются «хозяйственным способом» – перегораживанием русла с помощью бульдозера земляной насыпью, что, конечно, не способствует их прочности.

10.2. Водохранилища – спутники гидротехнических сооружений

Многим гидроузлам, особенно предназначенным для регулирования стока, сопутствуют искусственные водоемы – водохранилища и пруды. Разница между ними в размерах. Если искусственный водоем имеет емкость менее 1 млн м³, его принято называть прудом, если больше 1 млн м³ – водохранилищем. Подавляющая часть регулируемого объема воды приходится на водохранилища, которые в свою очередь по классификации, предложенной А. Б. Авакяном и В. А. Шараповым, подразделяются по величине площади зеркала и объему на крупнейшие (с площадью водного зеркала более 5000 км² и объемом более 50 км³), очень крупные (5000–500 км², 50–10 км³), крупные (500–100 км², 10–1 км³), средние (100–20 км², 1–0,1 км³), небольшие (20–2 км², 0,1–0,01 км³), малые (менее 2 км², менее 0,01 км³).

Полный объем водохранилища (ему соответствует нормальный подпорный уровень – НПУ или нормальный подпорный горизонт – НПГ) складывается из так называемого **мертвого объема**, который обычно не срабатывается, и **полезного объема**, который расходуется на различные цели и представляет основную ценность. То есть полезный объем равен разнице полного и мертвого объемов. Теоретически запасенный полезный объем должен быть полностью использован в течение расчетного срока для решения тех или иных хозяйственных задач. Но практически полезное использование бывает меньше полезного объема. Причиной может быть маловодье, когда водохранилище не заполняется до проектной отметки, недостаточно точный прогноз притока воды к водохранилищу, изменение требований различных отраслей хозяйства к поставляемым им объемам воды. Перед многоводными половодьями и паводками нередко осуществляются «холостые» сбросы, чтобы обеспечить как можно более полную их срезку. В многоводные годы водохранилища **многолетнего** регулирования притекающего стока запасают воду на случай маловодных лет. Но водохранилищ многолетнего регулирования сравнительно немного. Большая часть их выполняет **сезонное** регулирование, которое направлено на аккумуляцию в водохранилище стока многоводных периодов

(половодья, дождевых паводков и т. п.) для использования в маловодные сезоны года. На гидроузлах, построенных для сезонного и многолетнего регулирования стока, также применяется **недельное и суточное** регулирование. Недельное регулирование обусловлено неравномерным потреблением электроэнергии в течение недели (в воскресные дни потребление электроэнергии наименьшее). Суточное регулирование связано с неравномерным потреблением электроэнергии в течение суток (наибольшее потребление днем, когда работают предприятия, а наименьшее ночью).

Значительно меньшей известностью по сравнению с поверхностным регулированием стока пользуется метод подземного магазинирования паводочных вод. Его суть заключается в том, что в период половодья или паводков вода закачивается в подземные горизонты, откуда забирается в дефицитные по воде периоды. Этот метод имеет ряд преимуществ. Во-первых, он не связан с затоплением земель, во-вторых, вода очищается, фильтруясь через толщу почв и грунтов, в-третьих, в подземных водохранилищах водные ресурсы надежно охраняются как от загрязнения, так и от испарения. Искусственное пополнение подземных вод осуществляется или распределением воды по поверхности территории в тех местах, где имеются благоприятные условия для инфильтрации, или же путем фильтрации под напором поверхностных вод в водоносные пласты.

Идея искусственного пополнения запасов подземных вод возникла в древнейшие времена в Центральной Азии, где с помощью нехитрых устройств задерживали дождевую воду в руслах временных водотоков. Первые капитальные сооружения для пополнения запасов подземных вод были сооружены в начале XIX века (специальная инфильтрационная галерея на приречном водозаборе в долине р. Клайд для водоснабжения г. Глазго, Шотландия; затопление участка поймы в долине р. Гаронны вблизи приречного водозабора для водоснабжения г. Тулузы, Франция). В России первым успешным проектом создания искусственных запасов подземных вод считается опыт регулирования местного стока прудами для повышения производительности городского водозабора г. Арзамаса (1891 г.).

Применение искусственного пополнения запасов подземных вод существенно расширяется в начале XX века, особенно на территориях западноевропейских государств (Германия, Нидерланды, Швеция и др.) с высокой плотностью населения. В настоящее время во многих странах с дефицитом подземных вод с помощью этих систем обеспечивается до 25–50% общего хозяйственно-питьевого водопотребления. В СССР в 1970–1980-х годах (период максимума общего эксплуатационного отбора подземных вод) насчитывалось около 30 крупных водозаборов с внедренными системами искусственного пополнения эксплуатационных запасов. Наиболее эффективные результаты получены на водозаборах Ташкента, Риги, Тбилиси, Караганды, Ивано-Франковска, Пятигорска, Сочи и др. В полупустынных и пустынных районах этот метод уже давно используется для формирования линз подземных пресных вод, хотя, конечно, объемы подземного magazинирования в целом несопоставимы с объемами регулирования стока с помощью традиционных водохранилищ. В целом доля искусственно пополняемых запасов в общем объеме потребления подземных вод в России невелика: в 1970–1980-х годах она составляла около 3% и вряд ли существенно увеличилась в последующее время на фоне общего снижения хозяйственно-экономической активности и водопотребления.

10.3. Из истории гидротехнического строительства

10.3.1. До начала XX века

Гидротехнические сооружения можно отнести к одному из наиболее древних видов воздействия человека на природу. История их создания и сопутствующих многим из них водохранилищ с целью перераспределения речного стока уходит своими корнями далеко в глубь веков. В древних цивилизациях, расположенных, как правило, в аридных областях на берегах имеющихся рек, жизненно важным фактором было управление водными ресурсами этих рек с целью обеспечения орошения сельскохозяйственных земель и водоснабжения населения и хозяйства, и строительство плотин являлось необходимым условием их развития. Это хорошо показал И. Мечников в своей

знаменитой книге «Цивилизация и великие исторические реки» (1898).

С большой достоверностью Древний Египет можно назвать родиной первых гидротехнических сооружений. Недалеко от Каира до наших дней сохранились остатки одного из древних гидротехнических сооружений – плотины Садд эль Кафар. Она была обнаружена в 1885 г. немецким археологом Г. Швейнфертом. Первое упоминание об этой плотине имеется у Геродота. Норман Смит, автор книги «История плотин» считает, что плотина Садд эль Кафар – древнейшая из известных. По оценкам экспертов, она была построена во времена Третьей и Четвертой Династий фараонов приблизительно между 2950 и 2750 гг. до н. э. Плотина представляет собой грандиозное по тем временам сооружение: длина плотины по гребню – 106 м, высота – 11 м, толщина у основания – 84 м, на гребне – 61 м. Плотиной было образовано водохранилище Вади эль-Гарани, объем которого мог быть примерно 0,6 млн м³. Оно было построено для сдерживания наводнений, а также для нужд местной промышленности, представленной добычей алебастра. Недалеко от плотины до сих пор сохранились остатки древних карьеров по его добыче. Судя по накоплению илов в верхнем бьефе, эта плотина просуществовала очень недолго. Вскоре после завершения строительства произошло наводнение, и центральная часть плотины была разрушена в результате перелива воды через ее гребень. Последствия аварии были столь серьезными, что последующие восемь веков египтяне не предпринимали строительства никаких плотин.

Историки полагают, что в Месопотамии строительство плотин также началось в бронзовом веке, одновременно с Египтом, а возможно, и раньше. Однако древнейшая плотина из каменной кладки, обнаруженная в Месопотамии, построена в Ассирии при Сеннахерибе (694 г. до н. э.). Первая крупная плотина из каменной кладки Нахр эль-Аси, строительство которой датируется 1500 г. до н. э., была обнаружена несколько южнее – на территории нынешней Сирии.

В древнем Китае гидротехническое строительство приобрело широчайший размах. Отношение китайцев к первым гидротехникам характеризует легенда о Великом Юе, которому удалось

«вернуть воды, затопившие землю, в прежние их границы». Для китайцев Великий Юй – историческая личность, для европейцев – собирательный образ древнего строителя-гидротехника.

Нет свидетельств, что опыт плотиностроения распространился из какого-то определенного центра. Древние плотины, за редким исключением, представляли собой небольшие временные, рассчитанные на один сезон сооружения. Основными материалами для их строительства служили земля, древесина, камни. Основы технологии строительства вполне могли независимо развиваться в любом месте, где возникала необходимость в сооружении плотин. Позднее миграции и военные экспансии способствовали распространению гидротехнических идей и решений. Судя по всему, древние инженеры, строя плотины, не руководствовались какими-либо правилами или формулами. Используя подручные материалы, они возводили такие сооружения, которые, как подсказывал им их опыт, были эффективны. Размеры древних плотин были продиктованы насущными потребностями населения и местной промышленности в воде, особенностями створа плотины и минимальными требованиями безопасности, хотя последнее не имело решающего значения, так как очень немногие из плотин были достаточно велики, чтобы представлять при разрушении какую-либо угрозу для жизни людей и материальных ценностей.

Плотины, создающие емкости для накопления воды, были небольшие и представляли собой достаточно редкое явление. Идея накопления воды во время многоводного сезона для ее использования в сухой возникла значительно позднее. Кроме того, поскольку потребности ирригации могли быть удовлетворены за счет водоотводных плотин на реках, люди были не склонны к экспериментам, требующим больших трудовых затрат. Только после того, как на исторической сцене появились римляне, значительно увеличились размеры плотин и изменилось их назначение.

Римляне стали использовать плотины для защиты от наводнений во время половодий и паводков, для регулирования работы систем каналов, особенно на североевропейских не пересыхающих летом реках. Но их самым большим вкладом в развитие плотиностроения стало усовершенствование плотин, создающих

подпор на реках с целью создания водохранилищ. Толчком для развития плотиностроения в этом направлении в большой степени послужила необходимость устойчивого водоснабжения городов. Большое внимание римляне уделяли и гидродинамическим процессам. Их плотины были водонепроницаемы, а на случай переполнения водохранилища во избежание разрушения оборудовались водосливами.

Большое влияние на плотиностроение оказала такая инженерная конструкция, как свод (арка). Свод (арка) – прообраз арочных плотин. Первые бочарные своды из кирпича (700 г. до н. э.) обнаружены в Месопотамии (Ассирии). Еще раньше (примерно 1500 г. до н. э.) родственная конструкция (купол) впервые встречается в Микенах (Греция) – так называемая гробница Агамемнона. Арочные конструкции широко применялись в Древнем Риме при возведении акведуков (сооружение с водоводом) и мостов.

Мировое значение имеет история развития плотиностроения в Испании в Средние века, на которые приходится его расцвет. Достижения испанцев в области строительства плотин настолько значительны, что Испания считается родиной современного плотиностроения. Строительство ирригационных систем и плотин пришло туда, по всей видимости, с мусульманского Востока вместе с арабской экспансией в Европу. Первое письменное упоминание о старейшей арочной, из каменной кладки плотине Альманца в Испании относится к 1586 г. Специалисты считают, что она была возведена на 200 лет раньше первого письменного упоминания. При высоте 16 м плотина Альманца имела относительно большую, почти постоянную толщину 12 м. Это свидетельствует о том, что строители этой плотины еще не представляли возможностей арочной конструкции. Вторая старейшая арочная плотина Испании Елче была «более изящной». При высоте 23 м она имела переменную толщину от 9 м на гребне до 12 м у подошвы.

Высочайшая древняя плотина Испании Аликанте была построена в 1580–1594 гг. и представляла собой гравитационную (сопротивляющуюся сдвигу собственным весом) стенку из каменной кладки трапецеидального сечения. Максимальная высота плотины – 42 м, толщина по гребню – 20 м, по подошве – 34 м. В 1738 г. плотина была реконструирована.

Сложную историю имеет древнейшая арочная плотина Италии Понте Альто, возведенная в узком ущелье в Доломитовых Альпах. «Первая очередь» этой плотины была запроектирована и построена Франко Рекаматти в 1534 г., а в 1542 г. она была разрушена паводком. В 1550 г. плотина была реконструирована: каменная кладка выполнялась на цементном растворе. Впоследствии плотина неоднократно надстраивалась (в 1752 г. – до высоты 18 м, в 1825 г. – до высоты 25 м, в 1850 г. – до высоты 34 м, в 1887 г. – до высоты 39 м при неизменной толщине всего 4,5 м). Даже по современным представлениям эта плотина достаточно «стройное» и «смелое» сооружение. При оценке плотин и в настоящее время используются коэффициент стройности, представляющий собой отношение ширины по основанию к высоте плотины, и коэффициент смелости – отношение гидростатического давления (сила воды, действующая на поверхность тела перпендикулярно этой поверхности) к массе или объему строительного материала. Ниже плотины Понте Альто сохранился древний арочный мост из каменной кладки. Соседство плотины и моста иллюстрирует некоторое родство двух конструкций. Арочная плотина – это свод, «положенный на бок».

Достижения испанцев в области плотиностроения в значительной степени повлияли на его развитие в других странах. Лучшим примером заимствования идей является плотиностроение в Америке, где на юго-западе Соединенных Штатов проявилось влияние Испании, а на северо-востоке – Англии, Франции и Швеции.

Уже в 1600 г. испанские колонисты создавали гидроузлы в Нью-Мехико на Рио-Гранде и других реках. Одним из первых американских гидротехнических проектов был проект, осуществленный в 1634 г. на водопадах Лоуэ Фоллз на реке Непонсет в Массачусете. На северо-востоке США быстрое распространение получили деревянные плотины, что было обусловлено достаточным количеством этого строительного материала. Плотина на реке Пискатакуа у Саут Виндхэна в штате Мэн считается одной из самых первых деревянных плотин. Она была построена в 1623 г. Ее гидросиловая установка приводила в действие первую, как считается, лесопилку в США. В 1743 г.

английские колонисты построили первую каменную плотину, перегородившую реку Раритан, для нужд водоснабжения. Возможно, были и более ранние каменные плотины, построенные испанцами на юго-западе, но тем не менее плотина в Нью-Брун-свики считается первой каменной плотиной в США. У этой плотины была длинная жизнь: будучи укрепленной в 1780 г., она просуществовала до 1888 г.

Причина развития плотиностроения в Австрии на первый взгляд необычна, но вполне логична, учитывая религиозную обстановку во всей Европе в Средние века. Поскольку Австрия, строго исполнявшая все заповеди римско-католического вероисповедания, не имела выходов к морю, то во время Великого Поста реки и водоемы приобретали особо важное значение, являясь основным, если не единственным местом, где население могло ловить рыбу. В связи с этим широкое распространение в этой стране получили искусственные водоемы для разведения рыбы. Примером большого рыбозаводного водохранилища является водохранилище, образованное плотиной Шпигельфрюдерси, построенное в 1460 г. в 50 км к северу от Ландека в западной Австрии. Его плотина – одна из первых европейских больших земляных плотин. Ее размеры: 250 м длина, 8 м высота, около 15 м толщина на гребне.

В Германии и Франции в Средние века плотины строили исключительно с целью использования кинетической энергии воды и лишь позднее, в XVII и XVIII вв. – для других целей, в первую очередь для обеспечения судоходства.

В XVIII-XIX вв., в эпоху промышленной революции, небольшие водохранилища для получения энергии, а также для водоснабжения, создавались при горнорудных предприятиях, металлообрабатывающих и лесопильных заводах, прядильно-ткацких фабриках. Как известно, для приведения в действие гидротурбины необходимо создать перепад уровней воды. Особенно благоприятными для внедрения гидроэнергетических схем были условия на западе США. В различных горных регионах большие уклоны были удобны для создания напоров воды, которая, пройдя через турбины, затем использовалась для орошения. В 1893 г. р. Колорадо около г. Остина в Техасе была пере-

крыта плотиной высотой 20 м и длиной приблизительно 400 м. Это была первая большая каменная плотина, построенная для производства электроэнергии. Выработка этой ГЭС достигала почти 15000 л. с. (очень большая цифра для того времени). Однако плотина просуществовала недолго: 7 апреля 1900 г. сильные дожди вызвали быстрое и большое повышение уровня воды в реке, и вскоре трехметровая волна перехлестнула через плотину, центральная секция которой сползла на 10 м вниз по течению.

В начале XX века плотины для производства гидроэлектроэнергии были построены в Массене (штат Нью-Йорк) и Огдене (штат Юта). Первая представляла собой электростанцию (в 1902 г. установленная мощность составляла 35000 л. с.), совмещенную с плотиной, а при строительстве второй были использованы некоторые железобетонные конструкции. Эти сооружения являлись современниками первых гидроэлектрических станций Европы, где Франция и Италия лидировали в этой области.

В Италии первая гидроэлектрическая станция была построена между 1880 и 1883 гг. около Генуи. Ее строительство положило начало расцвету итальянской гидроэнергетики в XX веке, что было в большой степени обусловлено огромным гидроэнергетическим потенциалом рек страны.

Бурное развитие гидроэнергетики в начале XX века тесно связано с алюминиевой промышленностью. Одна отрасль – гидроэнергетика – стимулировала развитие другой отрасли – алюминиевой промышленности, а увеличение мощностей последней способствовало разработке все новых гидроэнергетических проектов. Тот факт, что такие страны, как Норвегия, Канада и США стали крупнейшими производителями алюминия в мире, в значительной мере объясняется возможностью производить большое количество дешевой гидроэнергии.

В Великобритании развитие гидроэнергетики также связано с алюминиевой промышленностью. Оно началось в 1894 г. со строительства гидроэнергетического Комплекса Фойерс на восточном берегу озера Лох-Несс для обеспечения энергией завода по производству алюминия. Его строительство было завершено в 1896 г., и он до сих пор функционирует.

В нашей стране освоение гидроэнергетического потенциала рек, когда для производства механической энергии при переработке сельскохозяйственной продукции, а в ремесленных производствах – как источник движущей силы, стали использовать вододействующие установки, началось в X-XI веках. Развитие гидротехники на Руси шло самобытным путем. Конструктивные решения сооружений и оборудования наилучшим образом учитывали природные особенности равнинных рек. Строительство стланевых плотин, изобретенных русскими мастерами, позволяло обходиться без применения железных поковок, особенно дорогих в те времена, силовые же части водяных мельниц выполнялись целиком из дерева.

Успешный опыт строительства водяных мельниц на небольших реках позволил в XVI веке приступить к освоению более крупных рек. По свидетельству Псковской летописи в 1529 г. новгородцы под руководством мастера-гидротехника Невежи Псковитина построили плотину и мощную гидросиловую установку на реке Волхов. Из сохранившихся описаний плотины Псковитина следует, что в конструктивном плане она была аналогична известным впоследствии плотинам под названием буна. Бун сужал проток между берегом реки и островом, увеличивая скорость течения и мощность водяного колеса, использующего кинетическую энергию текущей воды. Сама плотина была ряжевого типа. Причем при ее строительстве использовался оригинальный в принципе сохранившийся до наших дней способ сооружения ряжевой каменно-деревянной плотины, когда загруженные валунами и утопленные ряжи постепенно наращивали и снова загружали камнями.

Промышленное применение гидроэнергии в России началось в 60-х годах XVIII века и тесно связано с металлургической промышленностью, применявшей в качестве двигателей исключительно водяные колеса. В этот период было построено более 200 плотин на Урале, Алтае, в Карелии, Забайкалье и в центральных районах России. Заводские плотины достигали в длину 200 м, а их высота составляла 6–6,5 м. Наибольшее количество заводских прудов располагалось на Урале в бассейнах рек Чусовой, Белой, Уфы и на мелких притоках Камы, впада-

ющих в нее на участке от г. Соликамска до устья Белой. Большинство прудов было создано в речных долинах и отличалось вытянутой формой. Размеры их разнообразны – от небольших (менее 1 км²) до весьма обширных. Например, пруд Чермозский на р. Чермозе – малом притоке Камы имел площадь 24 км². Созданный в 1760 г. на реке Иж в бассейне Камы заводской пруд достигал 14 км в длину и 4 км в ширину. Наибольшие глубины прудов варьировали от 4 до 12 м.

Гидротехнические сооружения так называемого «русского типа», состоящие из земляных плотин с деревянным водосбором и деревянных водоподъемных плотин, характеризовались большой продуманностью схем, оригинальностью конструктивных решений, быстротой строительства. Как правило, плотины возводились за один строительный сезон, а тот факт, что многие из уральских плотин, построенных в этот период, используются и в наше время, свидетельствует о высоком мастерстве гидротехников и качестве строительных работ.

В отличие от Западной Европы, в России использовались исключительно приплотинные схемы гидросиловых установок, когда все сооружения располагались в виде одного узла (заводы Екатеринбургский, Егосихинский, Кольвановский и др.). Отступление от этого правила и заимствование западноевропейских идей, не учитывающих специфических особенностей русских рек и климата, приводили к серьезным катастрофам и разрушениям.

Появление в промышленности первых турбин относится к 30-м годам XIX века. Первая в России водяная турбина – реактивный гидравлический двигатель радиального типа с движением воды через направляющий аппарат от центра к периферии, созданная крепостным плотинным мастером И. Е. Сафоновым, начала работать в 1837 г. на Нейво-Алапаевском металлургическом заводе на Урале. Затем аналогичные турбины были установлены на Ирбитском и Нейво-Шайтанском металлургических заводах. Эти турбины вращались в пять-шесть раз быстрее водяных колес, по размерам были значительно меньше и имели коэффициент полезного действия 0,7, по своим показателям они превосходили известные турбины того времени.

К 1880 г. можно отнести начало инженерной деятельности по созданию в России систем электроснабжения. К этому времени в нашей стране уже были намечены пути использования сил природы посредством электричества и даже оценен гидропотенциал рек страны, была просчитана возможная экономия от замены паровых двигателей гидравлическими и предложена техника выполнения электропередачи. Первенцем российской гидроэнергетики считается Зырянская ГЭС мощностью 150 кВт, пущенная в эксплуатацию весной 1892 г. на Алтае (р. Березовка). Энергия этой ГЭС использовалась для шахтного водоотлива на Зырянском руднике и для электроснабжения завода по выплавке меди и серебра.

Новым импульсом для строительства ГЭС стал переход от техники постоянного тока к трехфазному, открывающему широкие возможности для экономичной передачи больших мощностей на дальние расстояния. В 1896 г. российский инженер Р. Э. Классон совместно с крупным электротехником-изобретателем В. Н. Чиколевым создал одну из самых первых в мире гидроэлектрических установок современного типа недалеко от Петербурга на реке Охте. Электроэнергия от этой ГЭС мощностью в 300 кВт поступала на Охтинский пороховой завод, который был одним из первых промышленных предприятий не только в России, но и за рубежом, где были осуществлены электроосвещение цехов и широкая электрификация производственных процессов на базе гидроэнергии.

В бассейне Волги были построены две гидроэлектростанции – при Ижевском заводе, мощностью 300 кВт, и в городе Сатке на Урале, мощностью 650 кВт. По современным масштабам, когда мощности ГЭС измеряются сотнями и тысячами тысяч киловатт, это, конечно, ничтожно мало, но по тем временам это были солидные гидроэлектростанции.

К концу XIX века в России заводские пруды обеспечивали энергией и водой уже около 3000 мануфактур. В большинстве мощность водяных колес не превышала порядка нескольких десятков лошадиных сил, поэтому их устанавливали по несколько штук сразу. У г. Кашира, например, работал каскад мельничных установок из 12 ступеней. Для Пыскорского завода в бассейне

Камы в 1723 году были построены три плотины, а на Нижнетагильском заводе в конце XVIII века было установлено 57 водяных колес.

Широкое внедрение в промышленность в XIX веке паровых машин затормозило строительство крупных гидроустановок в России. В конце XIX века все работы по освоению энергии рек носили локальный характер. Нередко построенные мелкие гидроэлектростанции из-за слабого учета местных особенностей разрушались в половодье. Перед Первой мировой войной число водяных двигателей, в основном водяных колес при мельницах, достигло 45 тыс. при суммарной мощности около 500 тыс. кВт. Гидроэлектростанции имели суммарную мощность всего 16 тыс. кВт, а мощность самой крупной гидроустановки достигала 1350 кВт.

10.3.2. С начала XX века

С течением времени методы гидротехнического строительства совершенствовались, изменялись и масштабы воздействия на водные ресурсы. Однако эра создания водохранилищ с площадью водного зеркала более 100 км² началась лишь в середине 1910-х гг. благодаря изменениям в технологии земляных и бетонных работ, позволившим возводить крупные и сравнительно дешевые сооружения. Несмотря на тысячелетнюю историю строительства, водохранилища с полным основанием можно назвать порождением XX века. Полный объем всех водохранилищ планеты, существовавших к концу XIX века, составлял всего 15 км³. Теперь же только одно Братское водохранилище на р. Ангаре имеет объем 169 км³, что в 11 с лишним раз превышает объем всех водохранилищ планеты, существовавших на рубеже двух веков.

Бум мирового гидротехнического строительства приходится на 1960–1970-е гг., когда было построено более 85% всех существующих в мире плотин. Затем темпы ввода в строй новых гидроузлов замедлились, в значительной мере из-за исчерпания фонда доступных для нового строительства речных створов. Об этом свидетельствует и динамика полного объема водохранилищ, приведенная на рис. 10.1 (Каталог..., 1988; Lehner et al., 2011; AQUASTAT, 2014 и др.).

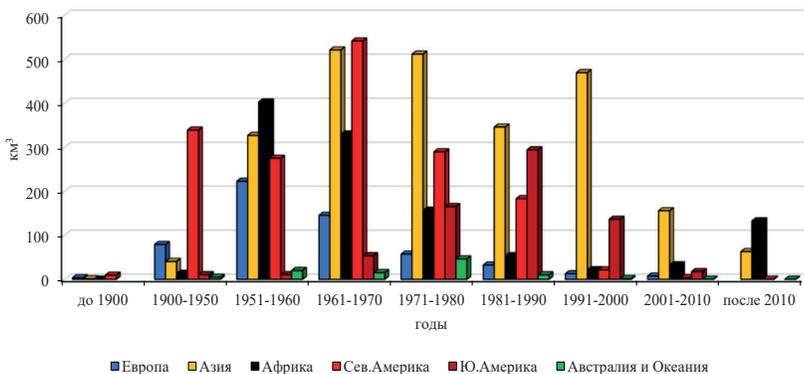


Рисунок 10.1. Суммарный объем водохранилищ во времени и пространстве (учтены водохранилища объемом более 100 млн м³)

Создание водохранилищ в России и в СССР в целом соответствовало мировой тенденции. Наша страна стала ярким примером стремительного развития гидротехнического строительства на протяжении большей части XX века. Основы этого развития были заложены планом ГОЭЛРО, принятым на VIII Всероссийском съезде Советов в 1920 г., представлявшим собой не только программу энергетического вооружения страны, но и коренной перестройки экономики на базе электрификации. Планом предусматривалось создание десяти ГЭС, но к началу 1940-х годов было построено 19, в том числе такие крупные гидроэлектростанции, как Днепровская и Нижнесвирская, Ивановская, Угличская, Рыбинская, ряд ГЭС на Кавказе и в Средней Азии, с выработкой электроэнергии, превышающей запланированную на 20%.

С самого начала освоения энергетических ресурсов рек был принят принцип каскадного расположения гидроузлов как наиболее эффективного способа использования этих ресурсов. По мере осуществления в схемы энергетического и комплексного использования стока рек при необходимости вносились возможные коррективы, но принципиальные идеи на многих завершенных каскадах были сохранены, то есть приоритет в большинстве случаев отдавался гидроэнергетике.

К концу 1930-х годов в стране практически не было крупного региона, в котором не использовались бы в том или ином объеме имеющиеся на его территории гидроэнергетические ресурсы. Возьмем, к примеру, Московский регион. Несмотря на его скромные гидроэнергетические ресурсы, только на территории Москвы было создано пять гидроэлектростанций, из которых четыре и сейчас находятся в рабочем состоянии.

Самая мощная московская ГЭС – Сходненская, построенная в 1939 г. Ее мощность составила 30 МВт, среднегодовая выработка – около 31 млн кВт.ч. Расположена она на северо-западе Москвы, в Южном Тушино, недалеко от впадения в Москву-реку р. Сходни. Гидроэлектростанция является частью комплекса сооружений канала им. Москвы и использует перепад высот между Химкинским водохранилищем и р. Москвой.

Параллельно с созданием сравнительно небольших гидроузлов к концу 1930-х гг. возникают крупные гидроэнергетические объекты, назначение которых имело более широкие цели. Они становятся опорными центрами объединения нескольких энергосистем, создавая региональные энергетические объединения. Разрабатываются и начинают осуществляться схемы использования гидроэнергетического потенциала крупных водотоков страны, таких рек как Волга, Днепр, Ангара. Этими схемами ставились задачи комплексного использования водных ресурсов в интересах энергетики, водоснабжения, ирригации, водного транспорта, рыболовства, создания зон отдыха. Так, подпором плотин на Свири и Днепре были перекрыты каменистые пороги, что явилось началом создания единой воднотранспортной сети европейской части Советского Союза.

Первыми станциями в горных и предгорных районах были Бозсуйская в Узбекистане, Ереванская I и Ленинанская – в Армении, Земоавчальская – в Грузии, а также Кондопожская – в Карелии. Эти и другие станции решали местные хозяйственные задачи и дали первый опыт строительства высоконапорных плотин в горах, широко использовавшийся в последующем во многих районах страны. Перед Второй мировой войной началось сооружение первых сравнительно крупных ГЭС в Средней Азии. Для удовлетворения запросов горной промышленности Алтая было

построено несколько деривационных ГЭС, использующих большой гидроэнергетический потенциал рек Громотухи, Ульбы, Хариузовки и т. д.

В довоенные годы была сооружена самая северная в стране Нижне-Туломская ГЭС на р. Туломе (недалеко от Мурманска), был закончен сложный комплекс гидротехнических сооружений канала им. Москвы, на котором было построено восемь ГЭС небольшой и средней мощности. Одновременно с окончанием строительства канала началось сооружение Угличского и Рыбинского гидроузлов на Волге. Первый из них был завершен в 1940 г., а первая очередь Рыбинского гидроузла вступила в строй в 1941 г. Эта станция сыграла исключительно большую роль в обороне Москвы, обеспечив ее бесперебойное энергоснабжение (так же, как Волховская ГЭС обеспечивала электроснабжение блокадного Ленинграда).

В годы Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) гидроэнергетике страны был нанесен большой ущерб. Были разрушены пять крупных ГЭС общей мощностью 780 МВт (половина всей мощности ГЭС в 1940 г.) – Днепровская, Нижнесвирская, Кегумская, Кондопожская, Баксанская ГЭС.

В этот период изменилась география гидроэнергетического строительства. В зоне возможных военных действий было прекращено строительство ГЭС общей мощностью около 1 млн кВт. Гидростроительство развернулось в тылу, в районах передислокации промышленности из западных регионов страны, например, на Урале ускоренными темпами завершалось строительство Верхотурской, Широковской, Аргазинской и других ГЭС, в Средней Азии в этот период осуществлялось строительство около 40 ГЭС, многие из которых были сооружены в исключительно короткие сроки. За годы войны введены в эксплуатацию новые гидроэлектростанции на общую мощность 280 тыс. кВт.

По мере освобождения территории страны от оккупантов начинался процесс восстановления разрушенных гидроэлектростанций. К окончанию войны были восстановлены ГЭС общей мощностью 250 МВт. Более быстрый процесс восстановления ГЭС по сравнению с тепловыми электростанциями привел к повышению удельного веса ГЭС в электробалансе страны по сравнению с довоенным уровнем.

Период конца 1940 – начала 1950-х годов знаменуется исключительно интенсивным развитием малой гидроэнергетики. Это дало толчок к изучению водного режима малых рек, развитию на них и в их бассейнах стационарной сети наблюдений и воднобалансовых станций, созданию специальных методов расчетов стока и других элементов водного режима слабо изученных небольших рек. В этот период активизировало свою работу Бюро малых ГЭС Гидроэлектропроекта, организованное еще до войны, были созданы специальные проектные организации и предприятия, изготавливающие оборудование для малых гидростанций. Но уже к середине 1950-х годов строительство малых ГЭС замедлилось, началось крупномасштабное освоение гидропотенциала больших и средних рек.

Крупное гидротехническое строительство после Второй мировой войны широко развернулось не только в СССР, но и во всем мире. Однако в нашей стране оно имело ряд принципиальных отличий от зарубежного. Так, большинство гидроузлов в странах Запада сооружалось в горных и предгорных районах Альп, Пиренеев и Аппалач. В нашей стране интенсивное освоение гидроэнергетического потенциала крупных рек началось с равнинных водотоков. Так, в 1949-1950 гг. были приняты решения о строительстве мощных Волжских ГЭС и первых ЛЭП дальней передачи. План создания Волжского каскада ГЭС с самого начала имел своей целью комплексное использование водных ресурсов, но преобладающими мотивами были энергетика и водный транспорт, а ирригация и водоснабжение имели подчиненное значение.

В Сибири в послевоенные годы были сооружены Усть-Каменогорская (1952 г.), Новосибирская (1957 г.) и Иркутская ГЭС (1958 г.). Но преобладающим в стране было создание ГЭС на крупных равнинных многоводных реках ЕТС в створах, имеющих большую протяженность и нескальные основания. Это диктовалось несколькими причинами – необходимостью быстрого восстановления разрушенного войной хозяйства на европейской территории страны, нуждающегося в мощной энергетической базе, и близостью потенциальных источников гидроэнергии к индустриальным центрам; растущими потребностями различных отраслей хозяйства в гарантированном водоснабжении

и отсутствием достаточного опыта сооружения ГЭС в горных и предгорных районах. На размещение ГЭС оказали влияние также технические и экономические трудности при массовой передаче электроэнергии на большие расстояния (отсутствие опыта создания мощных ЛЭП). Поэтому в Сибири и на Дальнем Востоке интенсивное энергетическое строительство началось позже из-за относительно слабой индустриальной освоенности регионов и дальности расположения потенциальных источников гидроэнергоресурсов от потребителя.

По мере накопления опыта более интенсивно осваивались горные реки Кавказа, Кольского полуострова, развивалось строительство ГЭС средней мощности в Средней Азии. Но ведущим направлением развития энергетики по-прежнему оставалось освоение гидроэнергетического потенциала крупных равнинных рек.

Важным этапом гидроэнергетического строительства было создание ряда ГЭС в районах с повышенной сейсмичностью – Чарвакской, Нурекской, Токтогульсткой, Ингурской, Чиркейской и др.

В 1960–1970-е гг. гидроэнергетическое строительство переместилось на Восток страны. В 1960 г. завершается строительство Бухтарминской ГЭС на Иртыше, интенсивно осваивается гидроэнергетический потенциал Ангары и Енисея. Первая из гидроэлектростанций многолетнего регулирования стока на Ангаре – Иркутская – дала возможность, благодаря прокладке линии электропередачи Иркутск–Братск, приступить к сооружению одной из крупнейших гидростанций мира – Братской – мощностью 4,6 млн кВт с выработкой электроэнергии около 23 млрд кВт.ч и полным объемом водохранилища 169,3 км³. Она сооружалась в сложных условиях, что потребовало создания нового мощного комплекса строительной индустрии, возведения большого объема жилья и коммуникаций, а также проведения серьезных научных исследований, учитывающих суровые климатические условия. Климатические особенности района строительства нашли отражение и в конструкции плотины – была создана новая конструкция бетонной гравитационной плотины. Так же, как и Иркутская, Братская ГЭС осуществляет глубокое многолетнее регулирование стока.

В 1974 г. был пущен в эксплуатацию первый агрегат третьей станции на Ангаре – Усть-Илимской, близкой по мощности и выработке энергии Братской ГЭС.

Первенцем гидростроительства на самом Енисее является сооруженная в 1971 г. Красноярская ГЭС мощностью в 6 млн кВт и объемом водохранилища 73,3 км³ – наиболее экономичная ГЭС в России, важнейшая станция в объединенной энергетической системе (ОЭС) Сибири и Северного Казахстана. При строительстве Красноярской ГЭС на Енисее были повторены многие технологии ведения строительных работ, апробированные в г. Братске. В составе Красноярского гидроузла впервые в стране был построен крупный наклонный судоподъемник, обеспечивающий пропуск судов через ГЭС.

В 1970 г. начала эксплуатироваться Усть-Хантайская ГЭС – самая северная в Сибири и самая нижняя в каскаде ГЭС в бассейне Енисея. В 1975 г. Енисей был перекрыт у устья р. Карловки, и началось создание крупнейшего водохранилища горного типа – Саяно-Шушенского объемом около 31 км³, призванного осуществлять сезонное регулирование стока. Этот гидроузел является выдающимся инженерным сооружением. Долина р. Енисей в створе ГЭС была перекрыта арочно-гравитационной плотиной с длиной дуги по гребню плотины 1066 м. Максимальная строительная высота плотины – 244 м. В 1979 г. завершено создание еще одной ступени Енисейского каскада – Курейской ГЭС. К середине 1980-х гг. Ангаро-Енисейский каскад ГЭС по мощности и выработке электроэнергии в два раза превысил эти показатели на Волжско-Камском каскаде.

В 1960-е гг. началось строительство крупных ГЭС на Дальнем Востоке: в 1960 г. – Вилуйской на р. Виллой в Якутии, а в 1964 г. – Зейской на р. Зeya, притоке Амура. Вилуйская ГЭС сооружена в экстремальных климатических условиях – вблизи полюса холода планеты. При ее строительстве была разработана специальная технология укладки бетона при низкой температуре.

К середине 1970-х гг. практически было завершено строительство каскада ГЭС в Волжско-Камском бассейне, в основном были освоены гидроресурсы Кольского полуострова, проведено освоение наиболее эффективных гидроэнергоресурсов Север-

ного Кавказа. В Сибири, на Дальнем Востоке, в Якутии были введены или находились в стадии завершения строительства крупнейшие гидроэнергетические объекты, которые в последующем стали основой энергообеспечения регионов.

Интенсивное гидроэнергетическое строительство продолжалось и в 1970–80-е гг. В целом по стране в конце 1980 г. в стадии строительства находилось 37 ГЭС суммарной мощностью 28 млн кВт и проектным годовым производством электроэнергии 74 млрд кВт.ч, в том числе в европейской части страны – 11, на Северном Кавказе – 6, в Закавказье – 7, в Сибири – 5, на Дальнем Востоке – 3, в Средней Азии и Казахстане – 5 станций. Из них 15 новых гидроэлектростанций суммарной мощностью 18 млн кВт начали сооружаться в 1976–1980 гг. В этот период происходило заполнение водохранилищ крупнейших гидротехнических объектов в республиках Средней Азии, отличительной особенностью которых было расположение в районах с высокой сейсмичностью (Нурекская, Токтогульская ГЭС).

Начавшиеся политико-экономические преобразования и последовавший инвестиционный кризис в республиках бывшего СССР привели к резкому снижению в начале 1990-х гг. темпов строительства и ввода в эксплуатацию многих гидроэнергообъектов. Снижение потребности в электроэнергии в ряде регионов в результате затянувшегося экономического спада осложнило решение вопросов выдачи мощности и энергии электростанций. В России на рубеже 1995-1996 гг. в стадии строительства находились девять гидроэнергетических объектов суммарной мощностью 8,2 млн кВт и проектным среднегодовым производством электроэнергии 34,8 млрд кВт.ч. Строительство Богучанской ГЭС на Ангаре, начавшееся в 1974 г., является рекордным по продолжительности в истории отечественной гидроэнергетики – в 2015 г. водохранилище было заполнено до проектной отметки, и станция вышла на полную мощность, полностью строительство Богучанской ГЭС завершено в 2017 г. Бурейская ГЭС на р. Бурей строилась с 1976 по 2015 г., а строительство ее контррегулятора Нижне-Бурейской ГЭС, проект которой был разработан институтом «Ленгидропроект» еще в 1985 г., осуществилось уже в постсоветское время в 2010–2019 гг. Строительство Усть-Сред-

неканской ГЭС на р. Колыме ведется с 1991 г., пуск первых гидроагрегатов осуществлен в 2013 г., завершение строительства запланировано на 2023 г.

Технические решения многих гидроузлов России, сооруженных на равнинных реках и имеющих нескальные основания, в районах вечной мерзлоты и в условиях Крайнего Севера не имеют аналогов в мире. В России впервые в мировой практике плотностроения были решены проблемы устойчивости земляных и бетонных напорных сооружений на мягких грунтах большой мощности (Жигулевская и Волгоградская ГЭС), разработаны специальные технологии ведения всех строительных работ, особенно бетонных, в суровых климатических условиях: найдены новые составы бетона, технологии его приготовления, транспортировки, укладки и выдержки (Братская, Красноярская, Саяно-Шушенская, Вилюйская ГЭС).

Вместе с тем недостаточное внимание к вопросам экологии, особенно на первых этапах развития гидроэнергетики, явилось причиной развития многих негативных природных процессов, о чем пойдет речь ниже.

10.3.3. Некоторые статистические данные об изменении водных и земельных ресурсов в результате создания водохранилищ

Влияние водохранилищ на природную среду многообразно, но больше всего оно сказывается на речном стоке и земельных ресурсах. Во многом оно зависит от площади зеркала и объема водохранилищ. Современная площадь всех водохранилищ в мире составила около 750000 км², что почти в 1,4 раза больше площади Франции. Их суммарный объем достиг почти 7000 км³, в том числе полезный объем составил примерно 4000 км³. При сравнении водохранилищ по площади зеркала и объему выявляется следующая картина (рис.10.2). Лидирующие позиции по полному объему и площади зеркала водохранилищ занимает Азия. Суммарная площадь ее водохранилищ составляет около 40% общемировой акватории, а суммарный объем – более 35%, главным образом за счет крупных искусственных водоемов России, Китая, Ирана, Индии. На втором месте водохранилища

Северной Америки, в которых аккумулировано почти 25% мирового объема водохранилищ, а площадь составляет немногим меньше 20% общемировой. Африка и Южная Америка располагают примерно одинаковым фондом водохранилищ, который по площади и объему составляет приблизительно 15% общемирового. В Европе и Азии доля площади водохранилищ превышает долю суммарного объема (рис. 10.2).

Наиболее достоверно оценивать влияние водохранилищ на регулирование стока можно по данным непосредственных гидрологических измерений. В результате таких измерений сток Волги в сравнении с естественным и проектным режимом по его регулированию в период половодья представлен на рис. 10.3.

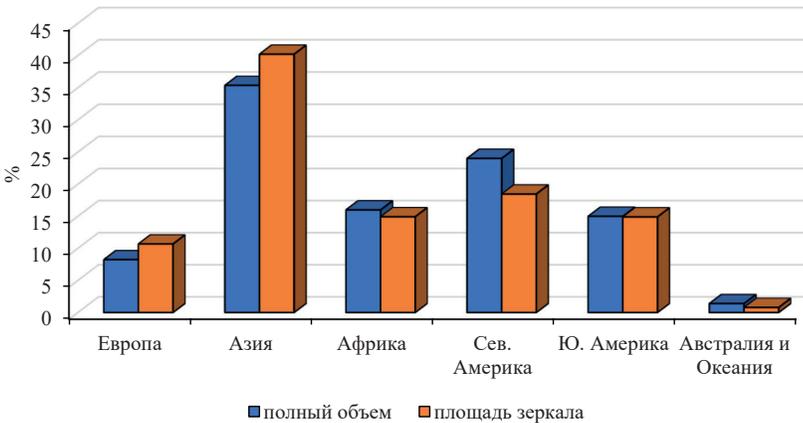


Рисунок 10.2. Доля полного объема и площади зеркала водохранилищ по континентам в общемировых суммарных показателях

До зарегулирования Волга в нижнем течении разливалась весной на 25–30 км. В некоторые годы уровень в реке поднимался у Волгограда – на 8–8,5 м, а у Астрахани – на 5,5 м. Теперь весенних половодий на Нижней Волге практически не бывает. Значительная часть стока половодья задерживается каскадом. Однако уже в период существования каскада были случаи экстремальной ситуации на Волге. Так, только благодаря водохранилищам катастрофически высокое половодье 1979 г. в бассейне Волги не принесло хозяйству неисчислимых бед. Ни разу после

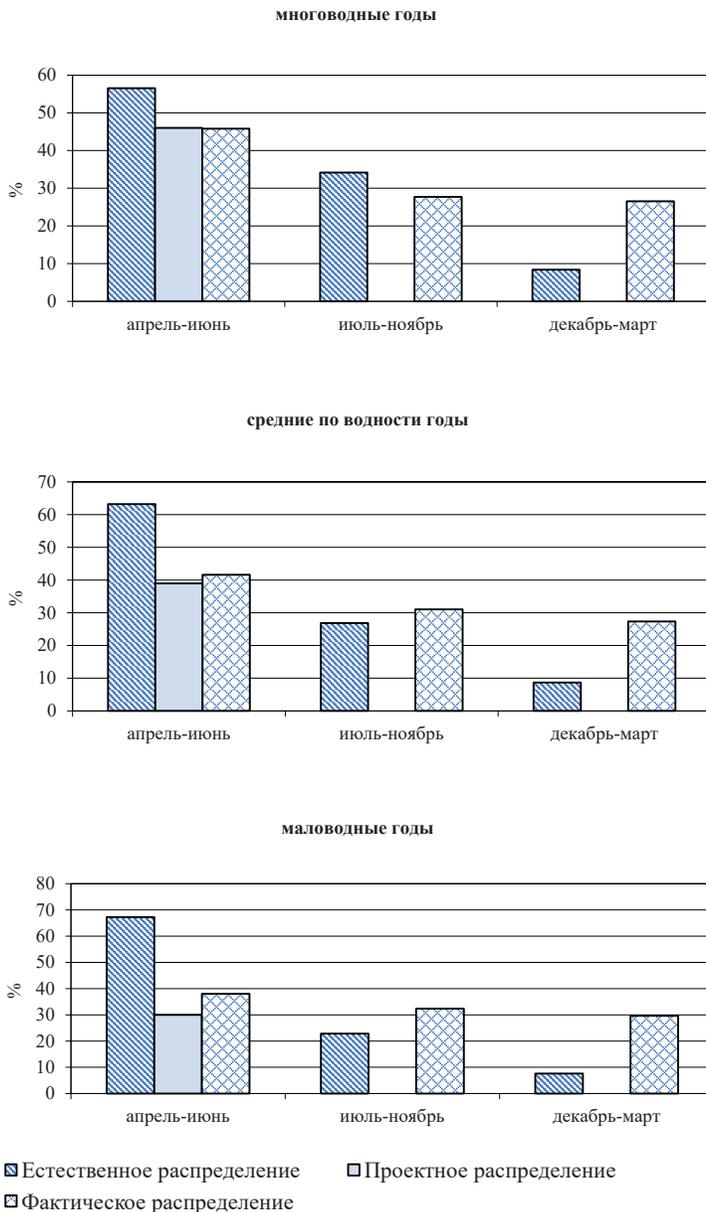


Рисунок 10.3. Перераспределение водохранилищами стока Волги по сезонам в годы разной водности (по А.Е. Асарину (1987))

строительства каскада не было на Нижней Волге столь высокого и продолжительного половодья. Расход воды через Волгоградский гидроузел превысил средний многолетний в 4,5 раза. Вместе с тем изменение со временем запросов к воде различных водопотребителей и водопользователей привело к изменению запроектированного режима стока.

Анализ реального зарегулирования речного стока по данным гидрологических измерений по крупным регионам мира требует большого специального исследования, потому приходится прибегать к косвенным показателям, например, отношению полезного объема водохранилищ к величине речного стока. Этот показатель оценивает, скорее, возможное, чем реальное регулирование стока, поскольку в конкретные годы полезная емкость водохранилища может быть использована не полностью, особенно у водохранилищ многолетнего регулирования стока. В исключительно же маловодные годы, что бывает очень редко, используется и мертвый объем.

Если ориентироваться на указанное соотношение, то ресурсы устойчивого во времени стока (сверх того, которое обеспечивается подземным питанием рек) можно увеличить в мире на 1/3, а в России почти на половину.

К сожалению, данные по полезному объему водохранилищ во многих случаях отсутствуют и приходится прибегать к еще более приблизительному показателю – соотношению полного объема водохранилищ и величины речного стока. При этом следует иметь в виду, что полный объем водохранилищ обычно в 1,5–2 раза больше полезного.

Рассмотрим рис. 10.4, на котором показано соотношение суммарного полного объема всех водохранилищ и полного речного стока по материкам и крупнейшим странам. Если использовать этот показатель в качестве характеристики степени зарегулированности рек, то более всего их естественный режим преобразован водохранилищами Северной Америки, как за счет их общего количества, так и значительных объемов некоторых из них, например, таких водохранилищ Канады, как Даниэль Джонсон (141,8 км³), Беннет (70,3 км³), Ла Гранд 2 и 3 (61,7 и 60 км³ соответственно). В Канаде и США это соотношение

составляет чуть больше 30%, а в Мексике при небольшом речном стоке почти 35%.

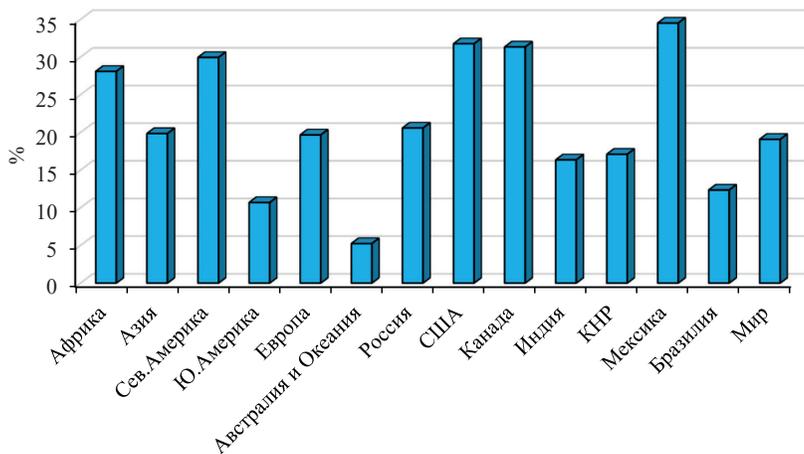


Рисунок 10.4. Отношение полного объема водохранилищ различного назначения к годовому речному стоку по материкам и крупным странам

В России соотношение полного объема водохранилищ с ее речным стоком составляет 20%, что несколько превышает общемировой показатель.

По сравнению с изменением водного режима рек гораздо меньшее влияние водохранилища оказывают на величину годового стока. По ориентировочным расчетам, потери на дополнительное испарение с акватории водохранилищ составили в мире на начало XXI века более 200 км³/год (около 0,6%), а в России немногим более 10 км³/год (около 0,3%).

Влияние водохранилищ на земельные ресурсы выражается, главным образом, в затоплении территории, значительную часть которой составляют ценные сельскохозяйственные угодья. В начале XXI века водохранилищами мира была затоплена территория, превышающая площадь Германии в два раза. О величине затопленных территорий отдельных материков можно судить на основании рис. 10.2 и 10.5. Из рис. 10.5 видно, что наибольшая доля земель, затопленных в результате создания водохранилищ, имеет место в Европе, главным образом благодаря крупным рав-

нинным водохранилищам России и Украины, а именно каскадам ГЭС на Волге, Каме и Днестре.

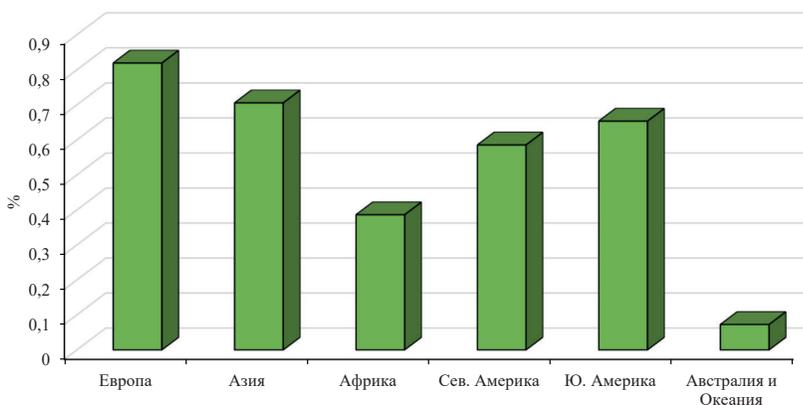


Рисунок 10.5. Соотношение площади водохранилищ и площади материков

10.3.4. Несколько подробней о водохранилищах России

В настоящее время в России построено и находится в эксплуатации свыше 3000 водохранилищ различного назначения. Их общие суммарные показатели следующие. Площадь водного зеркала – более 100 тыс. км², затоплено же (без учета площади подпертых озер) несколько более 70 тыс. км² (около 0,6% территории страны). Полный объем составляет около 900 км³. Из общего количества водохранилищ более ста имеют объем свыше 100 млн м³. Суммарный объем водохранилищ емкостью более 1 км³ составляет почти 90% общего объема воды, аккумулированного водохранилищами России. Большая часть водохранилищ расположена в европейской части России в бассейнах рек Волги и Камы, в Карелии. В Сибири наибольшие регулирующие емкости сосредоточены на Ангаро-Енисейском каскаде ГЭС.

Основная часть созданных водохранилищ имеет сложное комплексное назначение, однако удельный вес различных видов использования неодинаков. Волжские водохранилища (Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское) имеют, в отличие от северных, большое ирригационное значение. Ивановское водо-

хранилище предназначено главным образом для водоснабжения г. Москвы. Майнское водохранилище, являющееся нижним бьефом Саяно-Шушенского, выполняет роль контррегулирующей емкости для выравнивания сбросных расходов Саяно-Шушенской ГЭС при недельном и суточном регулировании. Водоохранилища Хантайское и Курейское исключительно энергетического назначения.

Водоохранилища размещены по территории России неравномерно. На европейской территории расположено почти 1100 водохранилищ с полным объемом более 350 км³. На азиатской территории России водохранилищ меньше более чем в десять раз, но их объем на 50% больше, чем европейских. Крупных и крупнейших водохранилищ на европейской территории – 34, а на азиатской – 15.

Водоохранилища севера и северо-запада ЕТР во многом отличаются от водохранилищ остальной территории России. Здесь расположено более 90 водохранилищ, из них 15 – крупных. Абсолютное большинство представляют собой *озера-водохранилища* (зарегулированные озера), то есть созданные в котловинах озер с разной величиной подпора их уровней. У некоторых уровень воды поднят на 3–10 м (Выгозеро, Нотозеро и др.), у остальных при подъеме уровня на 0,5–2 м площадь зеркала и очертания береговой линии существенно не изменились. Преимущества создания озер-водохранилищ заключаются в том, что если у озера большая площадь водного зеркала, то даже при маленьком подпоре оно имеет значительный полезный объем. Это позволяет проводить сезонное и многолетнее регулирование стока без существенного затопления земель.

Из водохранилищ, образованных при затоплении речных долин в этом регионе, можно выделить Верхнетуломское на р. Туломе и ее притоках, хотя и оно включает в себя небольшое Нотозеро. Это самое большое и глубокое из долинных водохранилищ региона.

На территории Русской равнины в пределах России расположено более 1000 водохранилищ, из них около 20 крупные и крупнейшие. Полный объем крупных водохранилищ составляет более 90% общего объема водохранилищ региона. Отличитель-

ной особенностью этого региона является равнинный характер водохранилищ. Строительство водохранилищ на равнинных реках связано с затоплением больших площадей пойм и речных долин и характеризуется значительными горизонтальными параметрами водохранилищ – длиной, шириной, площадью зеркала.

Существенным изменениям на территории Русской равнины подвергся режим главной ее реки – Волги. На ней и на ее притоках создано 13 крупных и крупнейших водохранилищ объемом более 1 км³. Из всех водохранилищ бассейна Волги на **Волжско-Камский каскад** приходится более 95% объема и площади затопления в бассейне.

Первой попыткой зарегулировать сток великой русской реки было строительство в 1843 г. в 5 км ниже озера Волго Верхневолжского бейшлота (водоподпорной плотины). Плотина, которую по нынешним масштабам можно было бы назвать запрудой, представляла собой деревянное сооружение со шлюзами для регулирования стока реки. Верхневолжский бейшлот был построен для улучшения условий судоходства по Верхней Волге в межень. И в наши дни пассажирское судоходство по Волге от верховьев до г. Твери поддерживается Верхневолжским гидроузлом. Но не тем деревянным бейшлотом, который был разрушен во время Великой Отечественной войны, а новой железобетонной плотиной. Объем водохранилища, построенного 1947 г., составляет 0,52 км³, площадь – 183 км².

Без малого сто лет разделяет строительство первого на Волге Верхневолжского водохранилища и второго, Иваньковского, которое часто называют Московским морем. От Иваньковского водохранилища начинается канал им. Москвы, соединяющий Волгу со столицей нашей страны. Далее, вниз по течению реки, еще семь плотин и водохранилищ перегородили Волгу. Самые крупные из них – Рыбинское, Куйбышевское и Волгоградское водохранилища.

Рыбинское водохранилище по своим размерам находится в одном ряду с крупнейшими озерами Европы – Ладожским и Онежским. Оно затопило широкие плоские участки долин левых притоков Волги Шексны и Мологи и междуречье между ними. В результате образовался озеровидный водоем шириной

до 60 км и длиной 140 км со сложной системой заливов, полуостровов и островов. Рыбинское водохранилище – главный регулятор стока Волги на участке до Самарского водохранилища. Причем это, по существу, единственное из волжских водохранилищ, осуществляющих регулирование стока частично в многолетнем разрезе.

Куйбышевское водохранилище является самым крупным во всем Волжско-Камском каскаде. Плотина Жигулевской ГЭС подняла уровень воды в Волге на 26 м, и воды водохранилища широко разлились по пойме реки на площадь почти в 6 тысяч км², затопив многочисленные старицы, озерки, острова и мели. Около 300 сел и городков изменили свое местоположение с появлением водохранилища. На острове оказался, например, город Свияжск, который раньше стоял на притоке Волги реке Свияге. А располагавшийся в низине на левом берегу Волги древний город Ставрополь попал в зону затопления и был полностью перенесен на другое место (ныне г. Тольятти). Пришлось переселять жителей этого города и многих других поселений на новое место жительства.

«Жигулевское море» – самое бурное из всех волжских водохранилищ. В осенние штормы сила ветра на нем нередко превышает 9–11 баллов, а высота волн – 3 м. Обычные годовые колебания уровня в водохранилище составляют 6–7 м.

Последнее в каскаде **Волгоградское водохранилище** – самое глубокое и длинное. Протяженность его равна 546 км, средняя глубина превышает 10 м, но по площади оно занимает лишь третье место. В Волгоградское водохранилище впадает последний приток великой реки – Еруслан, русло которого проходит по нулевой горизонтали. Вся расположенная к югу от него местность, в том числе и нижнее течение, и дельта Волги, лежат ниже уровня моря.

Водоохранилища Сибири и Дальнего Востока вносят существенный вклад в общий фонд водохранилищ России. Всего их насчитывается немногим более 70, но они составляют 60% полного объема и 56% площади водного зеркала всех водохранилищ страны. Здесь находятся 15 из числа самых крупных в мире водохранилищ. Этап массового создания водохранилищ сибирского

региона начался в 1950-х годах и продолжается до настоящего времени. Проблемы создания ряда этих водохранилищ подробно рассмотрены Л. М. Корытным (2011) и особенно трогательно в повести В. Г. Распутина «Прощание с Матёрой».

Водохранилища региона преимущественно долинного типа, создаются на многоводных реках, таких как Обь, Енисей, Ангара, Вилюй, Колыма, Зeya и др. Гористый характер рельефа региона обуславливает создание водохранилищ со сравнительно низкими показателями затопления земель. Так, Братское, Красноярское, Усть-Илимское, Зейское водохранилища имеют подпор в четыре–шесть раз больше, чем у примерно равных им по площади Самарского, Саратовского, Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ. Величина подпора изменяется от 220 м у Саяно-Шушенского до 50–120 м у остальных крупных водохранилищ. Длина их, как правило, значительна – от 565 км у Братского, 350–470 км у Красноярского, Богучанского, Вилюйского до 150 км у Колымского и Хантайского. По средней ширине водохранилища Сибири более узкие, чем равнинные в европейской части страны, хотя максимальная ширина некоторых сибирских водохранилищ (до 15–33 км) примерно такая же. Таковы основные морфометрические отличия европейских и сибирских водохранилищ России.

Ангаро-Енисейский каскад водохранилищ создавался в основном во второй половине XX века. Недавно завершено строительство Богучанского гидроузла. Полный объем водохранилищ – 439,2 км³, полезный объем – 132,8 км³, выработка электроэнергии – 100 млрд кВт·ч. Площадь акватории всех водохранилищ – 12,5 тыс. км² (затоплено около 300 тыс. га сельскохозяйственных угодий). В расчете на 1 км³ полезного объема затоплено в три раза меньше земель, чем Волжско-Камским каскадом – 94,9 и 324 км² соответственно, а в расчете на 1 млрд кВт·ч – почти в 5,7 раза меньше (125 и 720 км²).

Уникальное **Иркутское (Байкальское)** озеро-водохранилище создано путем подпора 60-километрового участка Ангары (высота подпора у плотины – 30 м) и подъема среднесезонного уровня Байкала на 1 м. Уникальность этого водохранилища определяется прежде всего огромной глубиной, объемом и пло-

щадью самого озера, наличием в нем уникальных видов флоры и фауны. Подпор озера не вызвал существенных изменений в его гидрологическом и гидробиологическом режимах. Водохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока, колебания уровня составляют 1,5 м. Используется для целей энергетики, судоходства, лесосплава и водоснабжения.

Братское водохранилище – одно из самых больших по полному объему долинное водохранилище мира. Для него характерна очень сложная конфигурация: широкие плесы, длинные и извилистые заливы. Водохранилище осуществляет многолетнее регулирование с колебаниями уровня до 10 м. Водохранилище имеет большое значение не только для энергетики, но и для судоходства и лесосплава в нижнем течении Ангары, а также для водоснабжения Братского промышленного комплекса.

Усть-Илимское водохранилище имеет длину по реке Ангара 270 км и характеризуется наличием длинного (около 300 км) залива по реке Илим. Наибольшая ширина водохранилища – 12 км. Оно осуществляет сезонное регулирование стока с колебаниями уровней до 1,5 м. Благодаря созданию водохранилища обеспечиваются нормальные условия судоходства и лесосплава и снабжение водой крупных предприятий по переработке древесины и добыче железной руды.

Богучанское водохранилище является четвертой, нижней, ступенью Ангарского каскада. Расположено в 445 км от устья р. Ангары. Строительство гидроузла продолжалось более 40 лет. Водохранилище руслового долинного типа, осуществляет сезонное регулирование стока, колебание уровней не превышает 1 м. Длина водохранилища – 375 км, максимальная ширина – 15 км, наибольшая глубина в приплотинной части – 70 м.

Саяно-Шушенское водохранилище обеспечивает работу самой мощной в стране ГЭС на реке Енисее. Временно эта ГЭС не работала на полную мощность из-за аварии в 2009 г. Длина водохранилища – более 300 км, наибольшая ширина – 9 км. Водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока с большими колебаниями уровней до 40 м. Его акватория очень извилиста и окружена высокими Саянскими горами. Располагается водохранилище в очень мало заселенной местности.

Красноярское водохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока, колебания уровня – до 18 м. Приплотинный участок водохранилища узкий, шириной до 800 м, каньонообразный, зажатый между высокими скалами. На Красноярском водохранилище сооружен уникальный судоподъемник для проводки судов через плотину. Чтобы не прорубать шлюзовые камеры в скалах, применено оригинальное техническое решение: суда, подходящие к плотине, попадают в специальную камеру, наполненную водой. Эта камера, как огромных размеров лифт, опускает суда из водохранилища через плотину вниз по течению реки и, наоборот, поднимает их на огромную высоту из нижнего течения в верхний бьеф.

Самым северным водохранилищем Сибири является **Хантайское**, расположенное за полярным кругом и снабжающее энергией Норильский промышленный узел. Это водохранилище, а также Вилюйское и Колымское уникальны тем, что они расположены в зоне вечной мерзлоты, в результате чего их режим имеет ряд специфических особенностей.

Огромное противопаводковое значение имеют **Бурейское** и особенно **Зейское** водохранилища. Благодаря их созданию уменьшился экономический ущерб от наводнений в бассейне Амура. Это особенно ярко проявилось во время катастрофического наводнения в 2013 г.

10.4. Плотины-достопримечательности

Плотины – одни из древнейших инженерных сооружений, созданных человеком. В XX веке их строительство достигло апофеоза, когда массово начали возводиться действительно грандиозные и невероятно дорогие конструкции, способные удивить своим величественным видом и представляющие интерес как полноценный туристический объект. Фотографии многих из них можно найти в открытом доступе в Интернете. На некоторые из плотин допускаются посетители. Например, за счет денег от посещения туристов плотины Гувера, одной из самых больших в мире, в значительной мере окупается ее содержание и обслуживание.

Плотина **Гувера** в США – одна из самых «возрастных» крупнейших плотин мира. Это бетонная арочно-гравитационная плотина сооружена в нижнем течении реки Колорадо и является уникальным гидротехническим сооружением (рис. 10.6). Она расположена в Черном каньоне, на границе штатов Аризона и Невада, в 48 км к юго-востоку от Лас-Вегаса. Образует водохранилище Мид. Построенная в самый разгар Великой депрессии 1930-х годов плотина Гувера стала величайшим сооружением своего времени и самой большой плотиной на момент сооружения. Строительство плотины – очень тяжелая работа, но более 20 тыс. человек были счастливы попасть на ее строительство, это была единственная возможность заработать в смутное для США время. Плотина признана одним из десяти Величайших сооружений XX века и до сих пор продолжает привлекать толпы туристов. Она является очень популярным объектом, фигурирует во многих фильмах, сериалах, в компьютерных играх.



Рисунок 10.6. Плотина Гувера – уникальное гидротехническое сооружение, одна из известнейших достопримечательностей в окрестностях Лас-Вегаса

Плотина была построена в рекордно короткие сроки – с 1933 по 1936 г., то есть за три года (ГЭС в целом строилась пять лет). Строительство велось в тяжелых условиях. Часть работ проводилась в туннелях, где рабочие страдали от избытка угарного газа (некоторые работники стали инвалидами или даже погибли вследствие этого). Работодатель же объявил, что данные заболевания – последствия обычной пневмонии и он не несет ответственность за это. В то же время эта стройка стала первой, на которой рабочие использовали защитные каски. Интересный факт, что в Боулдер-сити, где жили строители, во время строительства были запрещены проституция, азартные игры и торговля алкоголем. Запрет на продажу алкоголя сохранялся до 1969 г., а игровой бизнес запрещен и сейчас. Боулдер сити – единственный в Неваде город, где существует такой запрет.

Всего за время строительства погибло 96 человек. Первым человеком, погибшим на строительстве дамбы, был топограф Дж. Тирни, утонувший в Колорадо в декабре 1922 г. в процессе выбора наилучшего места для стройки. По стечению обстоятельств, последней жертвой стройки стал его сын Патрик Тирни, который погиб тринадцать лет спустя, упав с одной из водосбросных башен.

Плотина названа в честь 31 президента США Герберта Гувера, сыгравшего важную роль в ее строительстве. В 1981 г. она была включена в Национальный регистр исторических мест США и является национальной достопримечательностью. Так же впечатляют связанные с ней цифры: полностью бетонное сооружение поднимается в высоту на 221,4 м (вторая по высоте в США; земляная, насыпная плотина ГЭС Оровилль на р. Фивер имеет высоту 235 м), длина плотины – 379,2 м, ширина плотины – 200 м у основания, 15 м в верхней части. На строительство плотины было израсходовано 3,33 млн м³ бетона.

Самая высокая в мире каменно-набросная гравитационная плотина **Альберто Льерас** построена в Колумбии на реке Гуавио в 1992 г. Высота плотины – 243 м, длина по гребню – 390 м, объем тела плотины – 17,1 млн м³, установленная мощность ГЭС – 1150 МВт. Это и самая высокая плотина в Южной Америке.

Швейцария отнюдь не самая большая страна Европы, но ее ледники являются самым большим хранилищем пресной воды на европейском континенте, а реки, имеющие преимущественно ледниковое питание, обладают большим гидроэнергетическим потенциалом. Гидротехнический комплекс Клезон-Диксенс, расположенный в бассейне реки Роны, включает в себя четыре ГЭС, несколько водохранилищ, сложную систему тоннелей, трубопроводов и насосных станций. Часть комплекса – железобетонная гравитационная дамба **Гранд Диксенс**, построенная в 1964 г., имеет высоту от основания 285 м, что, по состоянию на 2011 г., делает ее самой высокой гравитационной бетонной плотиной в мире.

Итайпу – самая высокая контрфорсная плотина в мире (196 м), расположена на реке Парана на границе Бразилии и Парагвая. По состоянию на 2011 г., ГЭС Итайпу является также крупнейшей гидравлической электростанцией по выработке электричества в год и крупнейшим производителем электричества среди электростанций всех других типов. Гидроэлектростанция являлась самой мощной электростанцией в мире с 1989 г. по 2007 г., обогнав в 1989 г. ГЭС Гури и уступив первое место в декабре 2007 г. ГЭС Три ущелья. Из-за более равномерного годового гидрологического режима реки Парана по сравнению с Янцзы и, как следствие, из-за более равномерного притока к створу плотины в настоящее время ГЭС Итайпу производит большее количество электроэнергии в год, чем ГЭС Три ущелья, установленная мощность которой выше.

В Канаде в 1967 г. сооружена плотина **Дэниел-Джонсон** (рис. 10.7). Это сводчатое сооружение с 14 контрфорсами и 13 арками, высотой 214 м, длиной 1314 м является самым внушительным в мире среди многоарочных плотин. Плотина была названа в честь премьер-министра Квебека, который умер 26 сентября 1968 г., накануне официальной церемонии открытия.

Плотина расположена на реке Маникуаган, и в зоне подпора располагаются озера Мушалаган и Маникуаган. Последнее имеет очертания почти правильного кольца с крупным островом посередине. Оно образовалось в метеоритном кратере с одноименным названием, пятым по размеру на планете. Остров внутри Маникуагана называется Рене-Левассет и больше площади

озера почти на 100 км². Вся эта конструкция отлично видна из космоса и носит название «Глаз Квебека». Остров назван в честь главного инженера строительства, Рене Левассета, который умер за несколько дней до открытия плотины.



Рисунок 10.7. Плотина Даниэль-Джонсон. Это сводчатое сооружение является самым внушительным в мире среди многоарочных плотин

Лидером современной гидроэнергетики является Китай. В различной стадии реализации в этой стране находится масса уникальных проектов, в том числе высочайшей на данный момент в мире арочной плотины **Сяовань**. ГЭС Сяовань расположена на крупнейшей реке Юго-Восточной Азии – Меконге, текущей по территории Китая, Мьянмы, Таиланда, Лаоса, Камбоджи, Вьетнама. На территории Китая на этой реке расположен целый каскад из семи действующих и строящихся ГЭС, самой крупной из которых и является Сяовань. Строительство ГЭС началось 1 января 2002 г. и движется по-китайски быстрыми темпами. В октябре 2004 г. была перекрыта река, первый гидроагрегат пущен

в сентябре 2009 г., строительство плотины завершено в марте 2010 г. Конструктивно Сяовань представляет собой арочную плотину высотой 292 м, подземное здание ГЭС с шестью гидроагрегатами по 700 МВт, тоннельные водосбросы. Таким образом, проектная мощность ГЭС – 4200 МВт, среднегодовая выработка – 19 млрд кВт.ч. Плотина имеет достаточно «толстый» профиль, рассчитана на восьмибалльное землетрясение. В теле плотины расположено несколько ярусов водосбросов – довольно типичное конструктивное решение для китайских арочных плотин. По своей высоте плотина Сяовань побила 30-летний рекорд плотины Ингурской ГЭС, предыдущего рекордсмена среди арочных плотин.

Впрочем, рекордсменом Сяовань будет недолго. На завершающем этапе строительства в том же Китае находится ГЭС Жинпинь-1 с арочной плотинной высотой 305 м.

В настоящее время самая высокая, по версии Книги рекордов Гиннеса, действующая плотина **Цзиньпин-1** находится в Китае недалеко от устья р. Ялунцзян. Высота арок этой бетонной конструкции составляет 305 м. Китайцам удалось построить плотину высотой с Эйфелеву башню. На это гигантское сооружение протяженностью 569 м ушло 5 млн м³ бетона. Строительство плотины и самой ГЭС началось в 2005 г., первые два из шести генераторов мощностью 600 МВт были полностью введены в эксплуатацию 30 августа 2013 года, а последний генератор – 15 июля 2014 года. Перед началом строительства из зоны затопления, составившей 102,6 тыс. км², было переселено в другие районы 7,5 тыс. человек. Строительство этой дамбы стало частью программы китайского правительства по индустриализации и урбанизации региона Яньцюань, где расположена ГЭС, а также направлено на предотвращение эрозии почвы и защиты от наводнений в ее нижнем бьефе. ГЭС Цзиньпин-1 имеет классическую монолитную арочную форму с двойным изгибом, которая в своем основании имеет толщину 63 м, а в вершущке гребня – 16 м.

Плотина **«Три ущелья»** (Санься) – самая открытая и популярная среди туристов в Китае (рис. 10.8). Это самая большая плотина в мире по физическим размерам, объемам использованных стройматериалов и потраченных денежных средств, а гидроэлектростанция при ней – по количеству вырабатываемой

электроэнергии. Очередное китайское чудо, символизирующее растущую мощь поднебесной, строится, начиная с 1992 г., имеет 2309 м в длину, 600 м в ширину и 185 м в высоту. Для сравнения: самая большая дамба в мире до 2006 г. Гранд Кули в США имеет лишь 1592 м в длину, 503 м в ширину и 168 м в высоту. На данный момент почти все основные работы закончены, и ГЭС Три ущелья уже вырабатывает колоссальные объемы энергии. Напорные сооружения ГЭС образуют крупное водохранилище площадью 1045 км², полезной емкостью 22 км³.



Рисунок 10.8. Плотина «Три ущелья» – самая большая плотина в мире по размерам, объему использованных стройматериалов и потраченных денежных средств

Идею строительства дамбы на реке Янцзы обсуждали еще в 1919 г., сторонником строительства был Сунь Ятсен (китайский революционер, основатель и первый президент Китайской республики, создатель партии Гоминьдан). Но масштабность проекта в то время не позволяла осуществить строительство. В 1956 г. Мао Цзэдун написал поэму под названием «Плавание», где рассказывал о своих мыслях о плотине на реке Янцзы. Поэма родилась после ужасного наводнения на реке в 1954 г.

У проекта «Три ущелья» было множество сторонников и не меньшее количество противников. Среди позитивных моментов:

дамба увеличивает пропускную и навигационную способность реки, значительно снижает риск наводнений вниз по течению реки (множество людей погибли при предыдущих наводнениях), ну и самое главное – ГЭС вырабатывает колоссальное количество электроэнергии. За первый год своей работы ГЭС уже покрыла 1/3 часть своей проектной стоимости. На ГЭС будут установлены 32 генератора, которые в конечном итоге будут вырабатывать 22,5 тыс. МВт, что более чем втрое превысит мощность Саяно-Шушенской ГЭС.

Руководство проектом и китайское правительство расценивают проект как историческую разработку, огромный социально-экономический успех. Однако при создании водохранилища было затоплено 27820 га обрабатываемых земель, 13 городов, 140 поселков и 1300 деревень, было переселено около 1,2 млн человек, 1300 археологических и культурных памятников Китая были уничтожены, навсегда исчезнув под водой. Появились существенные экологические изменения, увеличился риск оползней.

Задача, поставленная Китаем, поражает масштабами. Река Янцзы, которую взялись обуздать строители, – одна из самых больших и полноводных. Столетиями тысячи жителей Поднебесной страдали от ее разливов. За последнее тысячелетие на реке Янцзы произошло 215 катастрофических наводнений. Экономический ущерб от наводнения в 1998 г. оценивался в 24 млн долл. США, 4 тыс. человек погибли и 14 млн лишились крова. Теперь же реку перекрыла плотина. После строительства плотины длиной 2309 м и высотой 185 м наводнения практически исключены.

Плотина «Три ущелья», несомненно, займет почетное место в списке грандиозных сооружений, ведь на ее строительство израсходовано 28 млн м³ бетона.

Одним из безусловных достижений СССР было строительство самой высокой в мире плотины – **Нурекской ГЭС** высотой 300 м на р. Вахш в Таджикистане. Она возведена из гравийно-галечных материалов с центральным суглинистым ядром и расположена в районе с сейсмичностью девять баллов. Мощность ГЭС – 3 тыс. МВт, гидроэлектростанция является базовой для энергосистемы Таджикистана, регулирует выработку всего Вахшского каскада. Водоохранилище ГЭС также играет важную роль в орошении засушливых земель. Строительство ГЭС на-

чалось в 1961 г., последний из девяти гидроагрегатов был пущен в 1979 г. Закрепить лидерство должна была верхняя ступень Вахшского каскада – **Рогунская ГЭС** с 335-метровой плотиной, но строительство, начатое еще в 1976 г., было прервано после распада СССР. В настоящее время Таджикистан ведет работы по достройке Рогунской ГЭС, но перспективы завершения этого проекта остаются неясными.

Самая высокая плотина России – плотина **Саяно-Шушенской ГЭС** (рис. 10.9). Саяно-Шушенская гидроэлектростанция им. П. С. Непорожного – мощнейшая в России и шестая по мощности гидроэлектростанция в мире. Ее строительство было завершено в 1988 г. Расположена на реке Енисей в Саянском каньоне на юго-востоке Республики Хакасия. Плотина ГЭС является примером гравитационных дамб арочного типа. Это уникальное по размерам и сложности возведения гидротехническое сооружение. Конструкция высоконапорной арочно-гравитационной плотины не имеет аналогов в мировой и отечественной практике. Ее устойчивость обеспечивается как весом, так и упором в берега. Плотина Саяно-Шушенской



Рисунок 10.9. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС является примером гравитационных дамб арочного типа

ГЭС – самая высокая плотина такого типа в мире. Высота сооружения – 245 м, длина дуги по гребню плотины – 1066 м, ширина по основанию – 105,7 м и по гребню – 25 м. Плотина очерчена по напорной грани радиусом 600 м.

В августе 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС произошла крупная техногенная авария, которая более подробно будет рассмотрена в следующем разделе.

Братская ГЭС (им. 50-летия Великого Октября) – гидроэлектростанция на реке Ангара в Иркутской области, в городе Братске. Одна из крупнейших и наиболее известных ГЭС России. Братская ГЭС сразу стала советской легендой. Ее воспел в своей поэме Евгений Евтушенко, о ней написали свои лучшие песни Александра Пахмутова и Николай Добронравов, на нее считали честью поехать лучшие артисты страны, ее мечтали строить миллионы комсомольцев.

Строительство Братской ГЭС было объявлено ударной комсомольской стройкой и находилось в центре общественного внимания. Многие из строителей были награждены государственными наградами. Гидроэлектростанция стала символом промышленного развития Сибири.

Строительство Братского гидроузла, второй ступени каскада на Ангаре, начавшееся в 1955 г., осуществлялось в небжитых тяжелых условиях Сибири. Это потребовало создания нового мощного комплекса строительной индустрии, возведения большого объема жилья и коммуникаций, а также проведения серьезных научных исследований, включающих расчеты прочности сооружений и основания, устойчивости всей системы; анализа температурного режима, обусловленного строительным периодом и внешними воздействиями во время эксплуатации, и др. Учитывая суровые климатические условия, были разработаны специальная технология ведения всех строительных работ, особенно бетонных, новые составы бетона, технологии их приготовления, транспортировки, укладки и выдержки. Климатические особенности района строительства нашли отражение и в конструкции плотины – была создана новая конструкция бетонной гравитационной плотины с уширенными строительными швами. Длина плотины – 924 м и максимальная высота – 124,5 м. По ее гребню

проходит магистральная железная дорога Тайшет-Лена, а ниже – шоссейная дорога. Судопропускных сооружений ГЭС не имеет, сквозное судоходство по Ангаре отсутствует. На перспективу предусмотрено сооружение судоподъемника. Мощность ГЭС – 4515 МВт, среднегодовая выработка – 22,6 млрд кВт·ч (вторая в России ГЭС по выработке за год). Напорные сооружения длиной 5140 м образуют уникальное по размерам Братское водохранилище многолетнего регулирования (169 км³).

В ходе заполнения Братского водохранилища было затоплено более 100 деревень и не менее 70 хозяйственно освоенных островов. Нередко население 10–15 деревень, расположенных по берегам Ангары, переселяли в одно место. Самый крупный поселок, Усть-Уда, был перенесен на 35 километров. Трагедии «Ангарской Атлантиды» посвящено произведение Валентина Распутина «Прощание с Матерой».

К числу неординарных гидроузлов следует отнести и **Комплекс гидротехнических сооружений по защите г. С. Петербурга от наводнений (КЗС)**.

Комплекс, протянувшийся на 25 километров по акватории Финского залива, состоит из 11 каменно-земляных дамб, двух судопропускных и шести водопропускных сооружений, шести-полосной автомобильной дороги, пущенной по гребню дамб и подводному тоннелю. Все основные работы по сооружению КЗС были выполнены отечественными специалистами на российских мощностях.

КЗС рассчитан на то, чтобы защитить жителей Санкт-Петербурга, памятники культуры, стратегические объекты, инфраструктуру города от нагонных наводнений, в том числе высотой 5 м. Нагонные наводнения в последние годы заметно участились: 25% всех невских наводнений за более чем 300-летнюю историю наблюдений пришлось на последние 15 лет. При этом многократно возросла частота зимних наводнений, крайне редких в предыдущие три века. По статистике, в Петербурге происходит, в среднем, до 100 подъемов воды в Неве в год, из них от одного до десяти – с подтоплением территорий города. По расчетам городских властей, ущерб от таких наводнений может составлять от 3 до 50 млрд рублей. В октябре 2010 г. КЗС уже помог предот-

вратить наводнение с подъемом воды на 180 см. После закрытия всех затворов комплекса уровень воды в Неве повысился лишь на 20 см.

Помимо своего основного предназначения – защиты города от наводнений, комплекс также замыкает периметр Кольцевой автодороги, существенно улучшая транспортную обстановку в Санкт-Петербурге. Проходящий по дамбам КЗС участок Кольцевой автодороги соединяет между собой северную и южную части города, а также остров Котлин, и обеспечивает наземную автомобильную связь с материковой частью города Кронштадта.

Подсчитано, что в сооружение комплекса за время строительства было уложено более 42 млн м³ инертных материалов, 2 млн м³ железобетона, 100 тыс. т металлоконструкций и оборудования. В проектировании и строительстве комплекса участвовали более 100 научно-исследовательских и проектных институтов, строительных и монтажных организаций, поставщиков материалов и оборудования.

Строительство комплекса началось еще в 1979 г., но неоднократно прерывалось, поскольку экологи опасались, что из-за недостаточного водообмена Маркизовой лужи (отгороженной западной части Финского залива, примыкающего к устью р. Невы) начнутся процессы резкого ухудшения в ней состояния воды, ее эвтрофикации («цветения» воды), и действительно вскоре после начала строительства КЗС эти негативные процессы стали быстро нарастать. Главная же причина этого была не в КЗС, а в том, что сточные воды Санкт-Петербурга, сбрасываемые в р. Неву, или не очищались, или очищались недостаточно. Когда ситуация с очисткой сточных вод улучшилась, улучшилось и состояние Невы и Маркизовой лужи.

Проекты «Зельдерзе» и «Дельта». Классическим примером грандиозного гидротехнического строительства по защите от вторжения морских вод являются Нидерланды – страна низменностей. Большая часть ее территории располагается ниже уровня моря и только 30% поднимается до 1 м над ним, а 2% – выше 50 м. Защита от наводнений – жизненно важная задача Нидерландов, причем с давних пор она сочеталась с осушением прибрежных мелководий и созданием польдеров. «Польдер» – нидерландское

слово, означающее участок земли, обнесенный дамбами, с помощью которых можно регулировать уровень воды в почве.

Первые земляные плотины были построены еще в начале XI века, а первый большой гидротехнический проект в Нидерландах относится к 1287 г., когда после затопления Фрисландии была проложена окружная дамба длиной 126 км, состоящая из глины и морской травы. Подобные сооружения, только в более современном виде, можно встретить и по сей день. Например, остатки такой дамбы до сих пор составляют часть побережья озера Эйсселмер между городами Хорн и Энкхаузен. Для отвода избыточной влаги использовались ветряные мельницы, которые сооружались каскадами для последовательного сброса вод. Мельницы в условиях плоских низин служили сигнальными пунктами и ориентирами. В XIX веке они были постепенно заменены насосными станциями.

После осушения польдера на дне остается вязкая, топкая масса, которая совершенно непроходима. Поэтому, прежде всего, высаживают камыш, который растет около двух лет. Этим достигаются три цели: оставшаяся вода усиленно испаряется, почва становится плодородней, и, наконец, растущие горизонтально корни камыша укрепляют грунт. После этого камыш сжигают и приступают к сельскохозяйственным работам. В первые годы здесь разводят растения, не требующие культивации тяжелыми машинами, главным образом рапс. Затем здесь выращивают пшеницу. По прошествии пяти лет в польдере появляется прочный верхний слой толщиной 1,2 м, после чего земля отдается в аренду фермерам. Таким образом, появляется новый сельскохозяйственный район, где разведятся в основном картофель, пшеница и сахарная свекла. В отличие от материка, собственником осушенных земель остается государство.

Шторм 1916 г., прорвавший несколько дамб по берегам залива, а также боязнь массового голода в годы Первой мировой войны из-за недостатка пахотных земель, послужили импульсом к началу осуществления крупнейшего гидрологического проекта в Нидерландах, получившего название «Зейдерзе» («Южное море»). В нем были указаны три основные цели: защита центральных Нидерландов от стихии Северного моря; увеличение

поставок продовольствия с новых сельскохозяйственных угодий; улучшение управления водными ресурсами путем создания пресноводного озера на месте соленого залива.

В результате комплексного плана по мелиорации Нидерландов, подготовленного группой инженеров во главе с Корнелиусом Лели, залив Зейдерзе был отгорожен искусственной дамбой от Северного моря. Эта колоссальная работа была выполнена в течение пяти лет, и дамба длиной 32 км соединила берега двух провинций – Северной Голландии и Фрисландии. 28 мая 1932 г. в 14 часов был перекрыт последний участок. На месте, где был перекрыт последний пролив, воздвигнут монумент работы архитектора Виллема Дудока. За дамбой закрепилось название Афслейтдейк. В Книге рекордов Гиннеса она значится как самая большая по протяженности морская дамба из всех существующих в мире. Ширина дамбы составляет 90 м, изначальная высота – 7,25 м над уровнем моря, уклон откосов – 25%. Дамба прошла между населенными пунктами Ден-Увер и Зюрих. На двух ее концах расположены системы шлюзов для обеспечения судоходства и прокачки воды. Часть акватории к югу от дамбы превратилась в пресноводное озеро – Эйсселмер. За пять лет морская вода была вытеснена пресными водами реки Эйссел (приток Рейна), впадающей в озеро. Эйсселмер – крупнейший по площади пресноводный водоем Западной Европы. В 1975 г. озеро Эйсселмер было разделено на две части. Западная, меньшая часть, была отделена дамбой Хаутрибдейк и стала самостоятельным озером Маркермер.

В рамках проекта «Зейдерзе» было создано пять польдеров. Осушение первого крупного польдера (Вирингермер) завершилось в 1930 г., а последнего (Южный Фреволанд) – 38 лет спустя. Второй по счету польдер (Нордостпольдер) не был полностью осушен до 1942 г. и играл важную роль в голландском Сопротивлении во время Второй мировой войны, предоставляя множество мест для укрытия. После войны осушили почти 1000 км² земли, на которой расположились города Лелистад и Алмере. Последний из планируемых польдеров (Маркервард) после интенсивной полемики осушен не был, хотя дамба и была завершена, – потребность в новых сельскохозяйственных площадях

практически пропала, а уже существующая экологическая и рекреационная ценность Маркермера оценивалась выше, чем предполагаемые возможности Маркерварда. В 1986 г. на новых землях была основана провинция Флеволанд. Общая площадь «отвоеванной» у моря земли составила 1650 км².

За свою историю эстуарии рек Рейн, Маас и Шельда затоплялись множество раз. После постройки дамбы Афслеитдейк, превратившей залив Зейдерзее в озеро Эйсселмер, голландское правительство стало изучать возможность возведения защитных сооружений в дельте Рейна.

Разразившаяся Вторая мировая война задержала выполнение задумки, но уже в 1950 г. были закрыты два небольших залива: Брилсгат рядом с Брилле и Ботлек рядом с Влардингеном. После наводнения в 1953 г., когда море прорвало многие береговые дамбы, было решено воплотить в жизнь проект «Дельта». Его реализация длилась с 1950 по 1997 г., было создано несколько дамб, шлюзов и штормовых барьеров. Устья Восточная Шельда, Харингвлит и Гревелинген закрылись дамбами, что уменьшило длину береговой линии на 640 км. Эстуарии Ньиве-Ватервег и Западная Шельда, интенсивно использующиеся для судоходного сообщения с портами Роттердама и Антверпена, было решено оставить открытыми, чтобы, во-первых, не перекрыть доступ к местам нереста многих сортов рыб Северного моря, и, во-вторых, не уничтожить существующие хозяйства по разведению устриц и мидий. В то же время необходимо было обеспечить надежную преграду морской воде во время опасных приливов.

По мнению Американского общества гражданских инженеров, проект «Зейдерзе» совместно с проектом «Дельта» является одним из Семи чудес света современного мира.

10.5. Насколько опасны гидротехнические сооружения

Гидротехническое сооружение, создающее разницу уровней воды до и после него, потенциально является гидродинамически опасным объектом вследствие возможности образования волны прорыва при разрушении. Большинство плотин и водохранилищ, созданных на реках различных стран мира, продемонстрировали сравнительно высокую надежность и долговечность – многие из

них эксплуатируются десятки и даже сотни лет. Однако аварии на них, вызванные стихийными и антропогенными факторами, все же случаются. Подобные аварии случались в прошлом (см. гл. 7), имеют они место и в настоящее время.

Причинами аварий бывают экстремальные половодья и паводки, человеческий фактор (ошибки в проектировании и управлении работой гидроузлов, некачественное строительство), а в основном и то и другое вместе. Чаще всего аварии случаются на малых плотинах, не всегда должным образом спроектированных или построенных без всякого проектирования. К созданию крупных плотин обычно относятся с большим вниманием. Как правило, они создаются с большим запасом прочности. Аварии на них весьма редки, но все же происходят при самом неблагоприятном стечении указанных выше причин. Остановимся на некоторых, наиболее известных, имевших место в недавнем прошлом.

В практике гидростроительства и функционирования гидроузлов сравнительно недавнего времени наиболее известны пять аварий. Это разрушение плотин Баньцяо в 1975 г. в Китае, Мальпассе (южная Франция) в 1959 г., Болдуин Хиллз (Калифорния, США) в 1963 г., Вайонт (северная Италия) в 1963 г. и Тетон (Айдахо, США) в 1976 г.

Крупнейшей аварией за всю историю ГЭС является прорыв плотины китайского водохранилища Баньцао в 1975 г и других водохранилищ в бассейне р. Жу в провинции Хэнань. Плотина Баньцяо была построена в начале 1950-х годов. Высота плотины составляла 118 м, объем водохранилища – 375 млн м³.

В результате ошибок проектирования и строительства медленно после ввода плотины в эксплуатацию в ней появились трещины и протечки, которые были ликвидированы. По новому проекту она была усилена стальными конструкциями и стала считаться несокрушимой.

Один из ведущих китайских гидрологов Чень Син рекомендовал строительство 12 водоспусков для плотины Баньцяо, но в целях экономии было построено только пять. Прочие плотины в бассейне реки Жу, включая расположенную непосредственно выше плотины Баньцяо плотину Шиманьтань, стали строить по аналогичным принципам экономии. Чень Син, публично крити-

ковавший данное начинание, был отстранен от работы за якобы призывы к растрате народных средств (после катастрофы он был привлечен к ликвидации последствий и восстановлению плотин).

В августе 1975 г. тайфун «Нина» столкнулся с холодным фронтом, в результате в бассейне реки Жу выпало более 800 мм осадков. Водоохранилище начало переполняться. Водосбросы и шлюзы не были открыты для того, чтобы предотвратить затопления территории ниже по течению, затем связь была прервана из-за паводка. На плотину высадился армейский десант, который должен был восстановить связь. На следующий день, когда стало ясно, что шлюзовые затворки заблокированы, подразделение запросило ударить по ним ВВС. Удар мог разрушить створки шлюзов, но через десять минут рухнула находящаяся выше по течению плотина Шиманьтань, а через полчаса, вода хлынула через верх плотины Баньцяо, и она тоже рухнула.

Образовавшаяся волна прорыва имела высоту 3–7 м, ширину 10 км и скорость 50 км/ч. Было затоплено семь районных центров и несчетное количество деревень.

Телеграфные приказы об эвакуации запаздывали или вообще не доходили из-за обрывов связи, сигналы бедствия в виде ракет, подаваемые военными, были никем не поняты, телефоны отсутствовали, солдаты-посыльные были не в состоянии обогнать волну прорыва, некоторые из них погибли и пропали без вести.

В населенных пунктах, своевременно получивших приказ об эвакуации, потери были относительно низкие. Так, в расположенной рядом с плотинной деревне Шахэдянь погибло 827 человек из 6000. В расположенной возле Шахэдянь, но своевременно не предупрежденной деревне Вэньчэн, погибла половина из 36 тыс. населения, а деревня Даовэньчэн была смыта с лица земли со всеми 9,6 тыс. жителями.

Плотины, расположенные ниже по течению, пытались разрушить точечными авиаударами с целью перенаправить поток наводнения в другое русло, но это слабо помогало. В итоге вода из прорвавшегося водоохранилища Баньцяо снесла 62 плотины ниже по течению.

Первые оценки погибших колебались от 90 до 230 тыс. человек, но впоследствии выяснилось, что десятки тысяч людей

были унесены водным потоком за сотни километров в соседние провинции, и позднее они вернулись домой.

Согласно данным департамента гидрологии провинции Хэнань, всего в результате наводнения погибло 26 тыс. человек, еще 145 тыс. погибло вскоре после наводнения из-за голода и эпидемий. Было разрушено 5960 тыс. домов. Всего число пострадавших составило 11 млн человек.

Разрушению плотины Мальпассе на р. Рейран во Франции предшествовал период сильных дождей. В середине ноября 1959 г. при уровне воды в водохранилище 95,20 м было обнаружено просачивание воды на правом берегу в сторону нижнего бьефа. 2 декабря уровень воды в водохранилище достиг отметки 100,0 м, а около 21 ч. 10 мин. плотина почти мгновенно разрушилась. В результате аварии сильно пострадал расположенный ниже по течению г. Фрежюс, погиб 421 человек, ущерб от катастрофы оценен в размере 68 млн долл.

Плотина представляла собой тонкую цилиндрическую арку высотой 60 м, толщиной у основания 6,91 м, отметка гребня водослива – 100,4 м. По мнению специалистов, неправильное техническое решение плотины, в результате чего произошло разрушение основания левобережного примыкания и смещение берегового устоя, и отсутствие мониторинга за ее состоянием явились основными причинами катастрофы.

Ярким примером аварии на водохранилище является авария в долине р. Пьяве (север Италии) в 1963 г., когда огромный оползень площадью 2 км² и объемом около 300 млн м³, спровоцированный заполнением водохранилища Вайонт, внезапно обрушился, разделив водохранилище на две части и выплеснув в сторону верхнего и нижнего бьефов примерно 115 млн м³ воды. Волна высотой 25 м перехлестнула через плотину и устремилась вниз по течению, сметая все на своем пути. Жертвами катастрофы (общее количество пострадавших – 1925 человек) стали жители поселков Лонгароне (почти полностью разрушен), Пираго, Вилланова и других и рабочие и инженерно-технический персонал самого гидроузла (40 человек). Сама плотина, в то время самая высокая (высота – 262 м, объем водохранилища – 168 млн м³) арочная плотина мира, почти не пострадала, выдержав огромные нагрузки.

По оценкам экспертов, катастрофа произошла в результате фатального сочетания ряда ошибок: грубого просчета при модельных исследованиях, недостаточной тщательности геологических изысканий, неоправданного подъема уровня водохранилища, непринятия мер по безопасности населения.

14 декабря 1963 г. произошел прорыв воды в основании плотины Болдуин Хиллз в Калифорнии (земляная насыпная плотина высотой 49 м, длиной по гребню 168 м, водохранилище емкостью 1 млн м³ входит в систему водоснабжения Лос-Анджелеса). Водоохранилище опорожнилось в течение нескольких часов через образовавшуюся брешь в плотине, затопив городские кварталы Лос-Анджелеса и разрушив 277 жилых домов. Ущерб оценивается по различным источникам от 12 до 50 млн долл., принятые меры предосторожности позволили значительно сократить человеческие жертвы (погибли пять человек).

По официальным данным, авария произошла в результате развития эрозионных процессов, медленной осадки основания, вызванной как современными тектоническими подвижками, так и активной эксплуатацией ближайших нефтяных месторождений.

Авария на плотине Тетон (каменно-земляная плотина, построена на р. Тетон в бассейне р. Колорадо для регулирования стока в целях орошения, борьбы с паводками и выработки электроэнергии, максимальная высота – 93 м, длина по гребню – 930 м, емкость водохранилища – 385 млн м³) произошла 5 июня 1976 г. во время первого заполнения водохранилища. Двумя днями раньше была обнаружена фильтрация через плотину, приведшая к полному разрушению правобережной части сооружения. В результате аварии были полностью затоплены города Тетон и Шугарити. За несколько часов до прорыва плотины из опасной зоны было эвакуировано 30 тыс. человек. С учетом всех неблагоприятных последствий причиненный ущерб превысил 1 млрд долл.

Среди причин аварии отмечают серьезные просчеты в проекте, фильтрация, сопровождающаяся суффозионным выносом материала в основании плотины и ее нижней части, отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры в теле плотины.

В бывшем СССР и в России не было ни одного случая катастрофического разрушения больших плотин. Однако неоднократно

но отмечались случаи аварийных ситуаций, как во время строительства, так и в процессе эксплуатации гидротехнических сооружений. На небольших же водохранилищах аварии имели место.

Так, в 1994 г. в Башкирии была прорвана плотина Тирлянского водохранилища в результате его переполнения. Летние проливные дожди, перекрывшие в 1,5–2 раза среднемесячную норму осадков, вызвали разлив малых рек, уровень воды в которых поднялся на 1–1,5 м. Водоохранилище, расположенное в верховьях реки Белой в 40 км от г. Белорецка, приняло на себя основную массу воды из этих рек. Спустить воду из водохранилища оказалось невозможно: не сработал механизм затвора – лопнули старые изношенные тросы. Плотина, построенная в конце 1940-х годов и давно не ремонтировавшаяся, не выдержала напора воды и была размыта. Из Белорецкого пруда, расположенного ниже по течению, была максимально быстро сброшена вода, и он смог вместить весь объем ушедшей из Тирлянского водохранилища воды. Авария на этой небольшой плотине привела к человеческим жертвам (погибли 15 человек, 66 человек пропали без вести) и огромным материальным потерям (в ценах 1994 г. без учета остановки Белорецкого металлургического комбината ущерб оценивался в 6 млрд рублей).

Крупнейшей в истории катастрофой на гидроэнергетическом объекте России (без разрушения гидроузла) является авария на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 г. В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесен серьезный ущерб. Однако следует отметить, что на состоянии самой плотины авария не отразилась.

17 августа 2009 г. произошло внезапное разрушение гидроагрегата № 2 с поступлением через шахту гидроагрегата под большим напором значительных объемов воды. Персонал электростанции, находившийся в машинном зале, услышал громкий хлопок в районе гидроагрегата № 2 и увидел выброс мощного столба воды. Вследствие невыясненных причин свободный сток воды после турбины через отводной водовод (отсасывающую трубу) в нижний бьеф оказался частично или полностью перекрыт, поэтому вода полным напором в 212 м водяного столба хлынула через разгерметизированную шахту в машинный зал

станции, затопив в считанные секунды его и ниже расположенные помещения. Все гидроагрегаты ГЭС были затоплены, при этом на работавших гидрогенераторах произошли короткие замыкания, выведшие их из строя. Произошел полный сброс нагрузки ГЭС, что привело, в том числе, и к обесточиванию самой станции. На центральном пульте управления станцией сработала светозвуковая сигнализация, после чего пульт был обесточен – пропала оперативная связь, электропитание освещения, приборов автоматики и сигнализации. Автоматические системы, останавливающие гидроагрегаты, сработали только на гидроагрегате № 5, направляющий аппарат которого был автоматически закрыт. Затворы на водоприемниках других гидроагрегатов оставались открытыми, и вода по водоводам продолжала поступать на турбины, что привело к разрушению гидроагрегатов № 7 и 9 (сильно повреждены статоры и крестовины генераторов). Потоками воды и разлетающимися обломками гидроагрегатов были полностью разрушены стены и перекрытия машинного зала в районе гидроагрегатов № 2, 3, 4. Гидроагрегаты № 3, 4 и 5 были завалены обломками машинного зала.

В результате проведенного расследования непосредственной причиной аварии было названо усталостное разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата, что привело к ее срыву и затоплению машинного зала станции. Стоимость устранения последствий аварии оценивалась в более чем 40 млрд рублей.

В настоящее время Саяно-Шушенская ГЭС полностью оснащена новым и современным оборудованием, обладающим улучшенными рабочими характеристиками и соответствующим всем требованиям надежности и безопасности.

29 июля 1997 г. президентом России подписан Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений», определяющий конкретную ответственность за обеспечение безопасной эксплуатации плотин и других гидротехнических сооружений на реках и ответственность за возможные аварийные ситуации. В законе предусмотрены не только меры, осуществляемые и контролируемые государством, но и порядок обеспечения безопасной эксплуатации сооружений их собственниками и эксплуатирующими организациями. В том числе обязательным

становится осуществление диагностического контроля за состоянием сооружений и их оснований с применением современной контрольно-измерительной аппаратуры и компьютерных систем мониторинга. Предпринимаемые меры особенно энергично стали осуществляться после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. Есть все основания полагать, что риски, связанные с созданием плотин, особенно крупных, будут сведены к минимуму.

Как показывает практика, ущерб от аварий обычно превышает стоимость сооружения. В то же время расходы на контроль за состоянием сооружения в объеме 1-2% его стоимости снижают вероятность аварий в несколько раз. Поэтому в составе целого ряда мер по обеспечению безопасности гидросооружений, в том числе в указанном Законе, мониторингу уделяется повышенное внимание. Под мониторингом подразумевается система мер по наблюдениям, оценке, контролю и управлению состоянием гидротехнических объектов для предотвращения или уменьшения вероятности аварий и их катастрофических последствий.

В настоящее время осуществляется производственный контроль за безопасностью энергетических сооружений, совершенствуются средства мониторинга, производится компьютеризация натуральных наблюдений за состоянием энергообъектов, публикуются результаты обследования энергетических сооружений и т. д. Существующие средства мониторинга позволяют на высоком уровне обеспечивать своевременное обнаружение дефектов сооружений, оперативно принимать решения, снижают трудоемкость сбора информации, ее обработки, хранения и анализа. Кроме того, разрабатываются и внедряются предупредительные меры по защите и сохранности гидротехнических сооружений, включая не только службу мониторинга, но и непосредственную их охрану. Это потребовало усилий не только науки, проектировщиков и эксплуатационников, но и правоохранительных ведомств, правительственных и законодательных органов. В состав предупредительных мер входят также такие задачи, как расширение фундаментальных научных исследований для решения прикладных задач, повышение профессионального уровня и подготовка новых кадров специалистов в области стихийных бедствий и катастроф, прогнозы факторов риска и картографиро-

вание возможных последствий аварий и многие другие. Большое внимание уделяется гидрометеорологическому обеспечению мониторинга, совершенствованию нормативных документов, методам экспертной оценки надежности и безопасности плотин, методам автоматизированного контроля за безопасным функционированием энергообъектов, сейсмическому контролю и т. д.

10.6. Плюсы и минусы создания крупных гидроузлов и водохранилищ

Подавляющее большинство крупных гидроузлов и связанных с ними водохранилищ решают задачи гидроэлектроэнергетики. В России и во многих других странах при достигнутом уровне развития и за счет своего обширного комплексного влияния гидроэнергетика фактически преобразовалась в крупное межотраслевое направление народного хозяйства. Ею решаются следующие задачи:

- электроснабжение и снижение потребности страны в органическом топливе; уменьшение потребности в трудовых ресурсах, что особенно важно для регионов с неблагоприятным климатом;
- регулирование речного стока в интересах ирригации, промышленного и коммунально-бытового водоснабжения;
- снижение угрозы наводнений; создание глубоководных речных транспортных систем;
- создание пионерной транспортной, строительной и кадровой инфраструктуры для интенсивного хозяйственного освоения новых регионов страны;
- создание условий для рекреационных и лечебно-оздоровительных учреждений.

Роль ГЭС в решении проблем обеспечения электроэнергией общепризнана в мире. Гидротехнические сооружения отличаются высокой эффективностью и имеют целый ряд преимуществ перед другими источниками энергии. Покажем это на примере России.

Гидроэнергетика является важной составной частью топливно-энергетического комплекса РФ. Удельный вес гидроэнергетики в современной энергетике России составляет около 20% по

выработке энергии. Причем электроэнергии особенно ценной, позволяющей обеспечивать ее потребности в периоды «пиковой» нагрузки, когда они резко возрастают, чего не могут сделать тепловые и атомные станции. ГЭС базируются на возобновимых источниках энергии – водных ресурсах, что позволяет экономить другие виды топлива, не завися от поставок органического топлива, вырабатывают энергию в принципе без загрязнения природной среды, позволяют разгрузить транспортные системы. В пересчете на физический объем замещаемого органического топлива работа ГЭС России эквивалентна примерно годовой добыче энергетических углей в крупнейшем угольном бассейне страны – Кузбассе.

Эксплуатация ГЭС характеризуется более высокой производительностью труда по сравнению с ТЭС и АЭС, а также более высокой степенью автоматизации производства, отсутствием затрат труда на добычу, транспорт, переработку топлива и удаление отходов его производства. В результате численность эксплуатационного персонала ГЭС в 20 раз ниже, чем ТЭС с обслуживающими их топливными базами и транспортом. Особенно важно снижение потребности в трудовых ресурсах в таких районах, как Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север.

ГЭС – рентабельные производства, все построенные станции многократно себя окупали. Средняя себестоимость производства 1 кВт·ч выработанной на ГЭС электроэнергии в 5–7 раз ниже, чем на тепловых электростанциях. Это различие стремительно увеличивается по мере роста цен на органическое топливо, что особенно важно для районов Крайнего Севера России, где экономика отличается высокой энергоемкостью. ГЭС дают энергию и окупаются еще до завершения строительства.

Эффективность использования водных ресурсов и их роли в выработке энергии на ГЭС повышается при объединении гидроузлов в каскады, а последних – в энергосистемы, так как в энергосистему поступает энергия, выравненная в многолетнем разрезе. Это достигается за счет асинхронности многолетних и сезонных колебаний стока (например, Енисея и Ангары) и различных регулирующих способностей их водохранилищ. Гидроэлектростанции за счет выравнивания графиков нагрузки – основа

создания объединенных энергетических систем и оперативный и стратегический резерв мощности для покрытия непредвиденных изменений электронагрузки.

Создание ГЭС играет громадную роль в освоении природных ресурсов новых регионов и в формировании мощных промышленных зон. Комплексное использование водных ресурсов – одно из основополагающих условий повышения эффективности гидроэнергетического строительства. Зарегулированный сток рек обеспечил водными ресурсами промышленность, коммунально-бытовой сектор и сельское хозяйство. Без регулирования стока крупных рек во многих регионах страны возникли бы острые проблемы с водообеспечением народного хозяйства.

Гидроузлы внесли большой вклад в решение транспортной проблемы. Каскады водохранилищ на реках Волге, Каме, Дон создали глубоководную транспортную систему европейской части страны, связав северные и южные моря этого региона. Объем грузоперевозок пароходствами бассейнов крупных рек, где было осуществлено строительство каскадов русловых ГЭС, в несколько раз превысил возможности этих водотоков в их естественном состоянии.

Гарантированные глубины на ранее судоходных участках Волги возросли в 1,5–2, на Каме – в 2–2,5 раза, судоходным стал участок Волги от г. Рыбинска до Твери протяженностью 364 км. Обеспечение на воднотранспортном пути достаточных и относительно единообразных глубин позволило перейти на Волге, Каме, Днепре и других реках к эксплуатации самоходных судов грузоподъемностью 2000–5000 т и более вместо использовавшихся ранее барж грузоподъемностью 600–1000 т. Внедрение теплоходов на подводных крыльях ликвидировало один из наиболее существенных недостатков речного пассажирского транспорта – тихоходность. Скорость движения этих судов достигает 80–100 км/ч.

Увеличение продолжительности ледостава на водохранилищах, как правило, не влияет на продолжительность навигации благодаря использованию ледоколов. Так, на водохранилищах Волги и Камы ледокольный флот продлил навигацию в среднем на 15 суток.

Одним из важнейших экономико-географических последствий преобразования режима рек водохранилищами бывшего СССР стала возможность доставки грузов из внутренних районов страны в ближайшие морские порты. Суда разряда «О» (озерные) грузоподъемностью 2000 т и выше и разряда «М» (морские), создаваемые для внутренних водных путей, с некоторыми ограничениями пригодны для каботажного морского плавания, так как большую часть года высота волн на морях, омывающих берега бывшего СССР, не превышает 3 м; поэтому суда разряда «О», плавающие по внутренним водным путям, эксплуатируются и на морях.

Водохранилища ГЭС явились действенным средством борьбы с наводнениями. Суммарная площадь защищенных от наводнений территорий оценивается в 1,2 млн га. Суммарный полный объем водохранилищ противопаводкового назначения составляет в России и странах СНГ 221 км³ или 22% суммарного полного объема водохранилищ бывшего СССР. Противопаводковые возможности, например, водохранилищ Волжско-Камского каскада особенно проявились в 1979 г., когда максимальный расход притока воды, оцененный в 53 тыс. м³/с, в результате регулирования стока был уменьшен до 34 тыс. м³/с. Это позволило избежать больших ущербов от затоплений в Волгоградской и Астраханской областях. В случае отсутствия регулирующих сток водохранилищ максимальные уровни Волги весной и летом 1979 г. были бы близки к катастрофическим уровням половодья 1926 г., унесшего много жизней, материальный ущерб от которого до сих пор не известен.

Практически все водохранилища ГЭС интенсивно используются для рекреации и туризма. В бывшем СССР на берегах водоемов (морей, озер, крупных и средних рек, водохранилищ) было расположено около 55% санаторных учреждений, 80% учреждений отдыха, 60% туристических учреждений и более 90% учреждений пригородного отдыха. Около половины из них располагались на берегах водохранилищ. По данным Института водных проблем РАН, в России и странах СНГ на берегах водохранилищ проживают более 30 млн чел. городского населения, примерно 50 млн горожан проживают в пределах двухчасовой доступности водохранилищ.

Вместе с тем гидроэнергетика, как и все другие отрасли промышленности, оказывает и некоторое негативное влияние на окружающую природную среду и хозяйство прилегающих территорий. К таким последствиям относятся:

- затопление и подтопление земель в зоне создаваемого водохранилища;
- нанесение ущерба рыбному хозяйству;
- негативное влияние на изменения в климате, флоре и фауне в зоне водохранилища;
- изменения гидрологического и температурного режима, стока рек;
- социально-экономические проблемы, связанные с переселением населения, переносом промышленных объектов и транспортных коммуникаций;

Затопление земель является главным негативным фактором влияния гидроэнергетики на окружающую среду и социально-экономическую сферу. Необходимо отметить, что площадь затопленных и подтопленных земель составляет менее 0,5% площади всей страны – в 40–50 раз меньше общей площади ареалов острых геоэкологических ситуаций. Правда, эти земли, как и теряющие продуктивность в результате осушодоливания пойм, относятся, как правило, к числу наиболее ценных.

На территории России суммарные площади земель, выведенных из пользования в результате гидроэнергетического строительства, по обобщенным данным Гидропроекта, составляют 4460 тыс. га, в том числе: сельскохозяйственные угодья – 1560 тыс. га; лес, кустарник – 2140 тыс. га; неиспользуемые земли – 760 тыс. га. В числе сельскохозяйственных угодий: пашни – 453 тыс. га (0,3% общей площади пашни страны), сенокосы, пастбища – 1107 тыс. га. Не всегда при подготовке ложа водохранилища лес на затопляемой территории вырубается, что впоследствии создает целый ряд экологических проблем.

Гидроэнергетическое строительство нанесло определенный ущерб рыбному хозяйству. Изменение условий обитания проходных и полупроходных рыб, сокращение площадей нерестилищ, нарушение путей миграции, изменение гидрологического и температурного режимов стока привели к сокращению есте-

ственного воспроизводства рыб, снизили их запасы и ареалы распространения. Попытки устройства рыбоходов в плотинах не дали желаемых результатов. Более эффективным средством восстановления рыбопродуктивности зарегулированных рек явилось искусственное рыборазведение, создание прудовых и озерных товарных рыбоводных хозяйств и т. д. Строительство нескольких рыбоводных заводов на Нижней Волге позволило на определенном этапе восстановить производство осетровых в Волжско-Каспийском бассейне и даже увеличить уловы этого наиболее ценного вида рыб. Однако полностью эти искусственные мероприятия не могут заменить естественные нерестилища.

Слабо используется акватория водохранилищ для производства рыбы. Большинство водохранилищ не достигли запланированных объемов промысла в связи с недостаточной подготовкой их ложа к затоплению, недостаточным объемом рыбоводных работ и неблагоприятным для рыборазведения режимом эксплуатации водохранилищ. На большинстве водохранилищ уловы составляют 5–10 кг с одного гектара водной поверхности. Вместе с тем на Цимлянском водохранилище рыбопродуктивность доведена до 40 кг с 1 га. Правда, с полным учетом уловов, в том числе браконьерских, эти цифры, видимо, выше.

На снижение рыбопродуктивности зарегулированных рек основное угнетающее воздействие оказывает чрезмерное их загрязнение промышленными, коммунально-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами.

К числу неблагоприятных последствий создания водохранилищ ГЭС относится интенсивное переформирование их берегов, особенно в стадии заполнения. Это приводит к сокращению площадей лесов, сельскохозяйственных угодий, разрушению хозяйственных объектов, оживлению оползней, карстовых и других геологических процессов, требует дорогостоящих укрепительных работ.

Строительство плотин оказывает неблагоприятное влияние на фауну зон затопления, подтопления или нижнего бьефа гидроузлов. При наполнении водохранилищ погибают мелкие млекопитающие – землеройки, мышевидные грызуны и т. д., а более крупные животные мигрируют из зоны затопления, как правило,

их численность при этом сокращается. Новые водоемы нарушают традиционные пути миграции животных.

Пойменные земли во многих регионах (Сибирь, Дальний Восток), затапливаемые водохранилищами или находящиеся в зоне их влияния, являются богатыми охотничьими угодьями, с которыми связаны условия существования и различные промыслы многих коренных народов. Ущерб охотничьей фауне связан не только с гибелью животных, сменой мест их обитания, заменой одних видов животных другими, но и с нарушением и гибелью кормовых угодий, фактором беспокойства и т. д. Существенен ущерб, наносимый оленеводческим хозяйствам за счет падения продуктивности ягельных пастбищ и сокращения поголовья оленей при строительстве ГЭС и последующем освоении территории. Положительный фактор создания искусственных водоемов – увеличение числа и видов водоплавающих животных и птиц, использование новых водных акваторий для остановок перелетных птиц.

Эксплуатируемые и планируемые водохранилища ГЭС, к сожалению, затрагивают районы распространения редких видов животных и птиц, внесенных в Красную книгу, а также часть охраняемых территорий.

Безвозвратные потери воды за счет дополнительного испарения с зеркала водохранилищ России составляют примерно 1/3 всех видов антропогенных изъятий.

В нижних бьефах гидроузлов негативные последствия их создания связаны в основном с изменением водного и термического режима рек водохранилищами, и в первую очередь это потеря плодородия и биологической продуктивности пойм, а в районах с устойчивой зимой – образование незамерзающей полыньи. Уменьшение продолжительности и высоты половодья приводит к изменению гидрологического и гидрогеологического режимов пойменных ландшафтов и их остепнению (разреживание травостоя, снижение продуктивности луговых комплексов).

Переселение людей из зон затопления является весьма болезненным социальным фактором крупной гидроэнергетики. В бывшем СССР вопросы отчуждения земель под водохранилища и их компенсации решались путем их передачи из одного вида

пользования в другой. Использование земель в тех или иных целях определялось на основе специальных постановлений Совета министров СССР и Основ земельного законодательства с тщательным анализом народнохозяйственной эффективности вариантов этого использования. Разрешения на изъятие земель под водохранилища выдавались Советами министров союзных республик.

При подготовке водохранилищ, как правило, проводились специальные мелиоративные и строительные работы для устройства жителей, выселяемых из зоны затопления. В проектах водохранилищ предусматривались земельно-хозяйственное устройство колхозов, совхозов и других землепользователей и восстановление производства сельскохозяйственной продукции.

Мероприятия, связанные с переселением населения при создании водохранилищ, осуществлялись планомерно за счет средств, выделяемых на строительство гидроузла, и других ассигнований с обязательным обеспечением переселяемого населения работой. Все затрагиваемые жилые и подсобные строения большей частью заново строились в новых благоустроенных населенных пунктах; для части переселенцев, особенно в городах, возводились многоквартирные дома; при этом жилплощадь предоставлялась исходя из действовавших норм.

За весь период гидроэнергостроительства по данным Минтопэнерго в России из зон водохранилищ переселено 832 тыс. чел., в том числе при создании Волжско-Камского каскада ГЭС – 666 тыс. чел. Для переселенных людей осуществлено строительство благоустроенных населенных пунктов, оснащенных необходимыми коммуникациями и социально-культурными учреждениями. Провозглашено, что переселяемым компенсирован материальный ущерб. Однако принимаемые ранее меры и нормативные объемы компенсации за переселение оказывались в большинстве случаев неадекватными действительному материальному и моральному ущербу, причиняемому во время переселения.

Численность переселяемого населения в большой мере зависит от размеров затопляемых площадей. Поэтому с уменьшением зон затопления снижается и численность переселения. В 1950-е годы в среднем на 1 млн кВт·ч дополнительного произ-

водства электроэнергии переселялось 11 человек. При строительстве объектов в 1970–1980-е гг. и строящихся в настоящее время этот показатель снизился до одного человека. Однако по-прежнему пристального внимания заслуживают социально-этнические проблемы, возникающие при создании гидроузлов в районах, населенных малыми народами. Крупные искусственные водоемы нередко приводят к нарушениям их образа жизни и традиционных отраслей хозяйства.

Имеющиеся минусы гидроузлов послужили основанием для их критики со стороны, главным образом, представителей «зеленого движения», принимавшей нередко ожесточенный характер вплоть до призывов спустить крупные равнинные водохранилища. При этом наряду с действительными недостатками им приписывались несуществующие. В основном критика водохранилищ сводится к тому, что они 1) занимают ценные в сельскохозяйственном отношении земли; 2) замедляют водообмен, служат своеобразными «тромбами» в русле реки и ухудшают качество водных ресурсов; 3) приводят к экологическим бедствиям и ухудшению условий жизни населения.

По существу этих критических замечаний крупнейшим специалистом по водохранилищам А. Б. Авакяном (1999) были выдвинуты следующие контрдоводы.

Общая площадь земель, использовавшихся в сельском хозяйстве России, уменьшилась в связи с созданием водохранилищ примерно на 1,6 млн га, что составило лишь 0,09% территории страны. Водоохранилищами затоплено 0,7% площади всех сельскохозяйственных угодий, в том числе около 0,3% пашни. Конечно, размеры относительного изъятия земель в масштабе отдельных регионов, например, Поволжья, намного выше, но не настолько, чтобы считать их сколько-нибудь существенной причиной имевших место кризисных явлений в сельском хозяйстве. Больше того, не будь водохранилищ, невозможно было бы осуществить оросительные мелиорации, столь необходимые для засушливых районов, или вести производительное сельское хозяйство в условиях частой повторяемости летних наводнений. Так, водохранилища комплексного и ирригационного назначения позволили вовлечь в сельскохозяйственный оборот почти в

три раза больше земель, чем вся площадь сельскохозяйственных угодий, затопленных всеми водохранилищами бывшего СССР.

По мнению К. К. Эдельштейна (1998), в корне ошибочно представление, что замедление водообмена и создание водохранилищ ухудшают качество воды. Характерна ситуация с реками, сток которых естественно зарегулирован озерами. В их числе Нева, качество воды которой, как Ладожского и Онежского озер, многие столетия, до промышленного и сельскохозяйственного освоения водосбора, было на очень высоком уровне. В еще большей мере это относится к Ангаре и оз. Байкал. Главная причина неудовлетворительного во многих случаях состояния воды в водохранилищах и протекающих через них реках – поступление огромных количеств загрязняющих веществ со сточными водами, со стоком с сельскохозяйственных и урбанизированных земель, а также попадающих на акваторию непосредственно из атмосферы. Наоборот, водохранилища дают возможность осуществить более полное разбавление загрязнений, особенно в межень, и даже во многих случаях интенсифицируют процесс самоочищения. Не будь Волжско-Камского каскада водохранилищ с огромным объемом законсервированной воды, Волга и Кама в летнюю и зимнюю межень превратились бы в сточные канавы, а огромное количество нечистот, захороненных в донных отложениях водохранилищ, попали бы в Каспийское море и нанесли непоправимый ущерб уникальной экосистеме этого водоема. Несомненен вклад водохранилищ в снижение мутности воды.

В отношении влияния на окружающую среду в целом и социальные условия жизни населения следует подчеркнуть, что ни о каком однозначном отрицательном результате создания водохранилищ говорить не приходится. Определенные нежелательные последствия неизбежны, но они могут быть существенно снижены природоохранными мероприятиями.

Наверное, в наше время в связи с высокой стоимостью земельных ресурсов строительство Волжско-Камского каскада в существующем виде, как и многих других равнинных водохранилищ, было бы признано нецелесообразным. Но столь же нецелесообразно и спускать большинство существующих водохранилищ.

Анализ водохранилищ Волжско-Камского каскада, выполненный А. Б. Авакяном, показал, что при неясных положительных аспектах их спуска неизбежны крупнейшие отрицательные последствия, среди которых:

- Изъятие из Единой энергетической системы 11,4 млн кВт установленной мощности ГЭС и около 40 млрд кВт·ч ежегодной выработки, причем в значительной мере наиболее ценной пиковой электроэнергии. Компенсация потерь этой энергии на тепловых и атомных станциях будет связана с огромными капиталовложениями и экологическими издержками.
- Будет нарушен весь грузооборот Единой глубоководной системы европейской части страны, так как современные суда не смогут проходить по Волге в меженный период. Потребуются огромные затраты на компенсацию потерь с помощью железнодорожного транспорта.
- Спуск водохранилищ потребует полного переустройства водоснабжения многих городов и сельских населенных пунктов.
- Потребуются переустройство и перебазирование всей инфраструктуры отдыха на воде.
- Резко возрастет угроза затопления и подтопления территорий в результате прохождения высоких половодий и паводков, от которых они сейчас защищены гидротехническими сооружениями.
- Захороненные в настоящее время в донных отложениях загрязняющие ингредиенты придут в движение и будут отравлять как Волгу и Каму, так и Северный Каспий.
- Для вовлечения в сельскохозяйственный оборот освобожденных от воды земель, многие из которых занесены илом и песком с большим содержанием загрязняющих ингредиентов, потребуются огромные дополнительные затраты.

Можно добавить и то, что сложившиеся сейчас в системе водохранилищ природно-хозяйственные комплексы будут разрушены с еще многими отрицательными последствиями.

Сказанное отнюдь не означает, что всякая критика того или иного гидротехнического строительства всегда беспочвенна. В

ряде случаев экономические и экологические издержки могут оказаться настолько существенными, что целесообразно отказаться от этого строительства, изменить нормальный подпорный горизонт (НПГ) уже созданных водохранилищ или даже осушить какое-либо из них.

В целом можно говорить о высокой ценности большинства созданных гидроузлов и целесообразности рассмотрения не перспектив их разрушения, а возможностей дальнейшего повышения эффективности работы, в том числе на основе акваториального районирования, планировки и обустройства водного зеркала, то есть более рационального и бережного использования регулируемых водных ресурсов.

Но ясно и другое. Новое крупное гидротехническое строительство и создание больших водохранилищ в равнинных условиях нецелесообразно. Гораздо меньше дискуссий в отношении влияния на окружающую среду возникает в отношении малых ГЭС, которые одно время интенсивно строились, но затем интерес к ним, к малой энергетике, резко ослаб.

10.7. Малая гидроэнергетика

Энергетический потенциал малой гидроэнергетики в России превышает потенциал таких возобновляемых источников энергии, как ветер, солнце и биомасса вместе взятых. Использование ГЭС таких мощностей – для России вовсе не новое, а хорошо забытое старое: до 1960-х годов в России работало несколько тысяч малых ГЭС. Сегодня их количество едва достигает нескольких сотен. Между тем постоянный рост цен на органическое топливо приводит к значительному удорожанию электрической энергии, доля которой в себестоимости производимой продукции достигает 20 и более процентов. На этом фоне малая гидроэнергетика обретает новую жизнь.

Как и любой другой способ производства энергии, применение малых и мини-ГЭС имеет как преимущества, так и недостатки. Л. К. Малик (2012) так оценивала их. Одним из главных преимуществ малых гидроэлектростанций (МГЭС) называется общественное отношение к подобным проектам. Такие станции наносят с экологических позиций гораздо меньше вреда,

чем большие ГЭС, поскольку не требуют организации больших водохранилищ с соответствующим затоплением территории и крупным материальным ущербом. Среди других преимуществ выделяются также благоприятное влияние МГЭС на региональное развитие и стимулирование бизнеса за счет рынка малой гидроэнергетики. Малая гидроэнергетика является прекрасной альтернативой централизованному энергоснабжению для удаленных и труднодоступных районов и районов с ограниченной передаточной мощностью ЛЭП.

Среди экономических, экологических и социальных преимуществ объектов малой гидроэнергетики называются следующие. Их создание повышает энергетическую безопасность региона, обеспечивает независимость от поставщиков топлива, находящихся в других регионах, экономит дефицитное органическое топливо. Сооружение подобного энергетического объекта не требует крупных капиталовложений, большого количества энергоемких строительных материалов и значительных трудозатрат, относительно быстро окупается. Кроме того, есть возможности для снижения себестоимости возведения за счет унификации и сертификации оборудования.

Так, при строительстве малой ГЭС установленной мощностью около 500 кВт стоимость строительно-монтажных работ составляла на начало XXI века порядка 14,5–15,0 млн рублей. При совмещенном графике разработки проектной документации, изготовления оборудования, строительства и монтажа малая ГЭС вводится в эксплуатацию за 15–18 месяцев. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на подобной ГЭС, составляла не более 0,45–0,5 рублей за 1 кВт·ч, что в 1,5 раза ниже, чем стоимость электроэнергии, фактически реализуемой энергосистемой.

В процессе выработки электроэнергии ГЭС не производит парниковых газов и не загрязняет окружающую среду продуктами горения и токсичными отходами, что соответствует требованиям Киотского протокола. Подобные объекты не являются причиной наведенной сейсмичности и сравнительно безопасны при естественном возникновении землетрясений. Они не оказывают отрицательного воздействия на образ жизни населения, на животный мир и местные микроклиматические условия. При

эксплуатации МГЭС качество воды полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнце, ветер, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить относительно устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю.

Искусственные водоемы, создаваемые при ГЭС, хотя и малы, позволяют более гарантированно обеспечивать местные потребности в воде, разводить рыбу, водоплавающую птицу, обеспечивать отдых на воде, разнообразить ландшафт.

Возможные проблемы, связанные с созданием и использованием объектов малой гидроэнергетики, менее выражены, но о них также следует сказать.

Как любой локализованный источник энергии, в случае изолированного применения объект малой гидроэнергетики уязвим с точки зрения выхода из строя, в результате чего потребители остаются без энергоснабжения. Решением проблемы является создание совместных или резервных генерирующих мощностей – ветроагрегата, когенерирующей мини-котельной на биотопливе, фотоэлектрической установки и т. д.

Наиболее распространенный вид аварий на объектах малой гидроэнергетики – разрушение плотины и гидроагрегатов в результате перелива через гребень плотины при очень быстром подъеме уровня воды и несрабатывании запорных устройств.

Существует определенная сезонность в выработке электроэнергии (заметные спады в зимний и летний период, особенно в маловодные годы), поэтому в некоторых регионах малая гидроэнергетика рассматривается как резервная (дублирующая) генерирующая мощность.

Среди факторов, тормозящих развитие малой гидроэнергетики в России, большинство экспертов называют: неполную информированность потенциальных пользователей о преимуществах применения небольших гидроэнергетических объектов; недостаточную изученность гидрологического режима и объемов стока малых водотоков; низкое качество действующих методик, рекомендаций и Строительных норм и правил (СНиПов), что является причиной серьезных ошибок в расчетах; неразра-

ботанность методик оценки и прогнозирования возможного воздействия на окружающую среду и хозяйственную деятельность; слабую производственную и ремонтную базу предприятий, производящих гидроэнергетическое оборудование для МГЭС, а массовое строительство объектов малой гидроэнергетики возможно лишь в случае серийного производства оборудования.

Общепринятого для всех стран понятия малой гидроэлектростанции нет, в качестве основной характеристики таких ГЭС принята их установленная мощность. В России максимальная мощность одного агрегата на МГЭС принята равной 10 МВт, а общая мощность – не более 30 МВт. Среди малых ГЭС условно выделяют микроГЭС, установленная мощность которых не превышает 0,1 МВт.

Интересно, что в Дании на малых ГЭС производится 100% выработки гидроэнергии. В зарубежной Европе на начало столетия больше всего вырабатывалось энергии на малых ГЭС в Италии (свыше 8320 ГВт·ч), Франции (7500), Германии (6500).

В дореволюционной России в 1913 г. было 78 малых ГЭС. Пик их строительства пришелся на 1940–1950-е гг. По разным оценкам, к 1955 г. на территории европейской части России насчитывалось от 4000 до 5000 МГЭС. Однако после этого в связи с переходом к строительству гигантских энергетических объектов и присоединением сельских потребителей к централизованному электроснабжению это направление энергетики, по существу, утратило государственную поддержку, что привело практически к полному разрушению и упадку созданной прежде инфраструктуры. Прекратилось проектирование, строительство, изготовление оборудования и запасных частей для малой гидроэнергетики. В настоящее время в России, по разным оценкам, действует от 60–70 до 200–300 МГЭС с выработкой около 200 млн кВт·ч.

Россия, обладая громадным потенциалом малой гидроэнергетики, в настоящее время в силу указанных выше причин значительно отстает от многих других стран в использовании этого ресурса.

Конечно, малые ГЭС и малые водохранилища в целом не могут служить полной альтернативой крупным ГЭС и водохранилищ, но снизить общую антропогенную, энергетическую и эко-

логическую нагрузку, особенно в равнинных регионах, они в состоянии и заслуживают гораздо большего, чем сейчас, внимания.

10.8. Каналы и территориальное перераспределение речного стока

Соединение отдельных водных систем каналами с судоходными целями, а также переброска воды из районов более водообеспеченных в менее обеспеченные с помощью каналов, трубопроводов имеет не меньшую историю, чем гидротехническое преобразование водного режима рек. Нередко перераспределение стока во времени и по территории решалось одновременно. Каналы и водоводы строились в Древнем Египте, в Месопотамии, Китае, Индии.

Масштабы ирригационного строительства в древнем Китае поражают воображение даже при современном развитии строительной техники. Так, около 250 г. до н. э. в Китае, в пустынной территории Сычуаня, водами реки Миньцзян было орошено 50 тыс. км² земель. Монголы, завоевав Китай, не только не разрушили, но и поддержали гидротехническое строительство. Так, при хане Хубилае была осуществлена вековая мечта китайцев о соединении каналом бассейнов рек Хуанхэ и Янцзы. Канал между Пекином и Ханьчжоу имел длину более 1000 км и был построен в 1289–1293 гг. Очевидцем, описавшим завершающую часть строительства, был знаменитый путешественник Марко Поло. На стройке работало более 20 тыс. рабочих.

В дальнейшем создание каналов и водоводов охватило практически все страны мира. Отметим такое достижение французской инженерной техники в XVII и XVIII вв., как строительство больших многоступенчатых каналов со шлюзами для обеспечения судоходства на реках. Самый крупный гидротехнический комплекс средневековой Франции – канал Двух Морей, который соединил средиземноморский город Сет с Тулузой, где сомкнулся с Гароннским каналом, ведущим к Бискайскому заливу. Стратегическая значимость строительства была очевидна, и король Франциск I еще в 1516 г. привез во Францию Леонардо да Винчи, которому и поручил исследование предстоящих работ по проектированию канала. Этот канал длиной более 200 км был построен спустя 150 лет.

В настоящее время ряд равнинных районов мира буквально покрыт сетью судоходных каналов. Самый длинный искусственный водный путь – Береговой (или Внутренний береговой) канал – построен в США вдоль побережья Мексиканского залива и Атлантического океана для прохождения речных, а местами и морских, судов. Его общая протяженность – около 4 тыс. км. Второе место в мире по протяженности занимает Великий канал в Китае, связывающий Пекин с Восточно-Китайским морем. Его длина 1782 км. Это одно из древнейших гидрологических сооружений. Его строительство велось с VI в. до н. э. до XIII в. Он неоднократно реконструировался.

Среди самых знаменитых из судоходных каналов – Суэцкий и Панамский. В России один из самых известных каналов – канал имени Москвы, обеспечивающий как судоходство, так и переброску воды.

Суэцкий канал – судоходный морской канал на северо-востоке Арабской Республики Египет. Он соединяет Средиземное и Красное моря. Суэцкий канал – кратчайший водный путь между портами Атлантического и Индийского океанов. Это одна из самых оживленных судоходных артерий в мире. Он являет собой потрясающее зрелище гигантских кораблей, скользящих по пустыне, поскольку вода в нем стоит вровень с уровнем берега. Кораблям различных государств намного выгоднее проплыть 161 км по Суэцкому каналу, чем делать большой крюк вокруг Африки, чтобы попасть из Атлантики в Индийский океан. Зона Суэцкого канала считается условной границей между двумя континентами: Азией и Африкой. Главные входные порты: Порт-Саид из Средиземного моря и Суэц из Красного моря. Суэцкий канал проходит по Суэцкому перешейку в его наиболее пониженной и узкой части, пересекая ряд озер и лагуну Мензала. Канал был открыт для судоходства 17 ноября 1869 г. Этот путь обслуживает сегодня 15% всех мировых торговых перевозок и свыше 20% перевозок нефти. Эксплуатация канала является одним из основных источников валютных поступлений в египетскую казну. По оценкам ряда экспертов, канал дает стране больше средств, чем добыча нефти, и гораздо больше, чем стремительно развивающаяся инфраструктура туризма.

Мысль о том, чтобы прорыть канал через Суэцкий перешеек, возникла еще в глубокой древности. Античные историки сообщают о том, что канал, соединяющий правый рукав Нила с Красным морем, пытались соорудить еще фиванские фараоны эпохи Среднего царства. Первое достоверное историческое свидетельство соединения Средиземного и Красного морей каналом относится к временам правления фараона Нехо II (конец VII – начало VI века до н. э.). Расширение и усовершенствование канала производилось по распоряжению персидского царя Дария I, завоевавшего Египет, а впоследствии – Птолемея Филадельфа (первая половина III века до н. э.). По завершении эпохи фараонов в Египте канал пришел в состояние упадка. В римскую эпоху Император Траян (98–117 гг.) углубил канал и увеличил его судоходность. Он был известен под названием «река Траяна». Но затем вновь был заброшен.

После завоевания Египта арабами канал в 642 году был вновь восстановлен, но в 776 г. его засыпали, чтобы направить торговлю через основные районы халифата. Планы восстановления канала разрабатывались и позднее (но не были осуществлены): в 1569 г. по приказу визиря Османской империи Мехмеда Соколлу и французами во время египетской экспедиции Бонапарта в 1798–1801 гг., когда идею сооружения канала сочли нереализуемой, основываясь на ошибочных выводах инженера Лепера о том, что уровень Красного моря выше уровня Средиземного моря на 10 м и это обстоятельство не позволяет построить канал без шлюзов.

Идея строительства Суэцкого канала возникла вновь во второй половине XIX века. Мир в этот период переживал эпоху колониального раздела. Северная Африка, самая близкая к Европе часть континента, привлекала внимание ведущих колониальных держав – Франции, Великобритании, Германии, Италии и Испании. Египет был предметом соперничества Великобритании и Франции. Главным противником строительства канала стала Британия. В тот период она обладала самым мощным флотом в мире и контролировала морской путь в Индию через мыс Доброй Надежды. А в случае открытия канала через него могли бы отправлять свои малотоннажные суда Франция, Испания, Голландия,

дия и Германия, которые составили бы серьезную конкуренцию Англии в морской торговле.

Философы и ученые Франции, последователи Сен-Симона, стали страстными пропагандистами этого проекта, способного, по их мнению, объединить человечество в единую семью народов, избавив людей от войн. Канал должен был начинаться севернее Суэца и потом по прямой линии, пересекая озеро Тимсах и Горькие озера, двигаться к Средиземному морю. Высадившись в 1833 г. в Египте, чтобы начать строительство канала, они столкнулись с противодействием со стороны Мухаммеда Али, который не считал строительство канала первоочередной задачей. Сенсимонистам не удалось убедить правителя, зато они сумели оказать сильное влияние на вице-консула Франции в Александрии Фердинанда де Лессепса. Сенсимонисты вернулись во Францию, а Лессепс задержался в Египте, где до 1838 г. служил консулом в Каире. Он пользовался поддержкой Мухаммеда Сайда, одного из членов королевского семейства. В 1854 г. Сайд стал правителем Египта (Египет в то время был частью Османской империи). Лессепс, к тому времени находившийся уже во Франции, решил без промедления ехать к нему. Он убедил Сайда в пользу проекта и 30 ноября 1854 г. получил концессию (не утвержденную турецким султаном) на строительство Суэцкого канала.

Авторами проекта Суэцкого канала были итальянский (Луиджи Негрелли) и французские (Линан и Мужель) инженеры. На основе точных замеров глубин обоих морей они пришли к выводу, что Лепер ошибался. Уровень воды в обоих морях одинаков.

Строительством канала руководила созданная Лессепсом Всеобщая компания Суэцкого морского канала, которая юридически считалась египетским предприятием. Египетское правительство приобрело 44% всех акций (из 96517 акций Мухаммед Сайд купил 64000 акций). 53% были размещены во Франции, 3% в других странах. Россия через частных лиц скупила 24 тысячи акций, занимая третье место (после Франции и Австрии) по участию в прибылях от судоходства по каналу. По условиям концессии акционерам причиталось 75% прибыли, Египту – 15%, основателям компании – 10%.

Компания начала финансирование строительства канала. Лишь британцы, которые как раз больше всех выигрывали от скорейшего пути в Индию, не купили ни одной акции, хотя канал сокращал расстояние между Лондоном и Бомбеем на 7343 км. Британское правительство сделало все, чтобы воспрепятствовать этому проекту. Оно осуждало его как физически невыполнимый, слишком дорогой и нерентабельный, полагая, что воду сразу впитают в себя раскаленные пески пустыни. Потом это мнение сменилось на то, что канал превратится в зловонную лужу. Между тем англичане быстро укладывали рельсы железнодорожной магистрали как раз неподалеку от будущего канала.

Англичане дотянули рельсы от Каира до Суэца в 1859 г. А в пасхальный день 25 апреля этого же года Лессепс взмахнул мотыгой на том самом месте, где сейчас шумит Порт-Саид, и строительство началось. Работы продолжались десять лет (1859–1869 гг.) и проводились египетскими феллахами, которые набирались в принудительном порядке. Дневная норма каждого – два кубометра земли, которую в рогожных мешках или корзинах вытаскивали из русла будущего канала. Единственное, что дала рабочим передовая наука Европы, так это первый вариант экскаватора, на который сами европейцы глазели, как на чудо. На Средиземном море, где начинался канал, в буквальном смысле слова из ничего возник Порт-Саид. Он построен на молу, защищающем канал от ила. Длина мола – 7 км (это самый длинный мол в мире).

Технические трудности были громадны. Приходилось работать под палящим солнцем, в песчаной пустыне, совершенно лишенной пресной воды. Первое время компания использовала более 1,5 тыс. верблюдов только для доставки воды рабочим, пока в 1863 г. не был сооружен специальный пресноводный канал из Нила, шедший приблизительно в том же направлении, что и древние каналы (остатками которых кое-где удалось воспользоваться) и предназначенный исключительно для доставки пресной воды рабочим, а потом и поселениям по всему маршруту канала. Этот пресноводный канал идет от Заказика при Ниле на восток к Исмаилии, а оттуда на юго-восток, вдоль морского канала, к Суэцу; ширина канала – 17 м на поверхности, 8 – по

дну; глубина его в среднем – только 2,25 м, местами даже значительно меньше. Его открытие облегчило работы, но все-таки смертность среди рабочих была велика. Рабочих предоставляло египетское правительство, но приходилось использовать также европейских рабочих (всего на строительстве трудились от 20 до 40 тысяч человек).

Открытие Суэцкого канала состоялось 17 ноября 1869 г. в Исмании и имело международное значение. Канал стал символом намерений Египта занять достойное место в мире, символом современной страны, находящейся на границе между Востоком и Западом. Исмаил-паша, ставший правителем Египта после смерти Мухаммеда Сайда, пригласил на празднование события, изменившего карту мира, многих коронованных особ цивилизованного мира, артистов и ученых. В числе гостей были французская императрица Евгения, австрийский император Франц-Иосиф, голландские принц и принцесса, прусский принц, писатели Эмиль Золя, Теофиль Готье, Генрик Ибсен. Россия тоже не осталась безучастна к этому важному событию. На торжествах присутствовали граф Николай Игнатьев, посол в Турции, писатель Владимир Соллогуб, художник Айвазовский и другие известные наши соотечественники. Для 6 тыс. гостей были приглашены 500 поваров и 1000 лакеев. 48 украшенных флагами кораблей прибыли в Порт-Саид, а потом эта мощная флотилия двинулась через канал.

Множество людей из разных стран толпились на берегу озера Тимсах. Первым показался французский пароход «Орел», на палубе которого стояла императрица Евгения, окруженная блестящей свитой. Затем на рейд вошли пароход «Грейф» с австрийским императором, пароход «Грилле» с прусским наследным принцем и паровой клипер «Яхонт» с русским послом в Константинополе генералом Игнатовым. При входе в гавань каждое судно встречалось салютом и само отвечало на него.

В ознаменование открытия Суэцкого канала вице-султан Египта приказал построить множество дворцов, в том числе «Мариотт» (Marriott) в Каире, дорогу к пирамидам и Каирскую оперу. Празднование длилось семь дней и ночей и обошлось хедиву Исмаилу в 28 млн золотых франков. И только один пункт программы торжества не был выполнен: известный итальян-

ский композитор Джузеппе Верди не успел закончить заказанную по этому случаю оперу «Аида», премьеры которой должна была обогатить церемонию открытия канала. Вместо премьеры в Порт-Саиде был устроен большой праздничный бал, на котором исполняли другую оперу того же Верди, а премьеры «Аиды» в Каире состоялась двумя годами позже.

Современный символ США Статую Свободы первоначально планировалось установить в Порт-Саиде под названием «Свет Азии» (The Light Of Asia), но тогдашнее правительство страны решило, что перевозка конструкции из Франции и установка являются для государства слишком дорогостоящими.

Огромные расходы на строительство канала осложнили экономическое положение Египта. Пользуясь этим, британское правительство в 1875 г. купило у Исмаила-паши египетскую долю акций Суэцкого канала. В 1880 г. египетское правительство оказалось вынужденным продать и свое право на 15% прибыли от Суэцкого канала. Египет был отстранен от управления каналом и участия в прибылях. После оккупации в 1882 г. Египта английскими войсками канал стал главной британской военной базой на Ближнем Востоке. В 1888 г. в Стамбуле была заключена международная конвенция об обеспечении свободы плавания по Суэцкому каналу, являющаяся и сейчас основным документом, регулирующим судоходство по каналу.

Концессия, выданная Лессепсу, была не вечной (на 99 лет, после чего он переходил в собственность египетского правительства), она должна была истечь в 1968 г. Но за 12 лет до окончания срока, 26 июля 1956 г., президент Насер, который стремился найти деньги на строительство высотной плотины в Асуане, принял решение о национализации Суэцкого канала.

Национализация канала послужила поводом для англо-франко-израильской агрессии против Египта в конце октября 1956 г. Суэцкому каналу были нанесены значительные повреждения, движение по нему было прервано и возобновилось только 24 апреля 1957 г., после завершения работ по очистке канала. В результате арабо-израильской «шестидневной войны» 1967 г. судоходство по Суэцкому каналу вновь было прервано, так как зона канала фактически превратилась в линию фронта, разделяющую

египетские и израильские войска, а в ходе октябрьской войны 1973 г. – в район активных военных действий. Ежегодный ущерб от бездействия Суэцкого канала исчислялся в 4-5 млрд долл.

Нынешний Суэцкий канал – совсем не тот, что был при строительстве в XIX веке. Его общая длина – 172 км, в том числе собственно канал – 161 км, а искусственно углубленные подходы фарватеры со стороны Средиземного и Красного морей – соответственно 9 и 3 км. Русло канала несколько раз расширяли и углубляли. Его ширина по зеркалу воды – 120–318 м, по дну – 4560 м. Глубина по фарватеру – до 20 м. Через канал могут проходить суда водоизмещением до 370 тыс. т. Среднее время прохождения корабля через канал составляет 15 часов. Чтобы провести корабль через канал, требуется большой опыт капитана и лоцманов, так как это считается у моряков пилотажем высшего класса. Канал имеет один фарватер и несколько участков для расхождения кораблей – через каждые 10 км вырыта запасная бухта. В 1990-х гг. под каналом в районе города Суэц построен туннель.

По существующим правилам Суэц могут проходить суда всех стран, не находящихся в состоянии войны с Египтом. Географическое положение канала в центре международных морских коммуникаций, связывающих нефтедобывающий район Ближнего и Среднего Востока с Западной Европой, обеспечивающих ее связи с Азией, Австралией и Восточной Африкой, обусловило высокую степень его загруженности. В 1870 г. через него прошло 486 судов (общим тоннажем 0,4 млн т), в 1913 – 5,1 тыс. судов (20 млн т), в 1966 – 21,25 тыс. судов (274,3 млн т).

В 2015 г. была открыта новая ветка канала длиной 72 км, которая позволяет увеличить пропускную способность канала до 97 судов в день за счет возможности их одновременного прохода во встречных направлениях по старому и новому руслу. В настоящее время канал обеспечивает логистическими услугами 8–10% мирового грузооборота военно-морских нужд. По данным Администрации Суэцкого канала, доходы от его эксплуатации в 2021 г. достигли \$6,3 млрд, побив рекорд за всю историю канала. Рекордной отметки достиг и годовой чистый тоннаж, который превысил 1,27 млрд т. В обоих направлениях

по каналу прошли 20694 судна. По прогнозам, к 2023 г. выручка от эксплуатации всего комплекса Суэцкого канала может превысить \$15 млрд в год.

Панамский канал пересекает Панамский перешеек и соединяет Атлантический и Тихий океаны. Его строительство стало одним из крупнейших и сложнейших строительных проектов, осуществленных человечеством. Панамский канал оказал неопределимое влияние на развитие судоходства и экономики в целом в Западном полушарии и на всей Земле, что обусловило его чрезвычайно высокое геополитическое значение. Благодаря Панамскому каналу морской путь из Нью-Йорка в Сан-Франциско сократился с 22,5 тыс. км до 9,5 тыс. км.

Его длина от глубокой до глубокой воды – 81,6 км, минимальная ширина – 150 м, гарантийная глубина – 12 м, размер камер парных шлюзов – 305 на 33,5 м. Водораздельный участок канала длиной 51 км лежит на высоте 25,9 м над уровнем моря. Входя со стороны Атлантического океана, суда поднимаются через три ступени шлюзов в искусственное озеро Гатун, которое образовано плотиной Гатун через реку Чагрес и лежит на высоте 25,9 м над уровнем моря. В 1935 г. объем водохранилища был увеличен за счет строительства плотины Мадден в верхнем течении Чагреса, что привело к появлению озера Мадден. Из озера Гатун суда проходят 12-километровую Кулебрскую выемку, через шлюзы Педро-Мигель спускаются в озеро Мирафлорес (16 м над уровнем моря), минуя двухступенчатые шлюзы Мирафлорес и выходят в Панамский залив. У атлантического входа в канал расположены порты Кристобаль и Колон, у тихоокеанского – Бальбоа и Панама. Двустороннее движение невозможно только для крупнотоннажных судов на участке Кулебрской выемки. Канал пропускает через себя суда самых разных типов – от частных яхт до огромных танкеров и контейнеровозов. Максимальный размер судна, которое может пройти по Панамскому каналу, стал фактически стандартом в судостроении, получив название Panamax.

Проводка судов через Панамский канал осуществляется лоцманской службой Панамского канала. Среднее время прохода судна по каналу – девять часов, минимальное – четыре часа десять минут. Максимальная пропускная способность – 48 судов

в сутки. Ежегодно через сооружения канала проходят около 17,5 тыс. судов, несущих более 203 млн т груза.

Идея прокопать в этом месте канал возникла еще в 1550 г. у португальского путешественника Антонио Гальвао и после него не выходила из головы многих предпринимателей-энтузиастов, что и не удивительно: плавание вокруг южной оконечности Америки, мыса Горн, было не только долгим, но и опасным. Выгодность мероприятия очевидна. Сложность состояла в том, что принадлежал Панамский перешеек Колумбии, а колумбийское правительство категорически не хотело пускать в свою страну североамериканцев и европейцев.

Идея витала в воздухе, пока ею не заинтересовался граф Фердинан Мари де Лессепс. Он был главным организатором финансирования только что построенного Суэцкого канала. Это был блестяще осуществленный бизнес-проект: благодаря облигациям и акциям созданной де Лессепсом компании поток инвестиций не оскудевал, и всего через пять лет после открытия канала грандиозное и по нынешним меркам предприятие вышло на уровень рентабельности. Египетский успех вскружил голову де Лессепсу, и он решил действовать по той же схеме.

В 1878 г. Лессепс созвал в Париже международный географический конгресс, на котором были разобраны различные проекты строительства Панамского канала. Одни ученые стояли за создание подземного туннеля. Другие считали, что надо построить железную дорогу и перевозить корабли посуху из океана в океан. Рассматривался и единственно разумный план – строить канал с несколькими шлюзами, но он был отвергнут в пользу проекта самого де Лессепса: прямой канал на уровне моря, точно такой же, что был построен в Суэце. Лессепс заявил, что строительство продолжится 12 лет и потребует 600 млн золотых франков. После этого в 1879 г. была учреждена «Международная компания по строительству межконтинентального Панамского канала». Специально созданный банковский консорциум провел публичное размещение 600 тысяч акций. Потенциальным акционерам расписывались фантастические перспективы, рекламная компания была одной из самых мощных и агрессивных компаний того времени. Сотни тысяч людей вложили в акции, которые были

раскуплены моментально желающими приобрести долю в проекте, не только свободные средства, но и последние сбережения. Акционерной компании не удалось собрать все необходимые для строительства средства, зато она получила у правительства Соединенных Штатов Колумбии концессию на строительство канала на Панамском перешейке. Семидесятилетний Лессепс сам выступал в СМИ и лоббировал проект.

Лессепс решил, как ранее в Суэце, рыть прямой канал на уровне моря. Однако то, что подходило для ровной, как гладильная доска, африканской пустыни, оказалось непригодным для болотистых джунглей, непроходимых болот и скального грунта Панамского перешейка. Работы начались в 1882 г. Строители канала прошли шесть больших геологических разломов и пять центров вулканической активности. Джунгли Центральной Америки были мало похожи на идиллические пустыни Ближнего Востока. Малярия и желтая лихорадка косили рабочих, реки разливались, снося постройки и механизмы, во влажном климате машины выходили из строя, в горном массиве Кулебра приходилось пробивать траншею глубиной 55 и шириной 90 метров. Но силы природы меркли в сравнении с главным: с фантастическим, невероятным воровством людей, стоявших у финансовых рычагов этой эпопеи.

Строительство продвигалось медленно, копать было трудно. А главное, катастрофически не хватало денег. И тогда на полную катушку был запущен финансовый и организационный механизм, получивший впоследствии имя «панамы». Широко рекламируемые акции «Всеобщей компании» приобрели около 800 000 человек. Значительная часть собранных средств шла на подкуп чиновников и редакторов газет. А часть денег просто осела в карманах аферистов, более других прославился американец Корнелиус Херц, известный своими связями с будущим французским премьером Жоржем Клемансо.

В 1886 г. в прессу просочилась информация, что прорыто всего лишь менее одной трети канала, а общая смета превышена в два с половиной раза и достигла 1,4 млрд золотых франков. Де Лессепс нашел в себе мужество признать свое фиаско и обратился за помощью к профессионалу – инженеру Гюставу Эйфелю.

Автор знаменитой парижской башни быстро набросал альтернативный и единственно осуществимый проект: канал со шлюзами. По расчетам, требовалось еще 1,6 млрд франков. Когда об этом прознали газетчики, акции «Всеобщей компании» спикировали к нулевой отметке. Афера кончилась тем, что 4 февраля 1889 г. Парижский трибунал вынес постановление о закрытии «Международной компании по строительству межконтинентального Панамского канала». Десятки тысяч мелких держателей акций оказались разорены.

Скандал разразился грандиозный. Это был скандал и финансовый, и политический. Он привел к политическому кризису и к падению правительства во Франции. Против 510 депутатов выдвинули обвинения в коррупции. Правительство ушло в отставку.

Шум стоял несколько лет... Трибунал признал виновными не только явных финансовых жуликов, но и Фердинанда де Лессепа, его сына Шарля и даже инженера Эйфеля. Он ведь тоже вводил людей в заблуждение. Впрочем, «сидеть» им не пришлось: грянула амнистия, и национальный герой инженер Эйфель был помилован, а отправить Лессепа за решетку оказалось совершенно невозможно: на нервной почве бедняга впал в полный маразм. Знаменитого, заслуженного старика отпустили тихо умирать.

В то время США зондировали возможность прокладки трансокеанского канала через территорию Никарагуа, и специально созданная в 1899 г. комиссия через три года пришла к выводу, что этот вариант более рационален. Французская компания опасалась потерять все капиталовложения в случае строительства канала через Никарагуа и предложила США все права и свою собственность в Панаме за 40 млн долларов. Североамериканская комиссия рекомендовала принять эти условия, и в 1902 г. конгресс одобрил проект и начал переговоры с Колумбией.

В 1903 г. между США и Колумбией был подписан договор о строительстве канала. Однако сенат Колумбии отказался ратифицировать договор. Тогда США стали оказывать поддержку панамским сепаратистам и не позволили колумбийским войскам высадиться на перешейке, чтобы подавить восстание. В результате 3 ноября 1903 г. Панама провозгласила выход из состава

Колумбии и свою независимость как отдельного государства. А уже 18 ноября 1903 г. США и правительство новообразованной республики подписали договор, согласно которому североамериканцы получали полный контроль над зоной шириной в десять миль, проходящей полосой через весь перешеек. США заплатили Панаме 10 млн. долларов и обязались выплачивать еще 250 000 долларов ежегодно. При этом Панама фактически становилась протекторатом США.

В 1905 г. назначенный президентом Рузвельтом экспертный совет рекомендовал построить безшлюзовый канал, однако конгресс принял проект шлюзового канала. Вначале работы велись под руководством гражданских инженеров, но с 1907 г. строительство взяло на себя военное министерство. В его ведении находился и врачебный контроль над санитарными условиями и лечением тропических болезней.

Были приглашены лучшие медики и биологи того времени, проведены исследования, которые выявили, что виновниками желтой лихорадки являются не ядовитые миазмы болот, как считалось ранее, а вполне реальные насекомые – москиты. Им была объявлена беспощадная война. 190 тысяч литров керосина в месяц тратилось на обработку жилья, 300 тонн серы, 1200 сосудов для выкуривания и несметное количество метел. Были приняты беспрецедентные по тем временам санитарные меры, и уже через несколько месяцев желтая смерть отступила.

Французы, начинавшие строительство, осуществили выемку 23 млн м³ земли по маршруту канала; североамериканцам оставалось вынуть еще 208 млн м³. 15 августа 1914 года по каналу прошел первый корабль – «Кристобаль». Событие прошло еле заметно, потому что в Европе уже шла Первая мировая война. Немцы разворачивали наступление на Париж... Не до канала. Официальное открытие канала состоялось только 12 июля 1920 г. По правительственным источникам, сооружение канала обошлось в 380 млн долл.

Страсти вокруг строительства Панамского канала кипели полвека, а прорыли канал за 11 лет, одновременно «закопав» не только сотни миллионов долларов, но и один государственный суверенитет, сотни политических карьер, десятки тысяч сбере-

жений и человеческих жизней. Не говоря уже о подмоченных репутациях – государственных, научных и деловых, превративших слово «панамы» в имя нарицательное. Человечество приобрело печальный опыт: всякий технический «проект века» чреват «аферами века» и политическими «авантюрами века».

Весь XX век он принадлежал США. Канал передали Панаме только 31 декабря 1999 года.

Специалисты называли Панамский канал самым успешным федеральным предприятием США: он пропускал до одной восьмой американского торгового флота, и большинство проходивших по каналу грузов (в начале XX века – 90%, а к концу его – 60%) следовало из американских портов либо направлялось в них.

Тем не менее, вопреки расхожему заблуждению, Панамский канал никогда не был для США суперрентабельным предприятием: расходы на его эксплуатацию и пополнение панамской казны были немалыми. Другое дело, что с самого начала американцы делали ставку не только на экономику, но и на геополитику. Достаточно сказать, что в зоне канала до конца 1990-х гг. располагалась крупнейшая американская военная инфраструктура за пределами США – восемь баз с 4272 зданиями, занимавшие площадь более 31000 га. И там же с 1941 г. находился штаб Южного командования ВС США, державший под прицелом весь латиноамериканский континент.

Вопреки мрачным прогнозам, панамцы в целом неплохо справляются с эксплуатацией канала. Проблема, однако, в том, что, по мнению экспертов, канал в его нынешнем состоянии не сможет успешно функционировать в XXI веке. Строительство более крупных, «постпанамских» судов идет быстрыми темпами. Узкий канал перегружен, и кораблям приходится долгие сутки проводить в очереди. К тому же у канала появились конкуренты. Современные транспортные компании обеспечивают доставку грузов частично по воде, частично по железной дороге или автотранспортом. Этот способ пока дороже, но быстрее, и многие высокотехнологичные товары доставляются именно так. Реконструкция канала необходима, но обойдется, по оценкам, не менее чем в \$10 млрд – это слишком большая сумма для бюджета Панамы.

23 октября 2006 г. в Панаме были подведены итоги референдума о расширении Панамского канала, которое поддержали 79% населения. Принятию этого плана способствовали китайские бизнес-структуры, управляющие каналом. Работы по расширению водного пути были начаты в 2007 г. К 2016 г. проведены дноуглубительные работы и построены новые шлюзы, каждый из которых длиной 426,7 м, шириной 54,8 м, глубиной 18,2 м, что позволяет проходить через них судам, вмещающим до 14 тыс. контейнеров, а тоннаж проводимых через него судов и танкеров увеличился втрое. После завершения реконструкции по каналу началась транспортировка американского природного сжиженного газа, которая в настоящее время обеспечивает 10% ежегодного дохода от эксплуатации канала и 38% поступлений от эксплуатации новых, расширенных шлюзов.

Канал имени Москвы является основной водной магистралью, соединяющей реку Москву и Московский регион с Волгой. Канал представляет собой комплексное гидротехническое сооружение, обеспечивающее дополнительное водоснабжение г. Москвы; санитарное обводнение реки Москвы и ее притоков; создание глубоководного транспортного соединения реки Москвы с рекой Волгой и связь московского промышленного района с единой глубоководной системой европейской части России; выработку электроэнергии для собственных нужд; обеспечение развития рекреации и всех видов отдыха на воде.

Трасса канала пересекает Клинско-Дмитровскую гряду, и поэтому вода в него полностью накачивается, поскольку уровень реки Москвы выше уровня реки Волги почти на 40 м. Волжская вода поднимается каскадом из пяти насосных станций до уровня г. Москвы, а затем ниспадает в Москву-реку. Ежегодно канал перекачивает около 2 км³ воды, из которых половина идет на водоснабжение населения и предприятий, обеспечивая более 60% всего водопотребления города Москвы, остальное количество расходуется на санитарное обводнение рек Москва и Яуза и на сброс обратно в Волгу при шлюзовании судов.

В составе канала имени Москвы более 240 различных гидротехнических сооружений, в том числе 10 плотин, 11 шлюзов, 7 ГЭС, 5 насосных станций, 8 заградительных ворот для перекрытия и осушения отдельных участков канала, 15 мостов, 2 тун-

неля под каналом, водоспуски, три главные пристани (Большая Волга, Дмитровская и Северный речной порт Москвы в Химках), а также многочисленные пристани местных линий.

Сооружения канала создают запоминающийся архитектурный ансамбль. Каждый шлюз имеет особый облик. Башни шлюзов имеют завершение в виде декоративных надстроек или скульптур. Крупнейшим сооружением канала имени Москвы является Северный (Химкинский) речной вокзал, построенный по проекту А. М. Рухлядева, В. Ф. Кринского и др.

Протяженность канала имени Москвы составляет 128 км, из них лишь на протяжении примерно 20 км он использует водохранилища, образованные в долинах рек, а на остальном протяжении это искусственно укрепленное ложе шириной 85 и глубиной 5,5 м. На протяжении 32 км канал пролегает в выемках, глубина которых достигает местами более 20 м, 68 км – в полувыемках-полунасыпях, а на протяжении 8 км он проходит высоко над окружающей местностью в мощных насыпных дамбах высотой местами до 14 м.

Основными сооружениями канала имени Москвы, как и всякого крупного гидротехнического комплекса, являются плотины. Всего на канале построено десять плотин, из них семь земляных и три бетонных, среди которых самая крупная Ивановская, земляная плотина, предназначенная для регулирования стока Волги и обеспечения канала водой. Другие плотины расположены в южной части канала: на р. Икша – у станции Икша, на р. Вязь – у с. Пестово, на р. Уча – у с. Пялово, на р. Уча – у с. Акулово, на р. Клязьма – у с. Пирогово и на р. Химка – у бывшего с. Покровского-Глебово. Необходимый постоянный уровень воды в р. Москве в течение круглого года поддерживается Карамышевской и Перервинской плотинами.

При строительстве канала было возведено семь гидроэлектростанций, суммарная мощность которых составляет 66 тыс. кВт. Каждая из станций имеет свои особенности.

Несколько подробнее об *истории строительства*. Первый проект создания искусственного водного пути, соединяющего р. Москву с Верхней Волгой, появился в 1674 г. при царе Алексее Михайловиче. Позднее в 1722 г. Петр I поручил инженеру Вилиму Генингу наметить удобное место для устройства водной коммуникации от р. Москвы или от Яузы до Рога-

чевской пристани на р. Сестре, расположенной в 40 верстах от Волги. Однако сооружение такого канала в Петровскую эпоху являлось задачей чрезвычайно сложной, поэтому постройка канала была отложена.

Попытка соединения рек Волги и Москвы была сделана в 1825 г. при Николае I. Канал намечался через р. Истру и Сенежское озеро с выходом в р. Сестру и предназначался для подвозки строительных материалов водным путем с верховьев Волги. Когда работы были наполовину выполнены, началась постройка Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги, что и решило дальнейшую судьбу канала. Строительство было прекращено, а все его сооружения и отчужденные для него земли проданы с публичных торгов. В настоящее время об этой неудачной попытке напоминают лишь Сенежское озеро и остатки полуразрушенных шлюзов и заросших каналов вблизи г. Солнечногорска.

В третий раз о канале заговорили в начале XX века. На первый план вышла проблема снабжения Москвы водой; по расчетам специалистов выходило, что в обозримом будущем москвичи выпьют всю Москву-реку. Но началась Первая мировая война, за ней последовала гражданская, и о проекте снова пришлось забыть.

Однако уже в 1931 г. московский водопровод, реконструированный после революции 1917 г., подавал в городскую сеть свыше 50% расхода р. Москвы. Остальная часть расхода реки оставалась на нужды судоходства. Дальнейшее использование водных ресурсов р. Москвы было уже невозможным. После изучения возможных вариантов водоснабжения Москвы Пленум ЦК ВКП (б) 15 июня 1931 г. принял решение о необходимости коренным образом разрешить задачу обводнения Москвы-реки путем соединения ее с верховьем Волги и поручил московским организациям совместно с Госпланом и Наркомводом немедленно приступить к составлению проекта этого сооружения с тем, чтобы уже в 1932 г. начать строительные работы по соединению Москвы-реки с Волгой.

В сентябре этого же года для проектирования и подготовки к строительству при Моссовете было создано Управление Москаналстрой. Главным инженером Управления был назначен профессор А.И. Фидман, который наряду с педагогической работой проектировал и строил крупные гидроузлы, в том числе на р. Свирь, и был известным инженером.

Первоочередной задачей проектировщиков был выбор наиболее целесообразной схемы и трассы канала. Через год перед правительственной комиссией предстали три варианта прокладки канала, отличавшиеся трассами и способами подачи воды, в том числе самотечного канала. У «самотечного» проекта, однако, нашлось немало противников. А после высказывания Г. М. Кржижановского: «Я враг любого самотека, как в технической, так и в партийной жизни», – участь самотечного проекта была решена окончательно. Летом 1932 г. Совет народных комиссаров утвердил Дмитровский проект строительства канала.

Канал Москва–Волга (в 1947 г. в ознаменование 800-летия столицы нашего государства он получил название «Канал имени Москвы») сооружался с сентября 1932 по июль 1937 г. Это была одна из ударных строек второй пятилетки. Был выполнен рекордный для того времени объем работ: перемещено 154 млн м³ грунта, уложено 2,9 млн м³ бетона и железобетона, установлены металлические конструкции общим весом около 35 тыс. т. Строительство длилось четыре года и восемь месяцев.

Для строительства канала был создан Дмитровлаг – крупнейшее лагерное объединение ОГПУ-НКВД для использования труда заключенных. Заключенные, работавшие на строительстве канала, получили звонкое название – каналармейцы.

Сроки возведения отдельных сооружений были рекордными по тому времени. Так, Ивановская намывная плотина на Волге была возведена менее чем за один год.

Ранней весной 1937 г. строительство канала было закончено, и в конце апреля канал был заполнен волжской водой. 1 мая 1937 г. из города Горького (Нижнего Новгорода) вышла флотилия судов из четырех кораблей («Иосиф Сталин», «Вячеслав Молотов», «Михаил Калинин» и «Клим Ворошилов») вверх по реке, к истоку канала. Она первой прошла по новому водному пути из Волги в столицу. Во время весеннего паводка 1937 г. началось наполнение Ивановского водохранилища.

15 июля 2007 г. исполнилось 70 лет со дня пуска в эксплуатацию Канала имени Москвы. В связи с этой знаменательной датой в административном здании Яхромского РГС, расположенном в поселке Деденево, 5 июля 2007 г. открыт музей истории и современности Канала имени Москвы. В память о строителях

канала на его берегу при подходе к шлюзу № 4 по проекту художника Петра Стронского возведена часовня Новомучеников в земле российской просиявших.

Сооружения канала имени Москвы были использованы в ходе московской оборонительной операции 1941-1942 гг. По плану Вермахта планировалось окружить Москву с севера и юга. В конце ноября 1941 г. немецкие части, продвигаясь от города Калинина в направлении Большой Волги, начали форсировать замерзшее Иваньковское водохранилище, двигаясь по достаточно прочному льду. Работники Иваньковской ГЭС начали интенсивный сброс воды через плотину. Уровень воды в водохранилище понизился на 2 м, лед стал оседать и ломаться. Войска и техника противника вынуждены были повернуть назад. Чуть позже в результате интенсивного сброса воды в реки Яхрому и Сестру на пути гитлеровской армии был поставлен мощный водный заслон, что остановило их продвижение на этом направлении.

Канал является важнейшей магистралью воднотранспортного и водохозяйственного комплекса «Канал имени Москвы», соединяющей Москву и Московскую область с крупными экономическими районами европейской части России. Канал отнесен к категории стратегически важных объектов Российской Федерации, а ряд его гидротехнических сооружений включен в Перечень ее критически важных объектов.

В последние годы, учитывая возраст и физический износ сооружений канала и объектов инфраструктуры, проводится их комплексная модернизация. Это позволит раскрыть и увеличить имеющийся потенциал канала, обусловленный уникальной инфраструктурой, географией, размерами и стратегическим значением для страны.

Канал работает с полной нагрузкой. В 2021 г. по нему было перевезено 25 млн т грузов. Узким местом во всей этой водной системе оказалось Иваньковское водохранилище. Объем воды в нем (несколько больше 1 км³) уже недостаточен для выполнения задач водоснабжения Москвы. Поэтому стали возникать новые проекты ее водоснабжения, например, создание Ржевского гидроузла на р. Волге, подача воды из р. Оки и др.

Другие каналы. В табл. 10.1 представлены 23 основных канала Российской Федерации. Общая их протяженность – более

2800 км, пропускная способность – 1264 м³/с (около 40 км³/год, или менее 1% речного стока РФ). То есть они могут пропустить объем воды в 1,3–1,4 раза больший, чем средний многолетний сток р. Дон. Каждый канал представляет собой сложный гидротехнический комплекс, включающий несколько сооружений. Так, в состав Беломорско-Балтийского канала входят 19 шлюзов, 15 плотин, 49 дамб, 12 водовыпусков, ряд частных каналов длиной 43 км. Как уже отмечалось, подавляющее число каналов сооружено в европейской части страны. Лишь Кулундинский и Бурлинский находятся в азиатской части России.

Таблица 10.1.**Основные каналы России**

№	Название	Год ввода	Протяженность, км	Пропускная способность, м ³ /с
1	Вышневолоцкая система	1951	36	29
2	Беломорско-Балтийский	1931	227	-
3	Волго-Балтийский	1964	861	-
4	Северо-Двинский	1921	130	-
5	Волго-Донской	1954	101	280
6	Донской	1952	112	110
7	Невинномысский	1948	49	75
8	Большой Ставропольский	1973	265	235
9	Малка-Кура	1932	33	16
10	Малка-Золка	1936	20	1
11	Терско-Кумский	1960	146	100
12	Кумо-Маньчский	1958	96	60
13	Куро-Марьинский	1961	38	45
14	Баксан-Малка	1939	27	51
15	Им. Москвы	1937	128	72
16	Вазузская гидротехническая система	1977	56	11
17	Волга-Увody	1967	79	9
18	Саратовский	1976	81	75
19	Пронский (из р. Прони)	1968	7	1
20	Самур-Дербентский	1940	96	22
21	Кулундинский	1984	181	25
22	Бурлинский	1990	30	36
23	Каналы переброски в бассейне Камы	1968	21	11
Всего			2820	1264

Большая часть каналов, особенно в южных районах, осуществляет подачу воды для целей водоснабжения и орошения (например, Большой Ставропольский, Терско-Кумский). Другие – чисто судоходные (Беломорско-Балтийский, Волго-Балтийский). Третьи выполняют как функции водоподачи, так и судоходства (канал им. Москвы). Велика роль каналов и для водной рекреации, особенно если они сопровождаются созданием водохранилищ, как на канале им. Москвы.

Среди крупных гидротехнических сооружений, построенных в СССР, – Большой Ферганский канал, проходящий по территории Узбекистана, Киргизии и Таджикистана, канал Иртыш-Караганда в Центральном Казахстане, приблизительно равный по мощности каналу им. Москвы, Каракумский канал (современное название Канал Туркменбаши) длиной 1445 км, забирающий ежегодно из Амударьи более 10 км³ воды для водообеспечения южных и юго-западных районов Туркмении. Большая часть этих каналов осуществляет переброску воды, главным образом, для целей орошения. Для этой цели служил и Северо-Крымский канал, который перестал действовать в 2014 г. в связи с конфликтом между Украиной и Россией. В марте 2022 г. подача воды в Крым была восстановлена в результате спецоперции России на Украине.

На уровне 1985 г. в СССР ежегодно перебрасывалось 60 км³ воды, в Индии – 50, в США – 30 км³. Наибольших значений объем перебросок стока составлял в Канаде – 140 км³/год. В основном эти переброски в Канаде, в отличие от большинства других стран, осуществляются для целей энергетики путем соединения стока двух или более рек в одной реке, на которой имеется или строится ГЭС. Всего же в мире перебрасывалось примерно 370 км³/год, то есть так же, как и в России, около 1% годового речного стока. В настоящее время объем перебросок стал еще больше, превысив 500 км³/год, в значительной мере за счет осуществляемых в Китае.

10.9. Проекты перебросок речного стока

Проекты перераспределения речного стока по территории были еще в глубокой древности, есть они и сейчас и, несомненно, будут в будущем, поскольку всегда манила возможность

устранить «недостатки природы», заключающиеся в том, что в одних регионах воды много, а в других, к тому же более обжитых и хозяйственно развитых, мало. Многие из этих проектов были осуществлены, но были и те, которые были забракованы или отложены на неопределенно долгий срок по причинам экономического или экологического характера. Среди последних, например, проект переброски части стока северных рек Канады и Аляски в южные районы США и Мексику, получивший название НАВАПА (от первых букв – North America Water and Power Alliance – Североамериканское объединение по энергетике и водному хозяйству).

Проект НАВАПА, выдвинутый в 1964 г., предполагал отвод части стока из бассейнов рек Юкон, Макензи и ряда рек на побережье Британской Колумбии и Аляски. Переброску стока на юг намечалось осуществить через систему водохранилищ, насосных станций, каналов и тоннелей, созданных в горной части континента. Предполагаемая стоимость проекта составила около 100 млрд. долл., продолжительность строительства – 20 лет.

Ядром проекта, от которого должны были зависеть все другие его части, должно было явиться водохранилище длиной в 800 км, расположенное в тектоническом понижении Скалистых гор (Тренче). Из водохранилища, расположенного на высоте 1000 м над уровнем моря, вода по акведукам и каналам должна была подаваться в засушливые районы запада Северной Америки. С этим водохранилищем предполагалось связать сеть водоемов от Аляски до Британской Колумбии. Система каналов вместе с Великими озерами должна была создать трансконтинентальный водный путь. Объем стока, передаваемого на юг, проектировался в размере более 130 км³/год. Переброска воды должна была осуществляться по горной территории, что требовало большого количества насосных установок для подъема воды. Установленная мощность гидроэлектростанций оценивалась в 100 млн кВт, из которых 30% предполагалось расходовать на обслуживание насосных станций системы, а около 70% предназначалось для продажи. Проект позволял обеспечить водой районы, испытывающие в ней дефицит. Площадь орошаемых земель в США и Канаде предполагалось увеличить на 20 млн га и значительно

расширить их площади в Мексике. Ежегодный дополнительный сброс воды в Великие озера давал возможность стабилизировать их уровень.

Несмотря на все указанные достоинства проекта, против его осуществления были выдвинуты весьма убедительные аргументы. Рядом специалистов было высказано мнение, что грандиозный проект континентального масштаба потребует колоссальных капиталовложений на длительный срок, во время продолжительного строительства значительная часть капиталовложений будет заморожена, не будет приносить прибыль. Использование этих капиталовложений в других отраслях экономики, возможно, принесет обществу более высокий доход.

Подчеркивалось, что к моменту завершения проекта, с развитием технического прогресса, многие решения уже окажутся устаревшими. Особенно велики были возражения против проекта со стороны специалистов, занимающихся охраной окружающей среды и экологическими проблемами. Специальные исследования по прогнозированию воздействия проекта НАВАПА на окружающую среду ни в США, ни в Канаде не проводились. Однако, как отмечали специалисты, не исключалось, что этот континентальный проект окажет существенное воздействие на естественные процессы (циркуляцию атмосферы, гидрологический режим и др.), причем некоторые неблагоприятные воздействия на окружающую среду могут приобрести необратимый характер. Указывалось, что ряд косвенных влияний на окружающую среду трудно предвидеть. И, наконец, на пути осуществления проекта стояли большие препятствия политического характера, в том числе необходимость получить согласие Канады, которая не проявляла заинтересованности в проекте.

У нас в стране широкую, во многом скандальную, известность в 1970–1980-е гг. приобрели проекты межзонального перераспределения речного стока. Идея такого территориального перераспределения стока между северными, хорошо обеспеченными водой районами в европейской и азиатской частях страны и испытывающими ее недостаток южными районами ЕТС и Среднего региона, включающего юг Западной Сибири, Казахстан и Среднюю Азию, давно будоражила мысли исследователей. Еще

в 1871 г. Я. Т. Демченко предлагал использовать сток рек Сибири для обводнения южных засушливых районов. М. М. Давыдов в 40-е гг. XX столетия разработал схему самотечной подачи сибирской воды на юг.

Идея межзонального перераспределения речного стока приобрела реальную основу, когда в Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 гг. было записано: «Провести научные исследования и осуществить на этой основе проектные проработки, связанные с проблемой переброски части стока северных и сибирских рек в Среднюю Азию, Казахстан и в бассейн Волги». В развитие этого решения ЦК КПСС и Совет министров СССР приняли постановление, обязывающее Академию наук, Министерство мелиорации и водного хозяйства, другие министерства и ведомства провести комплексные исследования по научному обоснованию проектов. Всего над проектами работало более 150 проектных и научно-исследовательских институтов страны. Основными движущими посылками таких решений были проекты дальнейшего расширения площади орошаемых земель в бассейнах Каспийского и Аральского морей, которые не обеспечивались водными ресурсами южных регионов. Уже при имевшихся площадях орошения значительная часть стока Волги, Амударьи, Сырдарьи и других рек в бассейнах этих морей и в прилегающих районах изымалась из этих рек. Остроту ситуации придавало то, что и Каспийское, и Аральское моря – замкнутые водоемы, не имеющие связи с Мировым океаном. Поэтому изъятие существенной доли приходной части их водного баланса способствовало снижению уровня этих морей со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями, особенно для рыбного хозяйства, тем более что эти годы совпали с фазой пониженной увлажненности в их бассейнах. Деграляция мелководного Аральского моря происходила особенно быстро. Каспий намного более глубоководный водоем, но его специфика заключается в том, что наиболее рыбопродуктивная часть этого моря, где в основном нагуливается уникальное стадо осетровых, мелководна. В 1977 г. уровень Каспия опустился до рекордной за предшествующие 400 лет отметки -29,04 м по отношению к уровню Мирового океана, и дальнейшее его понижение грозило

катастрофическим усыханием Северного Каспия. Таким образом, подача воды северных и сибирских рек в бассейны Каспия и Арала решала для них (на что как-то не обращалось внимания) и природоохранные функции. Правда, для Каспия подача воды северных рек в Волгу должна была компенсировать намечающееся дополнительное изъятие воды из Волги. Для Арала такой компенсации не предусматривалось, хотя он должен был получать больше воды за счет большего количества возвратных вод с орошаемых земель всего бассейна.

Рассматривались различные варианты территориального перераспределения водных ресурсов. Но основное внимание было уделено следующим, наиболее разработанным проектными организациями вариантам. В европейской части страны суммарный объем перераспределяемого стока (19,1 км³/год) набирался из четырех северных речных бассейнов. Воды трех из них направлялись через р. Шексну в Рыбинское водохранилище на Волге: 1,8 км³/год – из бассейна р. Онеги (11,2% естественного стока в устье реки); 4,0 км³/год – из р. Сухоны, одного из главных истоков р. Северная Двина (3,7%); 3,5 км³/год – из бассейна р. Невы (4,5%). Часть стока четвертого источника, р. Печоры, в объеме 9,8 км³/год (7,6%), перебрасывалась в р. Каму. В азиатской части страны – забор воды в межень из Оби двумя вариантами: 1) у с. Белогорье с транспортированием ее до Тобольска либо с помощью насосных станций и гидроузлов вверх по руслу Иртыша, либо по каналу вдоль левого берега Иртыша; 2) из Каменского водохранилища с транспортированием воды по каналу в Иртыш через Кулунду. В половодье предполагалось отбирать воду непосредственно из Иртыша у Тобольска, направляя ее на юг по Главному каналу переброски стока, проектируемому через Тургайский прогиб. От этого канала должны были отходить магистральные каналы для обеспечения водой прилегающих территорий. Предполагалось осуществить переброску 25–30 км³/год как в европейской, так и в азиатской части страны, что составляло соответственно 6–9% суммарного стока рек-доноров на севере и северо-западе ЕТС и 6-7% стока Оби.

Проекты подверглись ожесточенной критике со стороны представителей «зеленого» движения, ряда писателей и видных

общественных деятелей страны. Их главные аргументы сводились к следующему: переброска – чересчур дорогое мероприятие, а заложенные в осуществление проекта суммы явно занижены; прежде чем перебрасывать воду, надо навести порядок в водном хозяйстве на местах, чего нет, и наблюдается перерасход воды, особенно на орошаемых землях Средней Азии; возможны негативные изменения климата; значительная часть земель на севере будет затоплена или подтоплена и при этом пострадают архитектурные памятники, особенно на севере ЕТС; перебрасываемая вода по каналу длиной 2550 км в Среднем регионе вообще не достигнет Приаралья, профильтровавшись в грунт, а если и достигнет, то вынесет на поля огромное количество солей; орошать черноземы в степных районах вообще нельзя, так как они при этом деградируют; прогноз уровня Каспийского моря составлен неверно.

В процессе научных и не всегда научных дискуссий, работы инженеров над улучшением проектов выяснилось, что большинство опасений в отношении изменений климата и экологических последствий переброски стока оказались сильно преувеличенными. Перерасход воды, особенно в Средней Азии, действительно есть, но он не так велик, как считали многие. Все дело в том, что в советское время существовали скрываемые от официальной статистики орошаемые участки, урожай с которых плюсовался с урожаем с официально учитываемых участков, и руководители хозяйств получали различные регалии за якобы высокую урожайность. Затрачиваемая на орошение скрываемых полей вода учитывалась водохозяйственными органами, но относилась к меньшей, официально учитываемой площади, способствуя представлению об огромных непроизводительных потерях воды. Прогноз уровня Каспия, исходящий из высокой вероятности дальнейшего его понижения, действительно не оправдался. Уровень Каспийского моря, напротив, вплоть до последнего времени поднимался, достигнув отметок около 27-28 м абс. ниже уровня моря, вследствие наступления многоводной фазы в бассейне Волги и уменьшения антропогенной нагрузки на его водные ресурсы. В оправдание несбывшегося прогноза следует сказать, что наука еще не может давать детерминированных, то есть точных

во времени, долгосрочных гидроклиматических прогнозов. Все они носят вероятностный характер. Добавим, что за наступлением многоводной фазы увлажненности с высокой вероятностью следует ожидание наступления маловодной. Судьбу проектов переброски решил в значительной мере экономико-политический фактор. У государства не было средств для осуществления таких крупных проектов, а критику трудного экономического положения в стране нужно было перевести в другое русло. В данном случае «козлом отпущения» стали проекты переброски стока. В 1985 г. постановлением правительства были остановлены все проектные и научные работы по этой проблеме. Однако широкое протестное движение, сформировавшееся на критике переброски стока, затем перекинулось на критику устоев советского государства и способствовало, в конечном счете, развалу СССР.

В последние годы периодически вновь пробуждался интерес к этим проектам и их модификациям, в первую очередь к азиатским вариантам. Наибольшую заинтересованность проявляли представители республик Центральной Азии. В России наиболее активным сторонником реанимации межзонального перераспределения речного стока был бывший мэр Москвы Ю. М. Лужков, акцентировавший внимание на геополитическом значении канала в азиатском регионе, позволяющем существенно укрепить связи России с государствами Центральной Азии. Однако пока никаких реальных шагов в отношении реанимации проектов переброски или их вариантов не сделано.

Между тем в других странах возникают все новые проекты территориального перераспределения водных ресурсов. Пионером в данной области выступает Китай. Один из самых крупных проектов предполагает строительство канала между бассейнами Янцзы и Хуанхэ. Предполагается, что 300 км этого канала соединят левые притоки Янцзы, стекающие с Цинхай-Тибетского нагорья, с верхним течением гораздо менее водной Хуанхэ. Этот канал должен стать третьей, завершающей частью системы великих китайских каналов. Первый проложат на востоке страны, второй – в центральной части КНР. Он должен подавать воду из Янцзы в район Пекина. Предполагается в общей сложности перебрасывать ежегодно более 40 км³ воды. Кроме того, есть

планы, затрагивающие и интересы нашей страны. Дело в том, что Китай собирается отбирать значительную часть воды из Черного Иртыша, протекающего по территории Китая и являющегося истоком Иртыша, который затем течет по территории Казахстана и России. Отъем воды из Черного Иртыша значительно осложнит водохозяйственную ситуацию ниже по течению.

Выше шла речь о крупномасштабных перебросках воды. В малых же масштабах большинство из нас практически ежедневно имеет дело с перебрасываемой водой – по водопроводной и канализационной сети. Вода, которая приходит в наши квартиры или удаляется из них с нечистотами, – тоже результат перебросок, пусть и на сравнительно небольшие расстояния. Практически вся вода, забираемая из источников, движется по сети, созданной человеческими руками. Длина только водопроводной сети достигала в СССР 100 тыс. км. В мире же она многократно выше. Таким образом, общий объем перебрасываемых вод многократно больше того, что перебрасывается по крупным каналам, и близок к общему объему забираемых и сбрасываемых вод. А это в мире тысячи км³ в год.

ВОДОЗАБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ

Следует сразу же сказать, что с терминами «водозабор» и «использование воды» нередко происходит путаница, подмена одного из них другим, тогда как надо четко представлять, что использование воды меньше водозабора за счет того, что не вся забранная вода доходит до потребителя из-за потерь при ее транспортировке к месту назначения. В ряде случаев в составе водозабора выделяется водозабор для использования, так как часть забранной воды может идти на переброску стока в другие регионы или речные бассейны. Проиллюстрируем это на примере водопотребления в России на уровне 2017 г. Забор воды составил 68,9 км³/год, в том числе для использования – 60,3 км³, использование воды – 53,5 км³. Существуют еще и такие термины, характеризующие воздействие на водные ресурсы, как «водопотребление» и «водопользование». Первый из них применяется в тех случаях, когда происходит изъятие воды из источника (то есть водозабор с дальнейшим использованием воды), а второй – когда такого изъятия не происходит, например, при судоходстве, водной рекреации. Применение этих терминов также не всегда четко разделяется.

В данной главе речь пойдет о водопотреблении, включающем в себя водозабор и использование забранной воды.

11.1. Водозабор и использование воды в мире

Крупномасштабное водопотребление воды известно еще со времен древнейших цивилизаций. Однако даже самые крупные цивилизации древности не идут ни в какое сравнение с современными масштабами водопотребления, которые вплоть до последних десятилетий стремительно нарастали со временем. Как показано в обобщающей монографии «Водные ресурсы России и их использование» (2008), только за 100 лет с 1900 по 2000 г. ежегодное водопотребление (водозабор) во всем мире выросло с 579 км³ до 3765 км³, то есть почти в семь раз, и составило около

10% годового стока всех рек Земного шара. К 2017 г. общий забор пресной воды в мире составлял более 4 тыс. км³ в год.

Водопотребление в коммунальном секторе и в промышленности возросло почти в 20 раз. Фактически же его рост в промышленности был гораздо выше, так как значительная часть воды в конце XX века использовалась в системах оборотного водоснабжения, что резко уменьшало водозабор из рек и водоемов и тем самым реальное водопотребление. Увеличивалось водопотребление и в сельском хозяйстве – несколько более чем в 5,5 раза, что, безусловно, связано с ростом орошаемых площадей. Задолго до 1900 г. в мире (особенно в Южной Азии и Северной Африке) существовала развитая система ирригации и орошались наиболее пригодные для сельского хозяйства земли. Тем не менее, по данным ФАО, за сто лет в мире площадь орошаемых земель выросла в шесть раз – с 50 млн га в 1900 г. до 300 в 2000 году, в 2017 г. она составляет 330 млн га. Именно орошаемое земледелие является крупнейшим потребителем воды в мире и в основном определяет темпы роста мирового водопотребления. На его долю в 1900 г. приходилось почти 90% суммарного водопотребления в мире, а в 2017 г. – около 70%. Если же взять безвозвратное водопотребление, то соответствующие цифры составят 97 и почти 90%.

Интересно, как менялось водопотребление в самое последнее время.

В мире в целом в последний период с 1990 г. наблюдался рост водозабора на 10–15%. В начале XXI века в странах Северной Америки (США и Канада) произошла стабилизация показателей водопотребления. В Западной Европе картина достаточно разношерстная – в Германии и Франции произошло снижение водозабора, в Великобритании – стабилизация, в Италии – рост на 5–10%. В Японии наблюдалось снижение водозабора в среднем более чем на 5%. Причины такой картины для развитых стран мира кроются в разном уровне совершенства технологий использования воды и существенных отличиях в структуре водопотребления. Но в целом можно говорить о замедлении темпов роста водопотребления, его стабилизации или даже снижении за счет предпринятых мер по экономии воды.

В странах Восточной Европы с переходной экономикой (Болгария, Польша, Чехия) наблюдался спад водозабора более чем

на 25%, Беларуси – 45%, а на Украине – более чем на 70%. Естественно, причины такого глубокого спада в странах с переходной экономикой кроются в социально-экономическом кризисе 1990-х годов. По той же причине произошло снижение (приблизительно на 30%) водозабора в республиках Центральной Азии (Казахстан и Узбекистан), в структуре водного хозяйства которых преобладает ирригация. Напротив, в странах Юго-Восточной Азии наблюдается стабильное увеличение водозабора – около 10% в Китае и почти на 30% в Индии. Это связано с быстрым ростом экономики, а также ростом орошаемых площадей, размер которых в Индии уже превысил таковые в Китае.

11.2. Водозабор и использование воды в России

До распада СССР Российская Федерация была в числе регионов с наиболее быстрым ростом водопотребления. Только за 15 лет, с 1960 по 1975 г., ежегодный водозабор для использования в России возрос с примерно 40 до 100 км³, то есть в два с половиной раза. В период с 1975 до конца 1980-х гг. он стабилизировался на уровне 95–100 км³, а после распада СССР снизился к 2017 г. до значений менее 55 км³ (что составляет 1,3% общих водных ресурсов России). При этом на долю промышленности округленно приходится 55%, коммунального хозяйства (на хозяйственно-бытовые нужды) – 15%, а сельскохозяйственного водоснабжения и орошения – 30% (рис. 11.1)

Структура водопотребления мало менялась в последние годы, в табл. 11.1 она представлена по федеральным округам.

В европейской части России вслед за высокой плотностью населения и интенсивностью хозяйственного освоения территории используется почти в три раза больше воды, чем в азиатской. Динамика водопотребления в европейской и азиатской частях России схожая, в частности, на современном этапе произошло снижение забора воды из природных источников и водопотребления по сравнению с 1990 г. в 1,6–2 раза. Спад в использовании воды произошел практически у всех ее потребителей, при этом доля промышленного и хозяйственно-бытового секторов мало изменилась. Однако доля орошаемого земледелия в обоих регионах снизилась, особенно значительно (в четыре раза) в азиатской части.

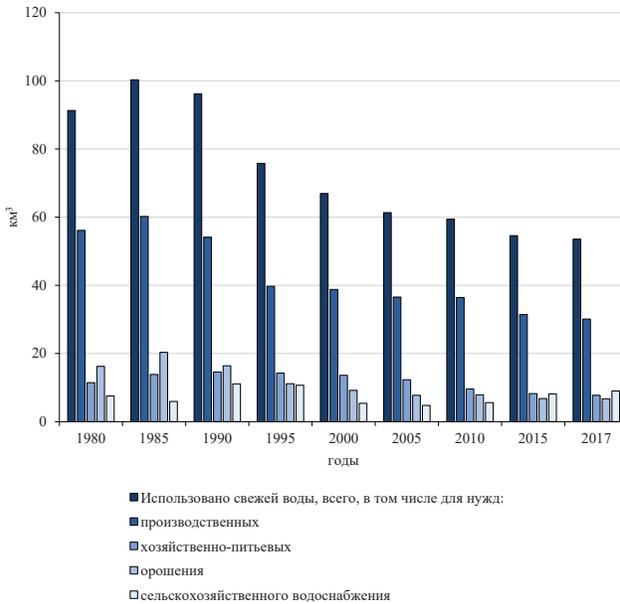
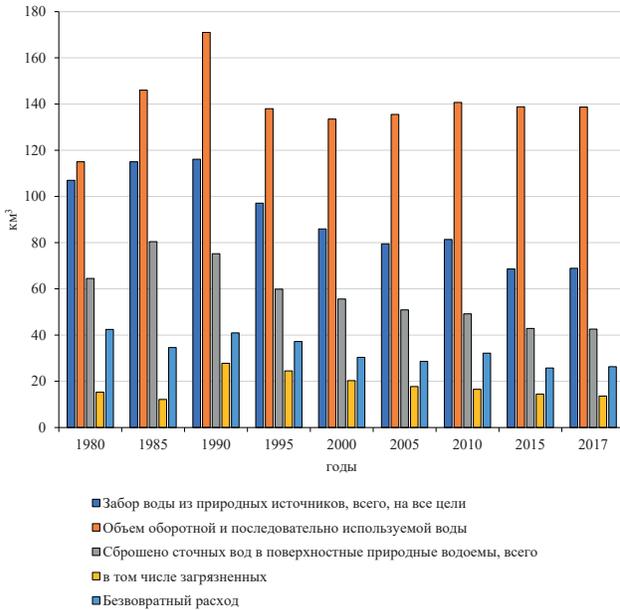


Рисунок 11.1. Динамика водопотребления в России

Таблица 11.1.

Использование воды в РФ в 2017 г.

Федеральные округа, территории	Использовано забираемой из источников воды, всего, км ³ /год	Структура использования воды, %			
		на производ- ственные нужды	на хозяйственно- бытовые нужды	на орошение	на сельско- хозяйственное водоснабжение и прочие
Центральный	8,6	57	25	0	17
Северо-Западный	9,6	88	8	0	4
Южный	7,6	24	11	52	13
Северо-Кавказский	7,2	32	7	33	28
Приволжский	6,9	66	22	2	11
<i>Европейская часть России</i>	<i>39,8</i>	<i>55</i>	<i>14</i>	<i>16</i>	<i>14</i>
Уральский	5,2	36	13	0	51
Сибирский	7,0	76	14	2	9
Дальневосточный	1,5	64	22	6	7
<i>Азиатская часть России</i>	<i>13,7</i>	<i>59</i>	<i>15</i>	<i>2</i>	<i>24</i>
Российская Федерация	53,5	56	14	13	17

Среди федеральных округов по величине водопотребления выделяются Южный и Северо-Кавказский округа, суммарно использующие около ¼ части забираемой воды от Российской Федерации в целом и почти 95% всех вод, использующихся на орошение.

В водном хозяйстве, как и в экономике страны, выделяются Центральный, Северо-Западный и Приволжский федеральные округа. Здесь проживает более 45% населения России, занимают они 10% территории и дают около половины валового внутреннего продукта. Эти же регионы используют более 50% всей забираемой воды, сбрасывают 50–60% сточных и загрязненных сточных вод.

Регионы сибирской части России используют и сбрасывают в сумме почти 25% воды. В них проживает 20% населения и производится 30% валового регионального продукта, а занимают они около 75% территории.

11.3. Сравнение водопотребления в разных регионах

Результаты сравнения водозабора в некоторых странах мира приведены на рис. 11.2.

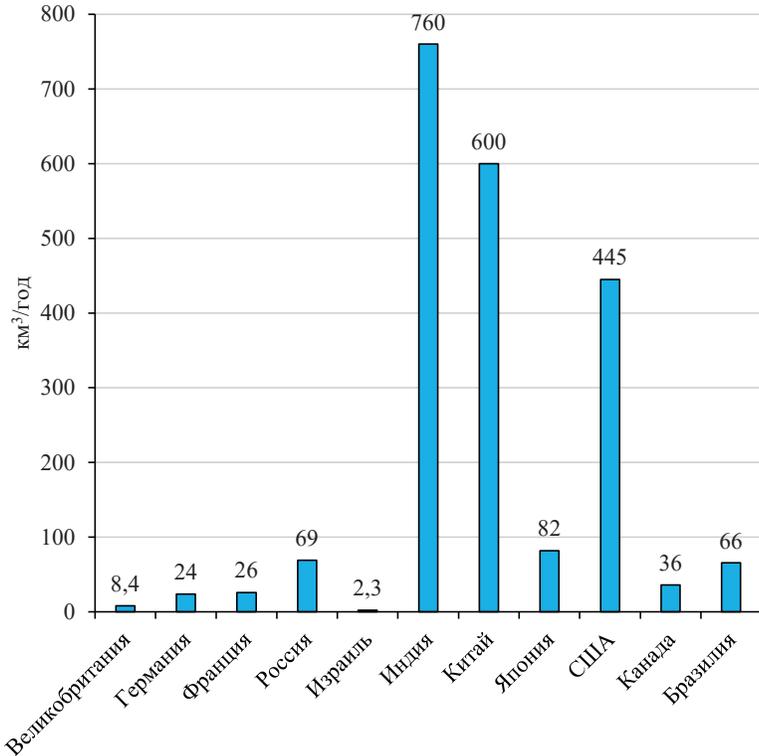


Рисунок 11.2. Забор воды из природных источников в некоторых странах мира

Эти страны в совокупности представляют 50–60% мировой экономики, населения, орошаемых площадей, водных ресурсов и водозабора. Наиболее велик забор пресной воды из природных источников в Индии и Китае, самый низкий – в Израиле и Великобритании. Такие существенные различия в величине водозабора связаны как с размерами стран, так и структурой водопотребления (рис. 11.3).

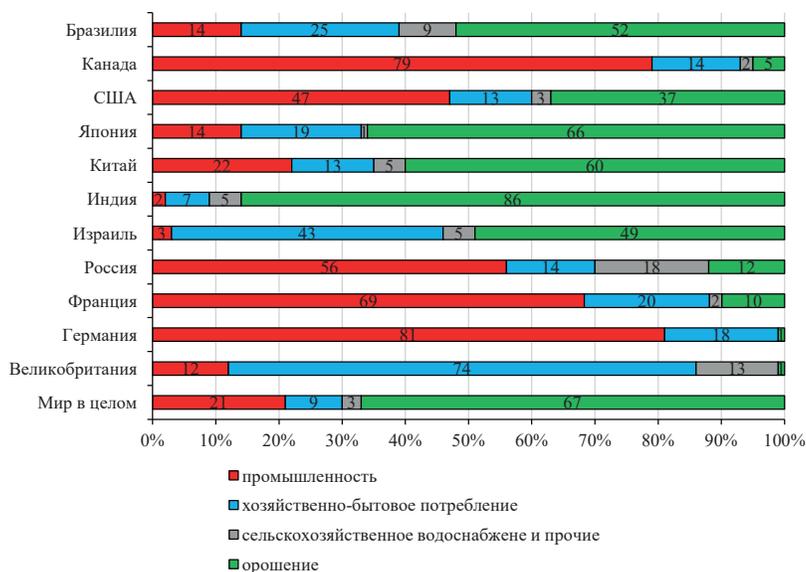


Рисунок 11.3. Структура водопотребления в некоторых странах мира

В целом в мире на промышленные и коммунально-бытовые нужды расходуется 30% воды, забираемой из природных источников, а на сельскохозяйственные нужды, главным образом орошение, – 70%.

Особенности структуры водопотребления воды в сравниваемых странах заключаются в высокой степени индустриализации водохозяйственного сектора, характерной для Германии, Канады, Франции и России, существенная доля орошения присуща Индии, Японии и Китаю.

Рассмотрим некоторые удельные показатели использования водных ресурсов (табл. 11.2). Как видно, по обеспеченности населения ресурсами речного стока первое место занимает Канада, далее находятся Бразилия и Россия, остальные страны располагают на порядок и более меньшим количеством воды на душу населения. Наиболее остро проблема нехватки воды стоит в Израиле. В России, как в Бразилии и Канаде, используется только 1-2% водных ресурсов. Наиболее высокими показателями отличаются Израиль и Индия.

Таблица 11.2.

Некоторые удельные показатели использования водных ресурсов

Страна	Обеспеченность населения ресурсами местного речного стока, тыс.м ³ /чел.	Удельная водоемкость				орошения, м ³ /Га
		весом, м ³ / тыс.\$ ВВП	хозяйственно-бытового сектора, л/сут. на 1 чел.	хозяйственно-бытового сектора, л/сут. на 1 городского жителя	л/сут. на 1 городского жителя	
Великобритания	2,2	3	260	315	1710	
Германия	1,9	6	145	195	400	
Франция	3,3	9	220	275	1880	
Россия	27	14	145	200	1730	
Израиль	0,2	7	310	340	6190	
Индия	1,5	80	120	365	9950	
Китай	2,1	26	160	280	6040	
Япония	3,4	15	330	355	20760	
США	9,5	23	495	605	7220	
Канада	79,9	20	370	450	2430	
Бразилия	42,0	20	225	260	7670	
Мир в целом	5,7	31	132	240	9750	

В качестве удельных показателей обычно используются такие, как расход воды на одного человека, на 1 га орошаемой площади, на единицу ВВП (валовой внутренний продукт) и др.

В связи с ростом городского населения, повышением уровня благоустроенности населенных пунктов удельное водопотребление на коммунальные нужды в большинстве стран мира неуклонно растет. Затормаживают этот процесс в настоящее время мероприятия по экономии воды, рост тарифов на хозяйственно-бытовое водопотребление, ограничение потребления в связи с дефицитом водных ресурсов и их неудовлетворительным качеством. Большое влияние на величину этого водопотребления также оказывают климатические условия.

В расчете на одного человека в хозяйственно-бытовом секторе у нас в стране воды расходуется немногим больше, чем в среднем по миру, но меньше, чем в США, Канаде и Японии. Если учитывать только городское население, то в странах с его численностью более 80%, таких как Великобритания, Израиль и Япония, водопотребление городским населением составляет 300–350 л/сут. на чел., в США и Канаде – 450–600. Следует иметь в виду, что данные по странам не всегда сравнимы между собой, так как статистика стран по-разному учитывает потребление воды городским и сельским населением. Например, у нас в стране потребление воды сельским населением учитывается в статье «сельскохозяйственное водоснабжение», в других странах приводят суммарное потребление городским и сельским населением (США, Канада, Бразилия и др.).

Величины удельных расходов воды на орошение во многом определяются разнообразием климатических условий, составом орошаемых сельскохозяйственных культур, совершенством технических приемов и способов орошения, позволяющих более эффективно использовать воду и способствовать экономии воды.

Наименьшие значения наблюдаются для более северных стран. В США и Бразилии расходы воды на орошение оцениваются в 7-8 тыс. м³/га. В странах Азии ввиду большого разнообразия климатических условий, состава орошаемых культур, традиций и способов полива значения удельного водопотребления весьма разнообразны.

Для оценки водоемкости экономики и экономической эффективности воздействия на водные ресурсы, помимо прямых расчетов ущерба и доходов, широкое применение получило соотношение расходов воды с ВВП (по паритету покупательной способности – ППС) при всей условности этих соотношений. Чем меньше расход воды, приходящийся на единицу производимого валового продукта, тем антропогенное воздействие на водные ресурсы считается более эффективным. Страны с высокой долей орошения (главного водопотребителя) заведомо будут иметь завышенные значения рассматриваемого показателя. В странах с большой долей использования воды на нужды промышленности водоемкость будет ниже среднемировых значений.

В последние годы в России отмечается снижение показателя удельного водопотребления, рассчитываемого по отношению расхода воды к величине ВВП по ППС в долларах (рис. 11.4). По данным Международного валютного фонда (МВФ), он снизился в пять раз по сравнению с 2000 г., а по данным Всемирного банка (ВБ) – приблизительно в три раза, что объясняется структурной перестройкой хозяйства – снижением доли водоемких производств, в том числе орошаемого земледелия, ростом сферы услуг, введением ряда мер по экономии воды, частичным выходом «на свет» теневой экономики.

Количество воды, необходимое для производства единицы валового внутреннего продукта, в разных странах варьирует в широких пределах (табл. 11.2.). Водоемкость экономики России в два раза ниже, чем средняя по миру, но в 2–5 раз выше, чем у наименее водоемких Великобритании и Германии. Интересно, что после распада СССР водоемкость экономики России по сравнению с СССР в целом резко снизилась, главным образом не за счет мер по экономии воды, а за счет ее структурных изменений, в частности резкого уменьшения доли орошаемого земледелия. Самая высокая удельная водоемкость, то есть низкая эффективность использования водных ресурсов, отмечается в Индии, где, как и во многих других странах с большим удельным расходом воды, главная статья водопотребления – орошаемое земледелие, что гораздо менее эффективно с экономической точки зрения, чем промышленность или сфера услуг, во многом определяющих величину ВВП в таких странах, как Великобритания или Германия.

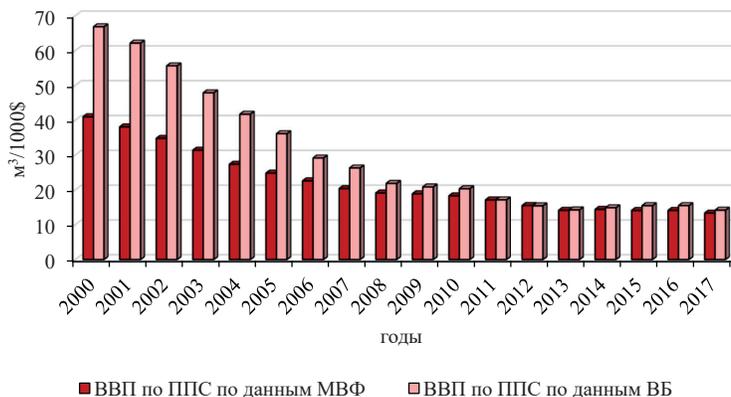


Рисунок 11.4. Динамика удельного водопотребления в России по оценкам МВФ и ВБ

В качестве одного из показателей водно-экологического стресса (напряженности) в международной практике используется соотношение общего водозабора за год с величиной среднего многолетнего годового стока рек. Как видно из табл. 11.3, в России в настоящее время забирается из водных объектов лишь 1,6% общих ресурсов речного стока. В большинстве федеральных округов этот показатель также невелик. Только в Северо-Кавказском ФО он достигает почти 40% из-за сравнительно небольших ресурсов речного стока и большого расхода воды в орошаемом земледелии. Заметим еще, что здесь и наибольшие потери воды при транспортировке, если судить по разнице водозабора и использования воды.

Как следует из рис. 11.5., в России, Канаде и Бразилии забирается из водных источников наименьшая доля водных ресурсов. Наиболее велика она в Израиле, где на протяжении многих десятилетий существуют значительные проблемы с обеспечением населения, хозяйства и, главным образом, орошаемого земледелия пресной водой. Только внедрение современных технологий (повторное использование, сбор и восстановление водных ресурсов, опреснение соленых вод, применение прогрессивных методов орошения, импорт воды из сопредельных территорий и прочее) позволяют выживать стране в условиях высочайшего водного стресса.

Таблица 11.3.

Некоторые удельные показатели использования общих водных ресурсов по Федеральным округам России

Федеральные округа, территории	Водный стресс, %	Использовано в % от водозабора	Удельное водопотребление		
			всего, м ³ /тыс. руб. ВРП	хозяйственно-бытового сектора, л/сут. на 1 чел.	в орошаемом земледелии, м ³ /га
Центральный ФО	9,0	80	0,35	164	63
Северо-Западный ФО	1,7	95	1,2	160	5
Южный ФО	3,9	65	1,4	140	4300
Северо-Кавказский ФО	38,7	63	3,6	130	2170
Приволжский ФО	3,4	86	0,7	150	180
<i>Европейская часть России</i>	<i>5,8</i>	<i>77</i>	<i>1,55</i>	<i>150</i>	<i>1980</i>
Уральский ФО	0,9	87	0,45	170	32
Сибирский ФО	0,6	88	0,9	145	280
Дальневосточный ФО	0,1	85	0,4	185	2300
<i>Азиатская часть России</i>	<i>0,5</i>	<i>87</i>	<i>0,6</i>	<i>160</i>	<i>480</i>
Российская Федерация	1,6	80	0,75	145	1730

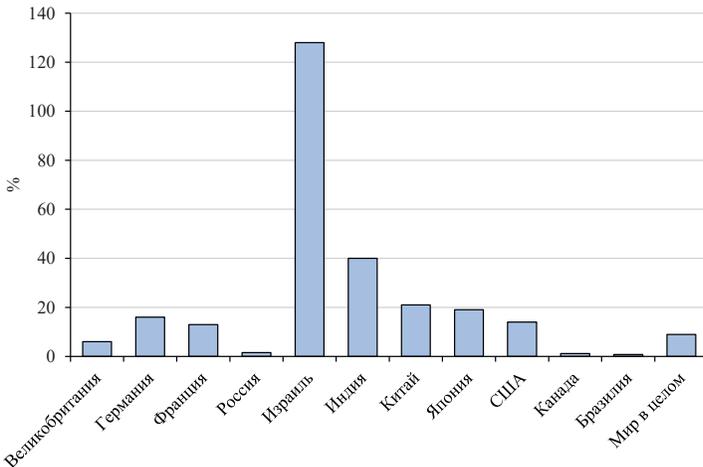


Рисунок 11.5. Водный стресс (доля водозабора в речном стоке) некоторых стран мира

Россия располагает огромными водными ресурсами рек и водоемов. Но эти ресурсы весьма неравномерно распределены по территории и во времени. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в целом ниже средних мировых показателей. По целому ряду показателей эффективности использования воды ситуация в России не уступает среднемировым показателям, а нередко и превосходит их. В то же время отмечается существенное отставание по некоторым показателям от наиболее развитых стран. Также большие различия в эффективности антропогенного воздействия на водные ресурсы имеют место в регионах России, в частности, в федеральных округах. Однако это во многом следствие более северного расположения нашей страны и меньшей доли орошения в водохозяйственном секторе по сравнению с большинством других стран. В целом использование водных ресурсов в России нельзя считать высокоэффективным из-за большого объема непроизводительных расходов воды, загрязнения многих рек и водоемов, неблагоприятной гидроэкологической и водохозяйственной ситуации в целом ряде районов.

Глава 12.

ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЙ ФАКТОРОВ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

Различных сочетаний факторов изменения водных ресурсов очень много. Здесь же остановимся лишь на некоторых примерах сочетания антропогенных факторов и на соотношении гидрологической роли антропогенных и природно-климатических факторов. При этом основное внимание уделим изменению годового речного стока и объема сточных вод. Изменение стока определяется по данным воднобалансовых расчетов, результатам анализа гидрологических рядов, величине безвозвратного расхода воды, надолго изымаемого из ее местного круговорота и находимого по разнице водозабора и объема сточных вод.

12.1. Сочетание антропогенных факторов

На рис. 12.1, по данным ГГИ (Водные..., 2008), показана динамика изменения стока Волги под влиянием комплекса антропогенных факторов. Этот график был построен в начале 2000-х гг., на 2010 г. был дан прогноз. Левые столбцы хорошо иллюстрируют уменьшение стока Волги до середины 1980-х гг., дальнейшую некоторую стабилизацию и снижение после распада СССР. Эта картина довольно существенно меняется с учетом заполнения водохранилищ Волжско-Камского каскада.

Ранее в табл. 9.1 на примере Волги и Дона было показано, что на современном этапе разные виды хозяйственной деятельности на водосборе в значительной степени взаимокompенсируются в воздействии на годовой речной сток. При оценке влияния на сток неорошаемого (богарного) земледелия и урбанизированных ландшафтов в мире также можно говорить об определенной их взаимокompенсации. А какова вообще гидрологическая роль урбанизации, то есть совместного воздействия на водные объекты урбанизированных ландшафтов и водопотребления в их пределах (практически водопотребления на хозяйственно-бытовые

и промышленные нужды)? Авторы выполнили такие расчеты для крупных регионов мира и России (Коронкевич и др., 2022). Вот что получилось (табл. 12.1).

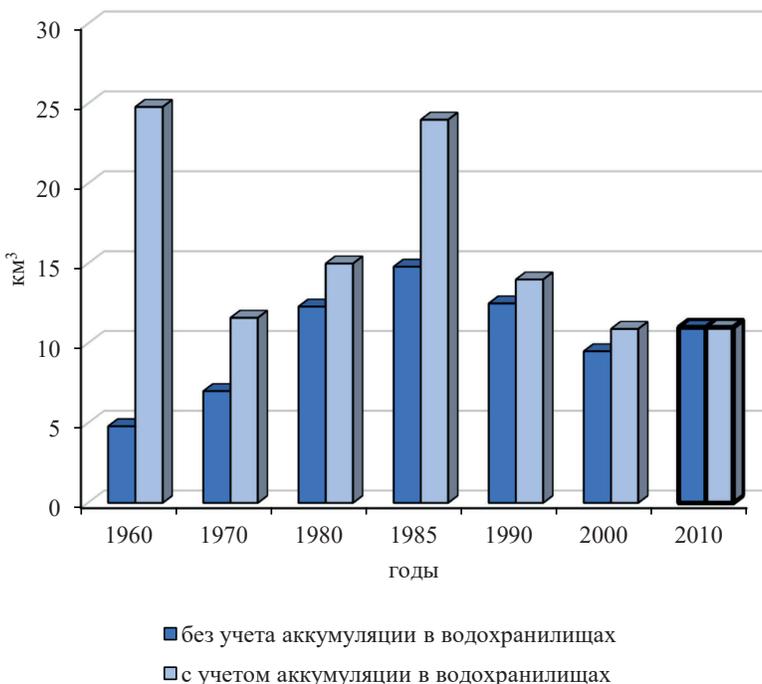


Рисунок 12.1. Динамика уменьшения стока Волги под влиянием антропогенных факторов, км³/год

Таблица 12.1.

Влияние урбанизации на годовой речной сток в мире на уровне 2017 г.

Регион	Изменение стока					
	под влиянием урбанизированных ландшафтов		в результате водозабора и безвозвратного изъятия воды		итоговое	
	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Мир	764	1,8	-189	-0,5	575	1,3
Россия	23	0,6	-5,4	-0,13	17,6	0,5

Таким образом, урбанизация в целом приводит к увеличению годового стока за счет более существенного влияния урбанизированных ландшафтов по сравнению с водозабором. Конечно, в процентном отношении изменение величины годового стока весьма невелико, но в абсолютном исчислении развитие урбанизации привело к росту стока, соизмеримому для всего мира более чем с двухлетним стоком Волги, а в России – современным стоком Дона.

И все же гораздо более существенно рост урбанизации сказался на качестве вод. Если просуммировать увеличение стока с урбанизированных ландшафтов, который в значительной мере загрязнен, и объем сточных вод, который в разной степени тоже загрязнен (к сожалению, для большинства стран отсутствует соответствующая статистика), то получается, что объем этих вод составляет со всего мира около 2000 км³/год (764+1171), а для России – около 60 (23+37). Получаем кратность их разбавления примерно 20 раз для всего мира и 70 раз для России. На первый взгляд, ситуация выглядит не такой уж страшной, особенно для России, однако для отдельных агломераций кратность разбавления рассмотренных вод во много раз меньше, что обуславливает интенсивное загрязнение водных объектов в их пределах и расположенных ниже по течению рек. При этом надо иметь в виду, что общая картина загрязнения далеко не полная, учитывая наличие других источников поступления загрязняющих веществ. Один из них – возвратные воды с орошаемых земель, содержащие ядохимикаты, биогены и другие загрязняющие вещества. Общий объем сточных и возвратных вод возрастает в мире почти до 2000 км³/год, в России – почти до 40 с лишним км³/год. С учетом стока с урбанизированных площадей кратность разбавления всех этих вод снижается до 15 раз в мире и несколько более 60 раз в России.

Не принимая во внимание увеличение стока с урбанизированных ландшафтов, так как оно на современном этапе, как уже отмечено выше, во многом компенсируется влиянием других видов хозяйственной деятельности на водосборах, в первую очередь неорошаемого земледелия, находим, что общее водопотреб-

бление плюс потери воды с акватории водохранилищ (более 230 км³/год в мире и 10 км³/год в России, согласно (Водные..., 2008)) уменьшает мировой годовой сток почти на 2400 км³ (около 6%), а в России – почти на 30 км³ (0,7%), с учетом потерь воды при ее транспортировке.

Используя данные ГГИ за 1990–2000 гг., нами составлен график изменения водопотребления, а также безвозвратного расхода воды в мире до 2017 г. с пролонгацией до 2021 г. (рис. 12.2). Он свидетельствует о нарастании водопотребления и безвозвратного расхода воды, а, следовательно, и об уменьшении мирового годового стока почти на 2500 км³/год.

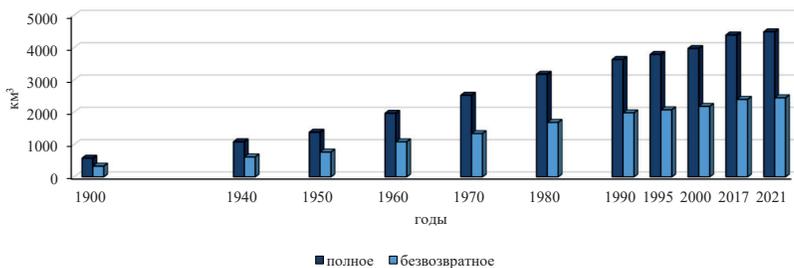


Рисунок 12.2. Динамика полного и безвозвратного водопотребления в мире

В России же отмечается тенденция стабилизации или даже снижения водозабора и безвозвратного расхода воды. Впрочем, не везде. В значительной мере исключением из общего правила служит Московский регион. Суммарный объем переброски части волжского стока по каналу им. Москвы, привлечения ресурсов подземных вод, роста стока с площади урбанизированных земель существенно превзошел суммарную величину безвозвратного водопотребления, потерь воды на фильтрацию в подземные горизонты и на испарение воды с акватории прудов и водохранилищ, что в итоге привело к увеличению среднего многолетнего стока реки Москвы с 3,2 до 4,9 км³/год. Правда, частично это произошло за счет загрязненных сточных вод с урбанизированных площадей.

12.1. Соотношение вклада антропогенных и природно-климатических факторов в изменение состояния водных ресурсов

Если не иметь в виду антропогенные изменения климата, которые достаточно дискуссионны, то следует признать, что климато-обусловленные изменения годового речного стока в большинстве случаев значительно превосходят антропогенные изменения. Но в наиболее обжитых районах и в отдельные периоды влияние этих факторов может быть вполне соизмеримо или даже роль антропогенных факторов может быть более весомой.

Рассмотрим табл. 12.2, в которой представлено изменение стока ряда крупных рек России, рассчитанное с участием авторов (Георгиади и др., 2019), за периоды существенного антропогенного воздействия. Для Волги и Дона это 1930–2014 гг., Енисея – 1961–2004 гг., Лены – 1968–2007 гг. Расчет соотношения вклада природно-климатических и антропогенных факторов в этой таблице выполнен следующим образом. Вначале за базовый период, когда не было значительного антропогенного воздействия, были построены графики связей стока указанных рек со стоком рек-индикаторов климатических условий, которые и в последующие годы не подвергались сколько-нибудь существенному антропогенному воздействию. На основании этих графиков связи находился условно-естественный сток рассматриваемых крупных рек, который бы наблюдался при отсутствии антропогенного влияния. Затем сравнением полученных величин с базовым стоком определялись климатические изменения за каждый год и их суммированием общее климатическое изменение стока за период существенного антропогенного влияния. По разнице восстановленного условно-естественного стока и фактического находилось общее изменение стока, а за вычетом ранее вычисленного климатического изменения – антропогенное. Делением суммы полученных изменений стока на число лет определялось его среднее годовое значение.

Видно, что наиболее близкие по величине антропогенные и климатические изменения за рассматриваемые периоды существенного антропогенного воздействия оказались в более обжитых бассейнах Волги и Дона, тогда как в бассейнах Енисея

и Лены роль климатических факторов в суммарном изменении их стока значительно выше и направлены в другую сторону, чем антропогенные. При этом надо учитывать, что в отдельные отрезки времени в пределах выбранных периодов роль антропогенных факторов может быть намного выше средних многолетних значений, представленных в табл. 12.2. Это хорошо видно на рис. 12.1, когда в отдельные годы антропогенные изменения стока превышали $20 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таблица 12.2.

Изменения годового стока за период существенного антропогенного воздействия, км^3

Река-створ	Антропогенные изменения		Климатические изменения	
	суммарно за период	среднее за год	суммарно за период	среднее за год
Волга-Волгоград	-1190	-14	-1377	-16.2
Дон-Раздорская	-230	-2.7	-348	-4.1
Енисей-Игарка	-237.6	-5.4	1320	30
Лена-Кюсюр	-32	-0.8	884	22.1

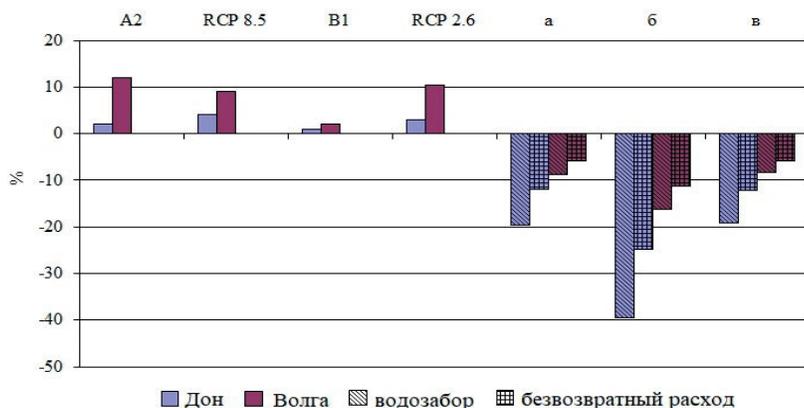
Также велика роль антропогенных факторов в изменении стока в отдельные сезоны, в частности, в зимний период, что обусловлено в основном зимними попусками из водохранилищ. Так, вклад антропогенных факторов в суммарные изменения зимнего стока составляет на Волге почти 100%, на Енисее – более половины, на Дону – почти треть, на Лене – свыше 90%.

Другой пример значительного антропогенного изменения стока связан с рекой Москвой. Выше приводились величины суммарного антропогенного воздействия на годовой сток этой реки, что увеличило его более чем в полтора раза. Начало XXI столетия было относительно многоводным. В результате суммарного воздействия антропогенных и климатических факторов средний годовой сток реки Москвы возрос по сравнению с нормой почти в 1,8 раза и достиг $5,5 \text{ км}^3/\text{год}$. Из этой величины на долю климатических условий приходится 23%, а 77% – на долю антропогенных.

На рис. 12.3 представлены современные и ожидаемые в будущем водозабор, безвозвратный расход воды и изменение средне-

го годового стока в бассейнах Волги и Дона. Как видно, и в будущем для этих рек ожидается существенная роль антропогенных факторов в изменении их стока в сравнении с климатическими (Вопросы географии, 2018).

Если при оценке вклада антропогенных и климатических факторов в количественное изменение водных ресурсов в большинстве случаев приоритет следует отдать климатическим факторам, то при сопоставлении роли рассматриваемых факторов в отношении влияния на качество вод преобладающим в целом является влияние антропогенных. Практически в любые по водности годы и сезоны (а водность обусловлена в основном климатическими факторами) вода в реках остается пресной и пригодной для питья после сравнительно небольшой подготовки, например, кипячения. Попадание загрязняющих веществ, особенно токсичных, делает ее непригодной не только для питья, но и для других видов использования, если не применять весьма дорогостоящей очистки.



A2, RCP 8.5, B1, RCP 2.6 – сценарии глобального потепления климата; а – современная ситуация; б – наиболее благоприятный сценарий экономического развития и сохранения современного удельного водопотребления; в – умеренное экономическое развитие при снижении удельного водопотребления

Рисунок 12.3. Изменение среднегодового стока Волги и Дона при наиболее контрастных сценариях глобального потепления климата и современные и возможные в будущем на уровне 2025–2030 гг. водозабор и безвозвратный расход воды в их бассейнах (% от современного среднего многолетнего стока)

ВОДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

13.1. Основные водные проблемы

Под водными проблемами понимается несоответствие между состоянием водного элемента окружающей среды, водных ресурсов и требованиями к их количеству и качеству, предъявляемыми со стороны общества или отдельного человека. Все чаще приходится слышать, что человечеству грозит «водный голод». Причины возникновения водных проблем могут быть как природными, так и антропогенными, а также результатом совместного действия тех и других. В числе основных природных причин возникновения водных проблем и многоводье, ведущее к наводнениям, и маловодье, обуславливающее дефицит воды, особенно когда эти явления приобретают аномальный характер, а также неудовлетворительное природное качество воды. Среди антропогенных – чрезмерная антропогенная нагрузка на воды, ее загрязнение отходами хозяйственной деятельности. Во многом это следствие объективно необходимого развития общества, но лишь отчасти. В значительной мере это результат недостаточно продуманного, неэффективного, а подчас просто варварского отношения к природным, в том числе и водным, ресурсам. Прежде всего, вода используется неэкономно, велики ее непроизводительные потери. За счет несовершенства и частой неисправности водопроводных и канализационных устройств в одной квартире может теряться до 700 м³ воды в год.

По весьма осторожной оценке, потери воды в коммунальном секторе составляют во всем мире 20% водозабора. От 1/3 до половины воды из городских водопроводов расходуется на нужды промышленности, хотя производство в большинстве случаев может обходиться водой менее высокого качества. Более 50% всей воды, потребляемой промышленными предприятиями и теплоэлектростанциями, подается прямоточными системами водоснабжения. Слабо используются возможности оборотного водоснабжения, что не только увеличивает водозабор, но и объем сточных вод, способствуя загрязнению рек и водоемов.

Особенно велики непроизводительные затраты воды при орошении. На значительной части оросительных систем мира вода подается каналами с земляными стенками и дном. На фильтрацию, холостые сбросы и испарение из подводящей воду сети нередко расходуется свыше 60% водозабора. Фильтрующаяся и сбрасываемая вода вызывает подъем грунтовых вод и, как следствие, засоление и заболачивание орошаемых земель. До полей подчас доходит менее 40% воды, отбираемой из источников. Если же учесть испарение с поверхности почвы, то продуктивно (на транспирацию культурных растений) в таких системах используется лишь 20–25% водозабора. Учитывая, что в настоящее время действуют и более совершенные оросительные системы, можно считать, что до растений не доходит до 40–50% мирового водозабора на нужды орошаемого земледелия.

До последнего времени почти не учитывался водный фактор в хозяйственном строительстве. Нередко интенсивному освоению подвергался район, не обеспеченный в должной мере водными ресурсами. В результате местные водные ресурсы неумеренно эксплуатируются и создается угроза их истощения.

Созданию напряженного положения с водой способствует и несоблюдение принципа комплексности. При этом имеется в виду неполный учет как всех источников водных ресурсов, так и всех потребителей воды. Например, в водохозяйственных расчетах практически не учитываются ресурсы почвенной влаги и их изменение под влиянием неорошаемого земледелия.

В мировой практике немало случаев неправильного распределения водных ресурсов между отдельными отраслями хозяйства, способствующего созданию противоречий между гидроэнергетикой и рыбным хозяйством, промышленностью и сельским хозяйством, между районами, расположенными выше и ниже по течению реки, и т. д.

Нерациональное использование водных ресурсов в значительной мере порождено беспечным отношением к водным ресурсам, как к неисчерпаемому дару природы, который стоит очень дешево или за который вовсе не нужно платить. Наиболее распространены эти взгляды в тех районах земного шара, которые и сейчас располагают большими резервами неиспользуемой

воды, в том числе в России. У нас также вода во многих случаях расходуется нерационально. Велики ее непроизводительные потери, особенно в коммунальном секторе. Например, на одного жителя в Москве и Санкт-Петербурге расходуется воды в 2-3 раза больше, чем в большинстве крупнейших городов мира. Вместе с тем у нас выше доля оборотной воды в производственных циклах (она превышает 70%). Меньше, чем во многих странах традиционного орошения, потери воды в ирригации, поскольку у нас больше доля более экономного способа орошения (дождевания) по сравнению с такими странами, как Китай, Индия, странами Центральной Азии, где преобладает полив напуском воды на сельскохозяйственные поля.

Неэффективность использования водных ресурсов и мер по их охране особенно ярко проявляется на примере *загрязнения* рек и водоемов отходами хозяйственной деятельности. Уже давно сложилось мнение, что наилучший способ избавиться от жидких отходов хозяйственной деятельности – сбрасывать их в реки и водоемы с целью разбавления чистой водой до безопасной концентрации вредных веществ. Эта концепция в целом оправдывает себя до тех пор, пока самоочищающая способность природных вод велика по сравнению с объемом поступающих загрязнений. Но самоочищающая способность рек и водоемов имеет свой предел. А количество сточных вод стремительно растет. За счет появления новых производств изменился и состав сточных вод в сторону усиления загрязняющего действия содержащихся в них ингредиентов. Если до недавнего времени отходы были в основном органического происхождения, сравнительно легко поддающимися распаду, то сейчас все большую роль начинают играть весьма стойкие химические вещества: углеводороды, фенолы, соли различных металлов, цианиды, фтористые соединения и др., не говоря уже о радиоактивных элементах.

Один из самых опасных отравителей водных ресурсов – нашедшие широкое применение в быту моющие синтетические средства, так называемые детергенты. Свою лепту в загрязнение рек и водоемов вносят и другие отходы хозяйственной деятельности. К загрязнениям, вносимым сточными и коллекторно-дренажными водами, добавляется и вынос удобрений, ядохимика-

тов и других загрязняющих веществ с водосборных территорий. Во многих случаях сток с водосборов становится главной причиной загрязнения рек и водоемов. Природные воды все в большей мере оказываются не в состоянии самостоятельно справиться с поступающими загрязнениями.

Основной же метод борьбы с загрязнением, заключающийся в обезвреживании сточных вод на сооружениях искусственной очистки с последующим сбросом их в реки и водоемы, недостаточно эффективен. Применяющиеся сейчас способы очистки, как правило, не устраняют полностью всех загрязнителей. Например, пятисуточная биохимическая потребность кислорода (БПК₅), принимаемая в качестве показателя количества кислорода, необходимого для окисления органического вещества сточных вод, снижается после биологической очистки не на 100%, а только на 75–85%. По этой причине даже «очищенные» сточные воды загрязняют 5–10-кратный объем чистой воды. В действительности подвергаются очистке далеко не все сточные воды. Особую опасность для рек и водоемов представляют собой различного рода аварии, когда ни о какой очистке не приходится говорить.

Проблема загрязнения имеет и другую негативную сторону. Вместе со сточными водами, а также в результате аварий теряется огромное количество ценных веществ. По разным оценкам, только нефти морскими танкерами теряется ежегодно от 0,5 до 5 млн т.

Общие убытки от загрязнения природных вод в мире оцениваются во многие млрд долларов США. А как оценить ущерб, причиняемый там, где невозможно применить денежную оценку? Достаточно сказать, что, по данным ООН, от использования недоброкачественной воды в быту во всем мире ежегодно заболевает до 700 млн человек.

Опасность многоводья, наводнений рассматривалась в гл. 7. Если же сравнивать угрозу загрязнения вод и количественного дефицита воды, то первая из них для большинства районов мира представляется гораздо более опасной. Поясним это на следующих примерах. Выше уже отмечалось, что современный водозабор в мире на все нужды составляет почти 4,5 тыс. км³, из кото-

рых на безвозвратный расход приходится около 2,5 тыс. км³, то есть около 15, и более 5% мировых ресурсов речного стока соответственно. А вот образующиеся сточные и возвратные воды (примерно 2000 км³/год) загрязняют во много раз больший объем водных ресурсов. Их 20-кратное разбавление явно недостаточно, учитывая, что во многих районах оно многократно ниже. Прибавим сюда загрязненный сток с сельскохозяйственных полей и урбанизированных территорий, различного рода аварии.

Для России в целом большая угроза загрязнения по сравнению с угрозой количественного истощения водных ресурсов еще очевидней. Современный водозабор составляет менее 70 км³/год, причем безвозвратное изъятие воды – около 30 км³, что менее 2 и 1% общих ресурсов стока соответственно. А сточные и возвратные воды загрязняют несколько сот км³ чистой воды. В итоге в мире, в том числе и в России, почти не осталось крупных рек, свободных от загрязняющих веществ. Особенно это актуально для рек, в пределах которых имеются крупные городские агломерации, сбрасывающие огромное количество сточных вод. Оценка качества воды ряда крупных рек России по данным государственного мониторинга представлена в табл. 13.1. Как видно, почти все они в той или иной степени загрязнены.

А если река мала? Тогда она часто превращается в коллектор сточных вод. Загрязнение – главная составная часть **проблемы малых рек**. Но и воды, стекающие с сельскохозяйственных полей, загрязнены удобрениями и ядохимикатами. Еще более загрязнен ливневой и снеговой сток с территории городов. Все чаще происходят случаи загрязнения подземных вод, которые лучше защищены от попадания загрязняющих веществ, чем поверхностные. Ввиду относительно слабой антропогенной нагрузки на водные ресурсы в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке в России ситуация с качеством водных ресурсов выглядит в целом несколько лучше, чем во многих зарубежных странах, несмотря на хорошо известные примеры улучшения качества воды в последние десятилетия в бассейне Рейна в Европе, в Великих озерах (США) и ряде других регионов в результате осуществления комплекса дорогостоящих мероприятий по очистке сточных вод.

Таблица 13.1.

Характеристика качества воды основных рек России

Река	Качество воды
Восточный склон территории РФ	
Амур	От условно чистой до грязной
Реки Камчатки	От условно чистой до слабо загрязненной
Реки Сахалина	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Южный склон территории РФ	
Урал	От слабо загрязненной до загрязненной
Волга, в том числе притоки	От загрязненной до экстремально грязной
Ока	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Москва	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Терек	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Дон	От загрязненной до экстремально грязной
Кубань	От слабо загрязненной до грязной
Днепр	От слабо загрязненной до грязной
Западный склон территории РФ	
Нева	От слабо загрязненной до загрязненной
Северный склон территории РФ	
Северная Двина	От слабо загрязненной до грязной
Печора	От слабо загрязненной до грязной
Реки Кольского п-ва	От загрязненной до экстремально грязной
Обь	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Енисей	Загрязненная
Лена	От условно чистой до грязной

Но во многих районах нашей страны ситуация с качеством воды выглядит неудовлетворительной, в первую очередь в районах промышленных агломераций, добычи нефти и газа, например, в Западной Сибири. К счастью, остается относительно чистой большая часть Байкала, несмотря на имеющиеся в его бассейне источники загрязнения. Распад СССР и связанный с ним экономический кризис неоднозначно повлияли на качество вод. С одной стороны, закрылся ряд предприятий, интенсивно загрязняющих воду, другие уменьшили объем производства и сброс сточных вод. С другой, снизилась эффективность водоохраных мероприятий, возросла загрязняющая роль автомобильного транспорта, садовых кооперативов, часто расположенных вблизи гидрографической сети. Резко возросло число ава-

рийных ситуаций. В целом кардинальных изменений к лучшему в качестве водных ресурсов не произошло (рис. 13.1). Особенно остро ощущается загрязнение в маловодных районах. К таковым относятся южные равнинные районы России, в которых водообеспеченность нередко составляет менее 1,5 тыс. м³/год на одного человека – критерия, ниже которого Европейская комиссия ООН считает территорию не обеспеченной водой. Но в таких районах очень остро стоит и проблема количественной нехватки водных ресурсов, как, впрочем, и во многих

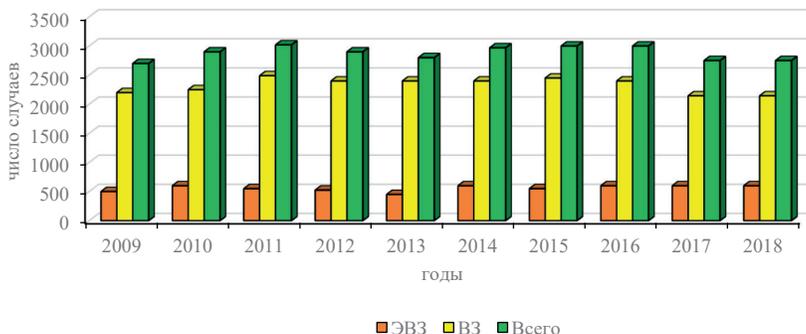


Рисунок 13.1. Число случаев экстремально высоких и высоких уровней загрязнения поверхностных и морских вод на территории России (Обзор..., 2019)

обжитых районах, неплохо обеспеченных водой, где ее не хватает из-за очень больших объемов водопотребления. Весьма напряжен водохозяйственный баланс в большинстве речных бассейнов с развитым орошаемым земледелием. В бассейнах Волги, Дона, Кубани, ряда других рек этому способствует необходимость поддержания экологических систем Каспия и Азовского, благополучие которых во многом зависит от размера притока чистых речных вод.

Много написано о проблемах озера Байкал, в первую очередь об угрозе его загрязнения. Подробно они, в частности, освещаются в книге Л.М. Корытного (2011).

Но есть регионы, где ситуация с водой еще более острая. Одной из самых ярких водных проблем катастрофического харак-

тера является проблема **Аральского моря и Приаралья**. Долгое время ситуация в этом регионе была довольно стабильной и не вызывала особого беспокойства, несмотря на расширение площади орошаемых земель. Дело в том, что новые орошаемые площади в основном появлялись вместо тугайных зарослей вдоль Амударьи и Сырдарьи – основных поставщиков воды в Аральское море (в совокупности примерно $110 \text{ км}^3/\text{год}$, из которых половина доходила до моря). Тугайные заросли испаряли очень много воды, и замена их орошаемыми полями, на которых выращивался в основном хлопок, не приносила ущерба речному стоку или даже могла увеличивать его. С середины 1950-х гг. площадь орошаемых земель стала быстро нарастать за счет в основном предгорных, удаленных от рек равнин, откуда вода уже не возвращалась в реки или возвращалась в небольшом количестве. Значительный вклад в уменьшение стока Амударьи внес Каракумский канал, введенный в строй в 1959 г. и отбирающий из реки свыше $10 \text{ км}^3/\text{год}$. Причем потери воды из необлицованного канала были весьма велики, так же, как и на орошаемых землях. В результате к середине 1970-х гг. приток воды в Арал резко снизился и в дальнейшем приток речных вод в море составлял всего несколько $\text{км}^3/\text{год}$.

Вследствие потери основной приходной части водного баланса уровень Арала стал быстро снижаться – с 53,3 м абс. в 1960 г. до 39 м в 1990 г. Площадь моря за эти годы уменьшилась с 67,9 тыс. км^2 до 38 тыс. км^2 , а объем воды – с 1090 км^3 до 300 км^3 . По существу, произошло расчленение моря на несколько водоемов. В многоводные 1992–1994 гг. негативные процессы замедлились, но не прекратились, а в дальнейшем они еще ускорились. При этом к 2003 г. площадь Арала сократилась до 19,37 тыс. км^2 , то есть на 2/3 по сравнению с 1960 г. Чтобы поддержать существование Малого Арала, в устье Сырдарьи была построена плотина, отделившая Малое море от остальных частей Арала, которые продолжали быстро мелеть. В 2009 г. общая площадь Арала составила всего 10,4 тыс. км^2 , а его Западную и Восточную части соединяет лишь узкий пролив. Современные очертания Аральского моря не имеют ничего общего с тем, что еще недавно отображалось на географических картах. Но этим

беды моря не ограничились. Соленость воды возросла почти в шесть раз. Рыбное стадо, в котором значительную долю составляли такие ценные виды, как осетровые, практически погибло. Население, занимавшееся рыболовством, осталось без работы. В связи с тем, что море резко обмелело, а берега отступили от прежних границ порой на десятки км, прекратилось судоходство, и остовы судов до сих пор можно обнаружить в пустыне, в которую превратилось обсохшее дно моря, на большом удалении от сохранившейся акватории (рис. 13.2). Периодически на осушившемся дне моря возникают пылесолевые бури, выносящие соли на соседние территории.



Рисунок 13.2. Корабли пустыни

В Каспийском регионе ситуация несколько иная. Долгое время озабоченность вызывало падение уровня моря (в 1977 г. до отметки – 29,04 м абс.), что создавало угрозу для уникального стада осетровых, местом нагула которых была мелководная северная часть моря. Падение уровня Каспия стало одной из главных причин возникновения проекта переброски части стока северных рек в бассейн Волги (главного притока Каспия), дающего около 80% общего речного стока в море. Однако с 1977 г. падение уровня моря сменилось его подъемом. К 1995 г. уровень

поднялся почти на 2,4 м, затем опять несколько снизился и начал колебаться около отметки -27 м абс.

Длительное падение уровня Каспийского моря привело к тому, что население и хозяйство стали приспосабливаться к низким отметкам стояния уровня моря и осваивать прибрежные территории. Например, в районе Махачкалы на берегу моря началось создание курортной зоны общесоюзного значения, для этого на самом берегу был возведен ряд соответствующих сооружений. Все это стало затопляться с повышением уровня моря. Подъему уровня моря способствовало и отчленение в 1980 г. залива Кара-Богаз-Гол, в который поступала вода из Каспия и интенсивно здесь испарялась. Прекращение поступления воды в этот залив привело к его быстрому усыханию, что крайне негативно сказалось на состоянии уникального, самого крупного в мире месторождения мирабилита. В 1984 г. было построено водопропускное сооружение с подачей в залив около 2 км³ воды в год, а в 1992 г. это сооружение было разрушено и восстановился естественный приток воды из Каспия. При повышенном уровне моря и пониженном Кара-Богаз-Гола переток воды в залив приобрел облик довольно мощной реки с расходом, по некоторым данным, примерно равным среднему расходу такой реки, как Дон. В целом население и хозяйство оказались недостаточно готовыми к быстрому подъему уровня Каспия. Можно отметить лишь один положительный момент – создались более благоприятные условия для рыбного стада. Однако они были сведены на нет беспрецедентным развитием браконьерского лова рыбы и быстро нарастающим нефтяным загрязнением моря, особенно в связи с открытием новых крупных месторождений нефти в этом регионе. В результате общий улов осетровых в Каспийском бассейне с максимальных (в основном как следствие мероприятий по рыборазведению и упорядочению лова) 26,6 тыс. т в 1980 г. упал в несколько раз. По существу, уникальное стадо осетровых находится на краю гибели.

13.2. Пути решения общих водных проблем

Прежде всего, **необходимо изменить само отношение к воде**, как общества в целом, так и каждого человека. На смену не

редко имеющим место потребительским взглядам должен прийти ресурсно-экологический подход. Природные воды необходимо рассматривать как один из самых ценных ресурсов и элементов окружающей среды, запасы которых ограничены во многих районах земного шара, и потому требующих самого бережного отношения и охраны от нерационального использования.

Первые сдвиги в этом направлении налицо и прежде всего в **организационно-правовом** отношении. Ежегодно 22 марта во многих странах мира отмечается **Всемирный день водных ресурсов, или Всемирный день воды** (World Day of Water). Этот день был установлен 22 февраля 1993 г. по решению Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций (резолюция 47/193 от 22 февраля 1993 г.).

Идея проведения Всемирного дня водных ресурсов впервые прозвучала на Конференции ООН по охране окружающей среды и развитию (ЮНСЕД), которая состоялась 3–14 июня 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Государства были призваны посвятить День водных ресурсов осуществлению рекомендаций ООН и проведению конкретных действий на национальном уровне. Всемирный день воды призван привлечь внимание общественности к состоянию водных объектов и проблемам, связанным с их восстановлением и охраной; задуматься о роли воды в жизни каждого человека на Земле; привлечь внимание к проблемам нехватки питьевой воды, необходимости сохранения и рационального использования водных ресурсов, принимать необходимые меры для решения проблемы снабжения населения питьевой водой; информировать общественность о важности охраны и сохранения ресурсов пресной воды и водных ресурсов в целом; привлечь к празднованию Всемирного дня водных ресурсов как можно большее количество стран, причем на официальном уровне.

В соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН, государствам предложено проводить в этот день мероприятия, посвященные сохранению и освоению водных ресурсов. Такие мероприятия на национальном уровне могут включать в себя различные образовательные программы в средствах массовой информации, образовательные программы для школьников и мо-

лодежи, создание и распространение документальных фильмов о проблемах и охране водных ресурсов, организацию конференций, круглых столов, семинаров и выставок, посвященных проблеме сохранения и развития водных ресурсов. К проведению Всемирного дня воды привлекаются не только правительства разных государств, но и международные агентства, неправительственные организации, общественные организации, учреждения образования и культуры, частный сектор.

Ежегодно одно из учреждений ООН назначается координатором мероприятий Всемирного дня водных ресурсов и отвечает за продвижение новой темы под руководством Административного комитета по координации. По замыслу ООН, каждый год День воды должен быть посвящен одной конкретной теме. Например, в 1994 г. Всемирный день воды проходил под девизом «Забота о наших водных ресурсах является делом каждого», в 2000 г. – «Водные ресурсы для XXI века», в 2001 г. – «Вода и здоровье», в 2011 г. – «Вода для городов: отвечая на вызовы урбанизации».

Во многих странах действуют *законы о воде* (в нашей стране – «Водный кодекс Российской Федерации»), осуществлен комплекс мер по улучшению водообеспечения населения и хозяйства, по экономии воды, по снижению опасности от наводнений и борьбе с загрязнением рек и водоемов. Важное место среди них занимают **экономические меры**, стимулирующие рациональное, экологически безопасное воздействие на водные ресурсы. В их числе – разумная плата за использование водных ресурсов. Особо следует выделить экономические мероприятия, направленные на снижение ущерба от негативных гидрологических явлений. Среди них страхование на случай этих явлений – широко распространенное за рубежом и не получившее пока должного развития в нашей стране.

Среди **технических мер** по управлению водным режимом рек это, прежде всего, традиционный путь борьбы с наводнениями и одновременное увеличение ресурсов устойчивого стока – создание водохранилищ. При этом вырабатывается электроэнергия на ГЭС и решаются другие вопросы (обеспечения водоснабжения, судоходства, водной рекреации). Отметим, что электроэнергия, полученная на ГЭС, особенно ценна, поскольку

ку позволяет обеспечивать «пиковые нагрузки» (резкое увеличение потребности в электроэнергии), чего не могут сделать тепловые и атомные электростанции. Выше отмечалось, что создание водохранилищ приводит к дополнительным потерям воды на испарение. К этому следует добавить и затопление больших площадей, переселение во многих случаях большого числа людей, ущерб, наносимый рыбному хозяйству. Негативные последствия создания ГЭС, особенно связанные с затоплением земель, заставляют во многом пересматривать концепцию гидростроительства, ориентировать ее, в первую очередь, на создание новых крупных гидроузлов в горных и малозаселенных районах. На современном этапе вряд ли было бы осуществлено строительство Волжско-Камского каскада. Но и спуск одного (чаще всего называется Рыбинское водохранилище) или нескольких существующих водохранилищ каскада тоже нецелесообразен, поскольку все современное хозяйство приспособлено к существующим искусственным водоемам, а использование осушившегося дна, занятого илом, песком и другими отложениями, часто весьма токсичными, потребовало бы огромных затрат. В то же время акцентируется внимание на малые искусственные водоемы и ГЭС, не связанные со сколько-нибудь существенным затоплением земель.

Говоря о таких экстремальных явлениях, как наводнения, нельзя не сказать, что ущерб от них может быть многократно снижен при их заблаговременном прогнозировании и предупреждении населения.

К сожалению, пока недостаточное внимание уделяется агротехническим и агролесомелиоративным мерам организации территории, то есть такому чередованию лесных и безлесных территорий, которое могло бы наиболее эффективно регулировать сток на водосборах. Агротехнические и агролесомелиоративные мероприятия позволяют, как уже отмечалось, снизить дефицит почвенной влаги, хотя порой и уменьшают водообеспеченность отраслей водного хозяйства, ориентированных на водозабор из рек и водоемов. Особые надежды связаны с совершенствованием мероприятий по подавлению непродуктивного (с поверхности почвы) испарения, таких как различные способы мульчирования

почвы, и тем самым увеличению ресурсов почвенной влаги, расходуемых на транспирацию. В любом случае важно согласовывать планы развития мероприятий по регулированию водного баланса на водосборах с планами по использованию водных ресурсов традиционных отраслей водного хозяйства.

В числе наиболее радикальных способов водообеспечения – *переброска части стока* из одних районов в другие. Один из наиболее удачных примеров переброски стока – канал имени Москвы, во многом решающий водные проблемы нашей столицы за счет водных ресурсов Верхней Волги. Конечно, крупные проекты территориального перераспределения водных ресурсов, как НАВАПА в Северной Америке, проекты подачи части стока северных и сибирских рек на юг в нашей стране, вряд ли осуществятся в близкой перспективе, но переброски более скромных объемов воды и на относительно небольшие расстояния – дело вполне реальное и, как показывает табл. 13.2, вполне сопоставимое по цене с рядом других мероприятий по получению дополнительных водных ресурсов, например, с реконструкцией оросительных систем.

Сравнительно недорого стоят мероприятия по *использованию воды горных ледников*, например, в результате зачернения их поверхности и усиления за счет этого таяния и увеличения ледникового питания рек. Но ресурсы воды в горных ледниках, особенно на территории России, ограничены, и это может оставить в будущем без воды реки, питающиеся из ледников, тем более что на современном этапе ледники на большей части горных районов мира отступают, их площадь и запасы сосредоточенной в них воды снижаются.

Экзотичным кажется использование в качестве поставщиков пресной воды *айсбергов*, особенно антарктических, в результате транспортировки их в аридные районы мира, хотя по стоимости такое мероприятие не является чем-то сверхъестественно дорогим. В техническом отношении одна из проблем заключается в том, что большая часть айсберга, как известно, находится под водой и для его доставки к месту назначения потребуются большие глубины у берегов аридных районов, чего в большинстве случаев нет.

Таблица 13.2.

Капитальные затраты для получения дополнительных водных ресурсов или экономии 1 км³ пресной воды (Водные..., 2008)

Мероприятия	Капитальные затраты, млн долл. на 1 км ³ воды
Регулирование речного стока водохранилищами	50–80
Использование ледников горных районов	50–100
Опреснение соленых и солоноватых вод	600–1800
Территориальное перераспределение речного стока	100–800
Использование антарктических айсбергов	500–700
Современные технологии в промышленности и очистка промышленных сточных вод	200–1000
Реконструкция оросительных систем и технологии полива	700–900

Другая радикальная мера, хотя и менее экзотичная, – *опреснение морских и засоленных вод суши*. Однако это пока в большинстве случаев очень дорогое мероприятие, и его роль в мировом водообеспечении исчисляется в настоящее время менее чем в 1%. Причем значительная часть опреснительных установок размещается в арабских странах, богатых нефтью и располагающих большими денежными ресурсами.

В таблицу не включены мероприятия по *искусственному вызыванию осадков*, которые заключаются в рассеивании в облаках различных веществ, служащих ядрами конденсации. Эти мероприятия вполне реальны, но основная сложность заключается в том, что дополнительные осадки получаются в основном в периоды, когда и так идут дожди, а не тогда, когда это особенно нужно.

Одним из основных направлений в обеспечении населения и хозяйства водой, наряду с гидротехническими мероприятиями, все же остается *экономия воды, внедрение прогрессивных маловодных и даже безводных технологий производства*. К тому же уменьшение используемой воды вносит свой вклад и в решение проблемы охраны вод от загрязнения, снижая количество сточных и возвратных вод.

В экономии воды таятся огромные возможности. Если устранить излишества в расходовании водных ресурсов только при

орошении, то это позволило бы снизить мировой водозабор по крайней мере на $\frac{1}{4}$. Облицовка оросительных каналов, использование переносных трубопроводов, дождевание позволяют довести коэффициент полезного действия современных оросительных систем до 0,9, то есть повысить его почти в 2-3 раза по сравнению с оросительными системами с земляными каналами и поливом по бороздам. На 20–30% может быть уменьшена норма орошения в результате создания на сельскохозяйственных полях защитных лесных полос. Еще более впечатляющих результатов можно добиться при внедрении внутрпочвенного и капельного орошения, но это пока весьма дорого и такое орошение применяется на сравнительно небольших площадях, в основном в Израиле и ряде арабских стран, но уже начало применяться и в нашей стране, например, в Астраханской области.

В коммунальном хозяйстве и промышленности существенная экономия воды может быть достигнута за счет своевременного ремонта и усовершенствования санитарно-гигиенического оборудования, устранения утечек из водопроводной сети.

Определенные резервы экономии пресных вод заключены и в возможности перехода промышленности и теплоэнергетики в приморских и засушливых районах на охлаждение теплообменников морской и засоленной водой. В России их водозабор составляет около 6 км³/год.

Одно из наиболее известных средств достижения экономии воды – перевод промышленных предприятий и теплоэлектростанций на *оборотное водоснабжение*. Организация оборотных циклов с неоднократным использованием воды уменьшает водозабор и объем сточных вод в десятки раз по сравнению с прямой системой водоснабжения. В этом наша страна занимает одно из ведущих положений в мире.

Конечно, повторное использование отработанной воды связано с дополнительными затратами в основном на ее очистку. В среднем они в 1,5–2 раза превышают затраты при прямоточном водоснабжении. Но и выгоды очевидны как с общегосударственной точки зрения, так и для самих предприятий. Снижаются затраты на водозабор, обработку воды (так как водные ресурсы становятся чище) и канализацию. Если при прямоточной систе-

ме водоснабжения предприятия не заинтересованы в очистке сточных вод, то при оборотном водоснабжении такая заинтересованность диктуется технологией производства. Как следствие лучшего качества очистки отработанных вод – более полное извлечение ценных веществ, содержащихся в отходах производства. Упрощается и сам процесс очистки сточных вод. При прямой системе водоснабжения основная нагрузка ложится на общегородские очистные сооружения, которым приходится очищать огромные массы сточных вод, имеющих весьма пестрый состав ингредиентов. Совсем другое дело обезвреживать воду в пределах самого предприятия или их группы, когда объем сточных вод сравнительно невелик, а состав загрязняющих веществ хорошо известен.

По этой же причине целесообразно устанавливать *раздельную канализацию* для промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, а также для ливневого (снегового) стока и поливомоечных вод с территории населенных пунктов.

Весьма перспективно *кооперирование водоснабжения* группы предприятий. В этом случае отработанная вода, которая не может быть вновь использована на одном из них, передается соседним, где производство позволяет вновь включить ее в технологический процесс. В свою очередь, данный завод или фабрика получают для использования сточные воды с соседних предприятий. Характерный пример – кооперирование щелочного и кислотного производств, что позволяет нейтрализовать сточные воды.

Совершенно новые перспективы открываются в связи с развитием науки и техники в области создания *безводных технологических процессов*. Для ряда производств уже сейчас разработаны принципиальные схемы воздушного охлаждения. О значении этого факта можно судить хотя бы по тому, что на охлаждение в промышленности расходуется более 80% всей используемой воды. Дальше всего подобные исследования продвинулись в теплоэнергетике и в нефтеперерабатывающей промышленности.

Не меньший эффект могут дать и иные перестройки технологического процесса, например, замена производства, дающего особенно опасные ингредиенты в состав сточных вод, другим,

с менее вредными отходами или хотя бы с меньшим их объемом. В этом плане поучителен пример из несколько иной области. Замена молевого сплава леса лесосплавом в плотках позволила не только резко снизить загрязнение многих рек нашей страны, но и уменьшить потери древесины.

Наконец, решением водных проблем может быть и *изменение географии производства*, в некотором роде возвращение к начальному периоду развития человеческой цивилизации. Особенно это актуально для нового строительства – размещать водоемкие производства в районах, хорошо обеспеченных водными ресурсами, и снижать тем самым антропогенную нагрузку на те районы, в которых воды не хватает.

Выше шла речь о мерах по решению водных проблем в основном в количественном аспекте, хотя попутно затрагивались и вопросы качества вод, поскольку они тесно связаны. Остановимся на *борьбе с загрязнением рек и водоемов* несколько подробнее. Подавляющее число людей на вопрос о том, как бороться с загрязнением природных вод, ответят: очищать. Действительно, очистка сточных вод остается основным методом борьбы с загрязнением рек и водоемов. Но, как уже говорилось, несмотря на прогресс в очистке, загрязнение природных вод остается, а во многих районах мира нарастает, поскольку объем сточных вод и других отходов хозяйственной деятельности увеличивается, появляются новые загрязнители, а мероприятия по очистке обычно отстают от нарастающего вала загрязнений. Представляется наиболее перспективным в борьбе с загрязнением водных объектов *профилактическое направление*, предусматривающее непопадание даже очищенных сточных вод в реки и водоемы.

Наиболее радикальное средство предотвращения загрязнения природных вод промышленными сточными водами, помимо замены воды в технологических циклах, – устройство *замкнутых циклов водоснабжения*. Если при оборотной системе без замкнутого цикла часть отработанных вод все же сбрасывается в реки и водоемы, то в результате его внедрения отсутствует сброс сточных вод за пределы предприятия. Из источников отбирается ровно столько воды, сколько ее расходуется безвозвратно в про-

цессе производства. Основную сложность при этом представляет очистка 10–15% наиболее загрязненной части сточных вод. Помимо обычных, хорошо известных методов очистки, для их обезвреживания необходимо привлекать самые совершенные, включая и методы, предназначенные для опреснения морских вод (электролиз, ионно-обменные смолы, дистилляция и др.). Теоретически разница между опреснением естественно засоленных вод и очисткой сточных вод невелика – и в том и другом случае мы имеем дело с растворами солей, правда, отличающимися по составу и концентрации. Преимущество же обессоливания сточных вод перед опреснением морской воды заключается в том, что оно помогает предотвратить главную опасность – угрозу качественного истощения водных ресурсов, причем проблема воды решается на местах, в районах сосредоточения населения и промышленности.

Очищать все особо загрязненные сточные воды, по-видимому, нет смысла. Часть их целесообразно уничтожать путем естественного или искусственного выпаривания. Стоимость такой операции и объем безвозвратно теряемой воды могут быть снижены в несколько раз, если она будет сопровождаться выработкой пара в хозяйственно-бытовых целях. Загрязненные сточные воды можно закачивать в глубокие, практически изолированные подземные горизонты, в полости, образовавшиеся при разведке и добыче нефти и газа.

В настоящее время во всем мире действует немало цехов и предприятий, полностью переведенных на замкнутый цикл водоснабжения. Многие из них успешно работают и с экономической точки зрения.

Еще одна мера, радикально отличающаяся от традиционных методов очистки и позволяющая сохранить чистоту рек и водоемов, – использование хозяйственно-бытовых и частично промышленных сточных вод на *земледельческих полях орошения* (ЗПО). Почвенная очистка – из числа самых совершенных. Установлено, что слой почвы 0,5 м при свободном доступе воздуха задерживает почти 100% всей бактериальной флоры.

Если подавать сточные воды на поля небольшими дозами (0,5–7,0 тыс. м³/га в зависимости от климатических условий,

состава почвы, уровня грунтовых вод), то практически полностью исключается возможность попадания вредных ингредиентов в природные воды. В этом заключается одно из основных отличий ЗПО от полей фильтрации, где порой дается нагрузка в десятки тысяч кубических метров сточных вод на каждый гектар. Второе принципиальное отличие – очистка сточных вод на ЗПО сопровождается орошением и удобрением сельскохозяйственных земель.

Хорошо известно, что даже в районах, относимых к достаточно увлажненным, бывают засушливые периоды, отрицательно сказывающиеся на продуктивности культурных растений, не говоря уже о районах неустойчивого и недостаточного увлажнения. Расчеты показывают, что, например, на широте Москвы растениям для полного использования солнечной радиации не хватает, по меньшей мере, 500 м³ воды/га.

Вместе со сточными водами на поля поступает такое количество питательных веществ, которое равноценно внесению на 1 га 1,5–2 т минеральных удобрений или 40–50 т навоза. Неудивительно, что урожай на ЗПО в 2–4 раза выше, чем на неорошаемых полях, и все затраты окупаются через 4–5 лет. Для орошения можно использовать не только поля, но и луга, пастбища, леса. Но, конечно, при этом должны быть приняты и эффективные меры эпидемиологической защиты.

Часть коммунальных сточных вод после очистки может повторно использоваться в промышленности и теплоэнергетике.

Особую актуальность приобретает решение межгосударственных водных проблем, в частности при трансграничном водообмене.

Нужно сказать, что основные принципиальные пути решения проблем трансграничного водообмена разработаны уже давно. Например, ряд принципов деления воды был сформулирован еще во времена царя Навуходоносора. Если говорить о современном межгосударственном трансграничном водообмене, то наибольшее значение в его регулировании, как следует из анализа международных документов, по нашему мнению, имели следующие:

- 1) Хельсинские правила использования вод международных рек (1966 г.);

- 2) Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, разработанная Европейской экономической комиссией ООН (1992 г.);
- 3) Соглашение об основных принципах взаимодействия в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов государств-участников СНГ (1998 г.).

В этих документах провозглашен бассейновый подход к решению трансграничных гидрологических проблем. Очень важно, что они исходят из принципа максимального учета интересов стран, расположенных в бассейнах трансграничных рек. Важной составной частью его является положение о возмещении ущерба, наносимого в результате нерационального водопользования, нашедшее отражение в формулировке «загрязнитель платит».

В настоящее время во всем мире действует немало бассейновых соглашений между отдельными странами, в которых реализуются идеи указанных выше и других международных договоренностей. В частности, Россия имеет такие соглашения с Финляндией, Эстонией, Белоруссией, Украиной, Азербайджаном, Казахстаном, Китаем. Среди рек, по которым заключены соглашения, – Днепр, Северский Донец, Амур.

Вместе с тем в практической деятельности остается немало недостаточно решенных вопросов. Среди них: учет трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ, организация и осуществление действительно комплексного мониторинга за состоянием водных ресурсов не только в русловой сети, но и на территории водосборов, рассредоточенного (диффузного) стока. Много неясного остается в расчете современного и особенно ожидаемого водного баланса трансграничных речных бассейнов и прогнозируемых антропогенных воздействий на водные ресурсы, расчете современного и ожидаемого вещественного баланса трансграничных речных бассейнов и оценке на единой методической основе качественного состава вод, в составлении комплексных схем рационального использования и охраны водных и связанных с ними земельных и других природных ресурсов.

Несколько слов об упомянутых выше проблемах Арала и Каспия. **Арал** в первоизданном виде восстановить уже не удастся. Но есть несколько проектов по сохранению и восстановлению

отдельных его частей с помощью простых гидротехнических сооружений, упорядочения использования воды в орошении и снижения непроизводительных потерь ее, а также обеспечения минимально необходимого в экологическом отношении притока воды к сохраняемым частям Арала. Уже удалось сохранить Малый Арал в устье Сырдарьи. В 2005 г. в проливе, соединяющем Большой и Малый Арал, была сооружена бетонная плотина с водосливом, которая позволяет регулировать уровень воды. В результате уровень Малого Арала установился на отметке 40–42 м абс., его площадь составила 2,8–3,2 тыс. км², а объем – 20–27 км³. Было сохранено его рыбохозяйственное значение. Наиболее же реальное решение проблемы питьевого водоснабжения населения – опреснение имеющихся больших резервов засоленных вод, а также устройство водоводов, подающих сравнительно небольшие объемы пресной воды из ее источников, что вполне возможно даже на большие расстояния.

Проблемы **Каспийского региона** должны решаться на основе международного сотрудничества всех стран этого региона, особенно в области предотвращения нефтяного загрязнения вод Каспия, упорядочения ловли рыбы, в первую очередь осетровых, а также в разработке комплекса мер по адаптации хозяйства к установившемуся уровню моря и возможному его изменению в будущем.

Таков далеко не полный перечень мер, позволяющих сохранить водные ресурсы в процессе их использования. Наряду с соблюдением этого основного направления в охране природных вод целесообразно исключить из сферы хозяйственной деятельности ряд рек и водоемов, уникальных по своим природным особенностям и имеющих большое значение для научных исследований, а также для туризма и отдыха населения.

Таким образом, водные проблемы весьма остро проявляются на значительной части мира и России уже в настоящее время, еще более актуальными они могут стать в будущем. Но имеются реальные возможности их решения или хотя бы ослабления их последствий. И, конечно, успех решения рассмотренных основных водных проблем во многом зависит от квалификации занимающихся ими специалистов. Отсюда высокая актуальность их подготовки.

13.3. Индивидуальные способы решения водных проблем

А что делать человеку, когда ему приходится индивидуально сталкиваться с водными проблемами?

Какую воду мы пьем и что делать для улучшения ее качества в быту

Как видно из изложенного выше, большая часть поверхностных вод загрязнена. Загрязнение во все большей мере распространяется и на подземные воды. Естественно, что подаваемая населению вода из централизованных систем водоснабжения (а ими охвачено практически все городское население и более половины сельского в нашей стране) очищается. Однако качество дошедшей до потребителя воды остается в большинстве случаев неудовлетворительным. Причин такого положения дел несколько:

1. Высокая степень загрязнения источников воды из-за сброса в водные объекты большого количества недостаточно очищенных или вообще не очищенных сточных вод, смыва загрязняющих веществ с полей, с территории населенных пунктов, а также поступления загрязнений из атмосферы.
2. Несовершенство применяемых технологий очистки. Наиболее распространенный метод обеззараживания воды – **хлорирование**, эффективно воздействуя на паразитологические, бактериологические и ряд других показателей, способствует тому, что целый ряд органических соединений вступает в реакцию с хлором, образуя различные хлорорганические соединения, обладающие токсичным действием и остающиеся в питьевой воде. Их воздействие может приводить к мутагенным изменениям, онкологическим заболеваниям. Гораздо более приемлемо с позиций воздействия на здоровье людей **озонирование воды**. Однако и при озонировании наличие в природной воде гуминовых кислот приводит к образованию хлороформа, а деструкция органических кислот приводит к образованию фенола. К тому же конструкция большей части наших водопроводных сетей, подверженных коррозии, не позволяет транспортировать воду без предварительного ее деозонирования и консервирования опять-таки хлором, что необходимо для предотвращения вторичного загрязнения воды.

В практике водоподготовки для осаждения взвесей в качестве коагулятора в основном используется сульфат алюминия, который в свою очередь может служить источником загрязнения питьевой воды этим металлом. Используемое фильтрационное оборудование, в основном в виде керамзито-песчаных фильтров, также не позволяет выделять из воды большинство растворимых солей.

3. Неудовлетворительное состояние водопроводных сетей. Большинство водопроводов состоит из стальных труб, сильно подверженных коррозии, что ведет к загрязнению питьевой воды железом. Внутренние поверхности труб, не имеющие защитного покрытия, обрастают различными отложениями, способствующими вторичному загрязнению воды.

Конечно, и у нас в стране и за рубежом имеются перспективные разработки в области улучшения качества питьевой воды. Так, в качестве альтернативы хлору помимо озона все шире, особенно за рубежом, применяется диоксид хлора, практически не образующий токсичных хлорорганических соединений. Разработаны технологии совместного использования озонирования и сорбции на активных углях, озонирования и ультрафиолетового облучения, использования в качестве сорбентов природных цеолитов – алюмосиликатов кристаллической структуры, применение мембранных методов очистки воды (обратный осмос и нано-фильтрация), позволяющих удалять загрязняющие вещества на ионном уровне.

Значительные возможности предотвращения коррозии водопроводных систем открываются применением полимерных антикоррозийных материалов, нанесением на внутреннюю поверхность труб цементного покрытия.

Пока эти новации не дошли до большинства водопроводных сетей, наиболее реальным решением проблемы качества питьевой воды являются **бытовые фильтры**. Согласно С. И. Шапоренко (1997), принципиальная схема работы любого фильтра представляет собой комбинацию электрохимического, сорбционного, ионообменного и мембранного методов очистки воды.

Электрохимический способ обеспечивает осветление и обеззараживание воды как под воздействием непосредственно

электрохимических процессов, так и посредством синтеза «короткоживущих» активных реагентов – озона и хлора. Электрохимические методы позволяют переводить содержащиеся в воде токсичные ионы и коллоиды тяжелых металлов в инертную форму. Более эффективная очистка воды достигается применением данных методов в сочетании с микро- и ультрафильтрацией через мембраны в электродиализных установках. Такие фильтры позволяют опреснять даже слабоминерализованные воды.

На рынке бытовых фильтров появляется много новых водоочистных и обеззараживающих установок, в устройстве которых используются электрохимические методы. С ними конкурируют по цене и эффективности очистки приборы, использующие электроэнергию для синтеза озона из воздуха, а также ультрафиолетовые облучатели, которыми обрабатывается очищаемая вода. Эти способы очистки могут также использоваться в сочетании с другими методами.

В современных фильтрах широко применяются углеродные сорбенты, которые подразделяются на гранулированные и более эффективные – волокнистые. Пористая поверхность таких сорбентов позволяет активным атомам углерода связывать большое число соединений, прежде всего органических. Кислотные соединения придают углеродным сорбентам ионообменные свойства, которые способствуют поглощению тяжелых металлов и радионуклидов. Если покрыть такие сорбенты слоем серебра или другого биоцида, то они приобретут способность уничтожать вредную микрофлору. Чаще всего в бытовых фильтрах в качестве углеродных сорбентов используют активированные древесные угли.

В некоторых случаях в качестве сорбента применяются природные минералы – цеолиты. В бытовых фильтрах используется как их адсорбционная способность, так и способность входящих в их состав солей обмениваться ионами с солями, растворенными в воде. При этом поступающие из минералов ионы придают воде приятный вкус.

Широко применяются и искусственные ионообменные смолы или волокна, которые по своей селективной способности поглощать определенные ионы делятся на два больших класса – катионообменные и анионообменные. Преимущества волокни-

стых ионитов – в высокой, по сравнению с гранулированными ионитами, скорости фильтрации и в большей обменной емкости, в степени очистки, достигающей до 99–99,5%. Ионообменные материалы способны вводить в воду йод, играющий дезинфицирующую (в некоторых районах и лечебно-профилактическую) роль, а также обогащать воду фтором, недостаток которого приводит к развитию кариеса зубов. Избытки йода и фтора могут успешно удаляться углеродным сорбентом. Таким образом, специальные загрузки фильтров и их комбинации обеспечивают оптимальное содержание этих ионов в питьевой воде.

Мембранные технологии основаны на способности различных мембран пропускать молекулы воды и задерживать более крупные молекулы растворенных в ней веществ, коллоиды, взвешенные примеси и микроорганизмы. По своим фильтрационным способностям мембранные материалы в порядке убывания размеров пор подразделяются на микро-, ультра- и нанофильтрационные. Наиболее тонкая очистка воды достигается с использованием обратноосмотической мембранной технологии, позволяющей получать высококачественную питьевую воду даже из соленой морской воды.

В первую очередь желательно знать качество используемой воды, так как разные модели фильтров, как правило, рассчитаны на определенные загрязнители. Чем универсальнее и эффективнее фильтр, тем он дороже. Если вы ничего не знаете о качестве своей воды в кране или знаете только, что она неважная, следует в первую очередь обратить внимание на способность фильтра удалять остаточный свободный хлор и его токсичные органические соединения. Если вы берете воду из децентрализованного источника (например, из колодца), то стоит приобретать фильтр, в оснастке которого предусмотрено бактериологическое обеззараживание.

Показатели производительности и ресурса фильтров в большой степени зависят от качества очищаемой воды. В очень грязной воде эффективность работы фильтров будет меньше той, которая указана в технических документах.

Все фильтры можно сгруппировать по особенностям эксплуатации. В первую группу входят простые насадки, которые под-

соединяются к водопроводному крану или в каком-либо месте к водопроводной сети. Они отфильтровывают всю поступающую на них воду, задерживая загрязняющие вещества, и рассчитаны на определенное давление воды в водопроводной сети. От давления зависит скорость фильтрации и, следовательно, объем обработанной воды. При увеличении скорости фильтрации ухудшается качество воды. Поэтому пользователь должен бороться с искушением посылнее приоткрыть кран, чтобы быстрее наполнить емкость, и измерять объем профильтрованной воды, чтобы вовремя поменять отработавший свой ресурс картридж.

Гораздо спокойнее могут себя чувствовать обладатели водочистителей, принцип работы которых основан на электрохимической обработке или озонировании. Их ресурс значительно больше и особенно велик у тех, в конструкции которых фильтровальный картридж вообще не предусмотрен.

Ко второй группе относятся аппараты, в которых используются мембранные технологии. Они также подключаются к водопроводной сети и рассчитаны на определенное рабочее давление в ней, но, в отличие от фильтров первой группы, они очищают не всю подающуюся на них воду, а лишь часть ее. Постоянное удаление загрязнителей и сами возможности мембранных технологий создают преимущества по качеству очистки воды и ресурсу службы оснасток по сравнению со многими фильтрами первой группы. Однако КПД использования воды (отношение количества получаемой чистой воды к количеству поступающей) у дешевых отечественных фильтров очень низок. Таким образом они оказываются растратчиками водопроводной воды, сбрасывая ее в канализацию. Правда, при отсутствии водопроводных счетчиков в квартирах это мало кого волнует.

Третью группу составляют фильтры наливного или кувшинного типа и емкостные электрические обеззараживатели. Удобство их в том, что с ними вы не привязаны к водопроводному крану. Несомненный недостаток – относительно небольшой ресурс фильтровальных картриджей – частично компенсируется тем, что они сами сигнализируют о его исчерпании, просто переставая пропускать воду. Не рекомендуется использовать их для воды, не прошедшей микробиологическую очистку.

Итак, перед выбором бытового фильтра очень важно знать состав очищаемой воды. Не стоит при этом забывать о таких простых правилах улучшения качества воды, как ее отстаивание (особенно это относится к водопроводной воде – для уменьшения содержания хлора) и кипячение. В последнее время фирмы, продающие фильтры, облегчают задачу покупателя, разделяя их по группам, например, «очищающие от железа», «для водопроводной воды». Но лучше иметь свою информацию, полученную в районных санитарно-эпидемиологических станциях или проверив воду в гидрохимической лаборатории. Следует внимательно читать прилагаемые к фильтрам инструкции. Очищенную воду также желательно проверить на содержание в ней различных компонентов. Не затягивать со сменой картриджей. Следить за новинками в области очистки воды с помощью бытовых фильтров. По возможности не экономить на бытовой очистке воды, помня, что ваше здоровье во многом зависит от того, какую воду вы пьете, притом, что использовать даже самые недорогие фильтры гораздо лучше, чем обходиться без них.

13.4. Как решать водные проблемы на природе?

Вот что в отношении водообеспечения в природных условиях советует путешественник и врач В.Г. Волович в своей книге «С природой один на один» (1989). Основные положения выглядят следующим образом:

- 1) поиск воды, особенно в условиях пустыни, должен быть одним из первоочередных мероприятий;
- 2) при наличии водоисточника пить воду без ограничений, а в жарком климате несколько больше, чем требуется для утоления жажды;
- 3) при ограниченных запасах воды установить, исходя из обстоятельств, жесткую суточную норму воды, уменьшить по возможности количество потребляемой пищи, особенно вызывающей жажду (консервы, солонина и т. п.);
- 4) очищать и обеззараживать воду, добываемую из стоячих и слабопроточных водоемов;
- 5) собирать росу, воду, содержащуюся в стволах деревьев, побегах лиан, черешках листьев и т. д.;

- 6) добывать воду с помощью солнечных конденсаторов, полиэтиленовых мешков и других устройств;
- 7) построить укрытие (тент, навес и т. п.), защищающее от прямой солнечной радиации, не снимать одежду в жаркое время суток;
- 8) обеспечить такой режим деятельности (время выполнения лагерных работ, переходы и др.), который бы снижал до минимума тепловые нагрузки;
- 9) ни при каких условиях не пить морскую (океанскую) воду, мочу, пустынный рассол.

В Арктике, как это ни покажется странным, остро стоят проблемы потери воды организмом. Многие полярные исследователи жаловались на жажду во время своих экспедиций в Арктику и Антарктику, что объясняется несколькими причинами. Во-первых, сильным потоотделением при тяжелой физической работе в условиях низкой температуры и большой сухости вдыхаемого воздуха, который при поступлении в легкие и нагревании поглощает значительное количество влаги. Во вторых, дегидратации организма может способствовать учащение мочеотделения (до 10–15 раз в сутки), вызванное повышенным притоком крови к внутренним органам, уменьшением обратного всасывания жидкости в почках. Обильное питье воды не всегда помогает, так как с мочой организм теряет большое количество хлористого натрия. В результате нарушается водно-солевой обмен, а водопотеря продолжает нарастать. Поэтому рекомендуется принимать внутрь по 0,5 г соды (двууглекислого натрия).

В летний период в арктических районах источником пресной воды могут служить небольшие водоемы, образующиеся на поверхности ледяного поля в результате таяния снежного покрова, а также сам снежный покров, особенно его верхний слой (10–15 см), содержание солей в котором незначительно.

В тундре в летний период много источников воды. Но эту воду необходимо кипятить или обрабатывать бактерицидными таблетками.

В холодный период года источником воды в арктическом районе может служить старый лед. Чем старше лед, тем меньше в нем содержится солей. Поэтому верхняя часть многолетних паковых

льдов, поднимающихся над уровнем ледяного поля, зачастую почти совершенно пресная. Молодой же лед из-за высокой солености не пригоден для получения пресной воды. Опреснение льда идет в зимнее время вследствие разности температур его верхней и нижней поверхности. Старый опресненный лед отличается от молодого своеобразной голубой окраской, сглаженными очертаниями и блеском. Молодой лед имеет темно-зеленый цвет.

В лесной зоне. Водных объектов в лесных районах много. Путь к ним часто указывают тропы, проложенные животными к водопою. Указателем источника воды могут служить также пчелы, появление которых свидетельствует о том, что до воды не более 1 км. Муравьи также не удаляются далеко от воды. Если поблизости нет водного объекта, то рекомендуется добыть воду с помощью полиэтиленового пакета, который надевается на ветку дерева и завязывается у основания. Через несколько часов в пакете оказывается до 200 мм воды.

В пустыне. О том, насколько необходима вода в пустыне, много говорить не надо. Но где найти ее там? Оказывается, это возможно. Вероятней всего это можно сделать в низине высохшего русла или в ложбине у подножья бархана с подветренной стороны, где вначале на глубине 1-2 м появится темный, сырой песок, а через некоторое время выкопанную ямку постепенно заполнит грунтовая вода.

В горно-пустынной местности водоисточник можно отыскать у подножья горных плато, на обрывистых склонах. Местами вода выпотекает, покрывая густыми каплями породу, или скрывается под тонким слоем почвы. Нередко после прошедших дождей вода скапливается во впадинах у основания скал, по краям галечной осыпи.

На близость грунтовых вод иногда указывают роение мошек и комаров, наблюдаемое после захода солнца, ярко-зеленые пятна растительности среди обширных пространств оголенного песка.

Присутствие пресных вод на относительно небольшой глубине вызывает, как правило, развитие более пышной и более яркой по цвету растительности, влаголюбивых трав, кустарников, деревьев. В пустынях Центральной Азии указателем подземного

источника воды служит *тополь разнолиственный*, а в африканских пустынях – *финиковая пальма*, *дикий арбуз*.

Кроме природных водоисточников, в пустынях встречаются колодцы. Они располагаются, как правило, неподалеку от караванной дороги и так тщательно укрыты от солнца, что неопытный человек может пройти в двух шагах, не подозревая об их существовании. О близости колодца можно узнать по ряду признаков, среди которых тропинки, идущие в сторону от стоянки каравана.

Облегчить положение терпящего бедствие в каменистых пустынях помогает роса, обильно выпадающая в утренние часы. Если сложить гальку, щебень грудой, то к утру чистым куском материи можно собрать некоторое количество влаги, осевшей на их поверхности.

В пустынях иногда встречаются небольшие озера, впадины, заполненные водой, имеющей соленый или мыльный вкус. Для питья она непригодна. Содержащиеся в ней неорганические соли и другие примеси (более 4-5 г/л) вызывают острые кишечные расстройства, усугубляющие обезвоживание. Такую воду можно использовать только для смачивания одежды. Этот несложный способ значительно снижает водопотерю организма.

В зимнее время года соленую воду опресняют замораживанием. Для этого флягу заполняют водой и, дав ей замерзнуть на 2/3, остаток (рассол) сливают. Если образовавшийся лед сохраняет соленый вкус, его надо растопить и заморозить повторно на 2/3. Обычно повторное замораживание приводит к успеху.

Воду в пустыне можно получить прямо из песка с помощью так называемых солнечных конденсаторов. Основой конструкции солнечного конденсатора служит тонкая пленка из прозрачного пластика. Ею прикрывается яма диаметром около 1 м, вырытая в грунте на глубину 50–60 см. Края пленки для создания большей герметичности присыпаются песком или землей. Солнечные лучи, проникая сквозь прозрачную мембрану, абсорбируют из почвы влагу, которая, испаряясь, конденсируется на внутренней поверхности пленки. Пленке придают конусообразную форму, положив в центр небольшой грузик, чтобы капли конденсата стекали в водосборник. За сутки один конденсатор может

дать до 1,5 л воды. Для повышения его производительности яму наполовину заполняют свежесобранными растениями, побегами верблюжьей колючки и т. п.

Можно получить небольшое количество воды и с помощью обыкновенного мешочка из полиэтилена, который надевается на кустик верблюжьей колючки, ветку саксаула или тамариска и завязывается у основания. Вода, испаряемая растением, оседает в виде капель на внутренней поверхности полиэтилена и скапливается в нижней части пакета.

В условиях высокой температуры воздуха человеку приходится постоянно восполнять потери воды. При этом, чем ниже температура воды, тем длительней время, в течение которого человек может находиться в жаркой среде. Вместе с водой человек теряет и большое количество необходимых организму солей, в связи с чем при больших физических нагрузках необходим дополнительный прием солей, которые надо давать либо в порошках, либо в таблетках, либо в виде 0,1–0,2% раствора. При определении количества хлористого натрия, которое надо давать дополнительно, и зная примерную водопотерю, возникающую в походе при высокой температуре воздуха, можно исходить из расчета 2 г солей на каждый литр потерянной с потом жидкости.

Что касается использования подсоленной воды, которая рекомендовалась раньше, как надежное средство утоления жажды, способствующее удержанию жидкости в организме и повышающее устойчивость к воздействию высоких температур, то оказалось, что эти рекомендации ошибочны. Многочисленные эксперименты показали, что соленая вода не имеет никаких преимуществ перед пресной. Ее употребление не снижает потоотделения, не уменьшает опасности перегрева, а лишь ведет к некоторому увеличению мочеотделения.

В джунглях в условиях высоких температур воздуха потребность в воде также очень высока и рекомендации по поддержанию водно-солевого баланса организма примерно те же, что и в пустыне. В джунглях не приходится жаловаться на недостаток воды. Ее источники встречаются на каждом шагу. Однако пользоваться водой из таких источников нужно с осторожностью. Нередко она заражена гельминтами, содержит различные пато-

генные микроорганизмы – возбудители тяжелых кишечных заболеваний.

Джунгли помимо водных объектов располагают еще и водой, содержащейся в растениях. Одно из них – *пальма равенала*, называемая деревом путешественников. Она встречается в джунглях и саваннах африканского материка и Юго-Восточной Азии. Черенки листьев имеют вместилища, где накапливается до 1 л воды. Влагу можно получить из *лиан* и особенно из *тростника*. В одном полуметровом стебле растения содержится до стакана прозрачной, чуть кисловатой на вкус воды. Большое количество воды даже в периоды сильной засухи содержится в *баобабе*. Одно из самых распространенных растений, содержащих воду, – *бамбук*, тот, который имеет желтовато-зеленую окраску и растет в сырых местах наклонно к земле, под углом 30–50°. В одном метровом колене содержится от 200 до 600 г воды. Бамбуковая вода сохраняет температуру 10–12°C даже тогда, когда температура окружающего воздуха превышает 30°C.

В горах потери воды организмом оказываются обычно выше, чем в нормальных условиях, на уровне моря. Это объясняется усиленным потоотделением и потерей воды при дыхании в условиях, когда крайне сухой горный воздух, попадая в легкие, до отказа насыщается влагой, которая затем с выдохом выводится из организма. На высоте 6000 м с выдыхаемым воздухом теряется в два раза больше воды, чем на уровне моря.

Обеспечить себя водой в горных условиях можно при помощи таяния снега или льда. На меньших высотах, в предгорье, обычно много ключей, ручьев, родников, рек и озер. В засушливых горных районах воду найти труднее. Вместе с тем, поскольку основные водопотери организма идут через легкие, не происходит обеднения организма солями. Специальных мер по восстановлению баланса солей, в отличие от пустынных районов и джунглей, предпринимать не приходится. Однако относительно длительное использование талой воды из льда и снега может вызвать нежелательные нарушения в жизнедеятельности организма, так как эта вода по своему составу близка к дистиллированной и организм недополучает целый ряд необходимых ему минеральных веществ и микроэлементов. Поэтому рекомен-

дуются искусственная минерализация воды с помощью специальных солевых таблеток, таких как «Аквасоль», в состав которых входят хлористый натрий, сернистый магний, йодистый калий и фтористый натрий.

Вода из горных источников обычно чиста и безвредна для здоровья, и ее можно пить сырой. Вместе с тем в горных условиях желательно утолять жажду горячими напитками – чаем, горячей водой, подкисленной лимоном.

В море. В тропиках человеку, оказавшемуся в лодке или на плоту, прежде всего грозят перегрев организма и связанная с этим потеря воды в процессе усиленного потоотделения. Потери воды в тропической зоне океана могут достигать 0,8 л/час. Соответственно возрастает угроза обезвоживания организма. Одно из наиболее простых средств охлаждения и уменьшения потерь воды человеком – создание какой-либо теневой защиты от солнечных лучей. Другое средство – смачивание одежды забортной водой. Эта мера резко снижает потери воды организмом и снижает жажду, но, конечно, не устраняет ее полностью. При отсутствии пресной воды многие люди, оказавшиеся в такой ситуации, например, известные мореплаватели Ален Бомбар, Уильям Уиллис, пили морскую воду и тем самым, казалось бы, решали проблему утоления жажды. Однако специально проведенные исследования показали, что морская вода токсична для человека. В первую очередь угрозе подвергаются почки, в функцию которых входит удаление излишних солей, а также желудок и кишечник, но особенно нервная система. Вот почему у людей, потерпевших кораблекрушение и вынужденных пить морскую воду, очень часты психические расстройства, а в памяти моряков и летчиков, летающим над морскими просторами и могущим в случае аварии оказаться в океане, запрещено пить морскую воду.

В какой-то мере утолить жажду может сок пойманной рыбы, как это делал Ален Бомбар. Менее экзотический путь – собирать в ночное время росу и в случае дождя использовать пресную дождевую воду, хотя дождей долгое время может и не быть.

Для моряков, летчиков и других людей, специальность которых предполагает повышенную вероятность в результате аварии оказаться наедине с океаном, в последние десятилетия разрабо-

таны специальные средства на случай аварии. Среди них – компактные солнечные дистилляторы (опреснители) и химические опреснители. Для химического опреснения морской воды используются природные минеральные вещества – цеолиты, которые обладают способностью выводить молекулы солей натрия, калия, кальция, магния в нерастворимый осадок. Для того чтобы устранить молекулы хлора, к цеолитам добавляют серебро.

Одним из перспективных путей является и создание так называемых селективных мембран, позволяющих при фильтрации задерживать молекулы растворенных в морской воде солей.

Человеку, оказавшемуся в холодной воде, если даже он умеет плавать, грозит серьезная опасность, чреватая гибелью, – **переохлаждение**, которое наступает уже при температуре воды ниже 33,3°C. А, как правило, температура воды гораздо ниже, даже в тропиках. Охлаждение в воде идет особенно быстро, учитывая, что теплопроводность воды почти в 27 раз больше, чем у воздуха. В среднем время безопасного пребывания в воде при температуре 24°C измеряется 7–9 часами, при 5–15°C оно уменьшается вдвое. При 2–3°C смерть наступает через 10–15 минут. Помимо температуры воды на скорость охлаждения влияют и другие факторы – общее физическое состояние человека, его устойчивость к низким температурам, теплозащитные свойства одежды, толщина подкожно-жирового слоя. Недаром большинство так называемых «моржей», то есть людей, регулярно купающихся в ледяной воде, имеют внушительную толщину подкожно-жирового слоя. Известны также случаи, когда люди многократно превышали указанные выше критические сроки пребывания в ледяной воде и оставались живы.

Как же вести себя человеку, попавшему в холодную воду? В.Г. Волович рекомендует, находясь на плаву, держать голову как можно выше, поскольку на нее приходится больше половины теплопотери организма, удерживать себя на поверхности воды, затрачивая минимум физических усилий. Быстро плыть к берегу, лодке или плоту, если добраться до них удастся не более чем за 30–40 минут. Добравшись до них, следует немедленно раздеться, выжать намокшую одежду и снова надеть, а еще лучше, если это возможно, переодеться в сухую одежду. Время от вре-

мени нужно выполнять физические упражнения, попеременно напрягая мышцы ног, рук, живота.

Захлебнувшемуся водой человеку необходимо делать интенсивное искусственное дыхание. Известны случаи, когда удавалось спасти людей через 10–20 минут после утопления в холодной воде.

В дальнейшем помощь людям, извлеченным из холодной воды, должна быть направлена на как можно более быстрое восстановление температуры тела. Помимо сухой теплой одежды очень эффективны грелки, а еще лучше теплая ванна. Желательно напоить пострадавшего горячим чаем или кофе. Вместе с тем могут принести вред такие традиционные способы согревания людей, как растирание тела, прием алкоголя. Так, при растирании охлажденная кровь из периферических сосудов начнет активно поступать в центральную часть тела, способствуя дальнейшему снижению ее температуры. Алкоголь же, помимо угнетающего воздействия на центральную нервную систему, расслабляет сосуды конечностей, способствует поступлению охлажденной крови к сердцу и другим жизненно важным органам.

Многие люди, оказавшиеся в море на каком-либо судне, часто страдают от **укачивания**, нередко называемого «морской болезнью». Сейчас разработаны эффективные лекарственные средства для борьбы с укачиванием, включающие, например, производные белладонны – скополамин и гиосциамин. Если их нет, рекомендуется принять горизонтальное положение, слегка запрокинув голову. Способствуют уменьшению укачивания фиксация взгляда на какой-либо точке впереди, ритмичные вдохи в момент подъема судна на гребень волны, сосание кислой карамели, использование жевательной резинки и т. д. Если же тошноту не удалось удержать, то рвотные массы желательно не удалять за борт, так как это может привлечь акулу.

Встреча с акулой далеко не всегда, но во многих случаях, представляет серьезную опасность. Специалисты считают, что любая акула размером более 1 м представляет опасность для человека. Как правило, нападение акул на человека происходит в теплых водах с температурой не ниже 21°C. Каких-то универсальных средств защиты от нападения акул не существует, хотя во многих странах ведутся интенсивные разработки средств, от-

пугивающих акул. В различного рода инструкциях содержится рекомендация, встретив акулу, не молотить по воде руками, не пытаться уплыть от нее, а, пересилив страх, постараться «убедить» ее, что она имеет дело с сильным противником, готовым к решительной борьбе. Полезно, как говорится в инструкциях, пускать пузыри, кричать под водой. Если есть возможность, лучше никогда самим не пытаться вступать в контакт с акулами. Купальщикам рекомендуется не устраивать ночных купаний в районах, где есть акулы, не входить в воду, имея царапины или кровоточащие ранки. Оказавшись в результате аварии в воде, не следует снимать одежду и обувь, так как замечено, что акула гораздо реже нападает на одетого человека, чем на обнаженного. Находясь в шлюпке, нельзя опускать руки или ноги за борт, выбрасывать за борт остатки пищи.

Пострадавшему от нападения акул следует прежде всего наложить жгут для предотвращения кровотечения, на поврежденную конечность наложить шину из подручных материалов, ввести антибиотик, дать сладкий чай или кофе.

Из других морских животных особую опасность представляют **ядовитые медузы**, такие как *физалия*, представляющие собой своеобразную колонию полипов, и особенно *морская оса*. По некоторым данным, на счету морских ос больше жертв, чем у акул. Также опасна встреча с морскими змеями, скатами, муренами и барракудами и целым рядом других обитателей моря.

Несколько слов об **индивидуальных мерах защиты от наводнений**. Прежде всего, полезно знать о водном режиме рек и водоемов региона, в котором вы находитесь, и проявлять соответствующую осторожность в то время, когда наиболее вероятны половодья и паводки. Знакомиться, особенно перед походами и экскурсиями, с прогнозом гидрометеорологических явлений. При неблагоприятном прогнозе лучше отложить вылазки из дома. Если все же реальна перспектива встретиться со стихией на природе, заранее запаситесь плавательными средствами и присмотрите высокие места, где вас не достанет вода. В походах ни в коем случае, особенно в горах при высокой вероятности дождя, нельзя ставить палатки на берегу близко к воде. И, как ни банально это звучит, умейте плавать!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной книге освещены далеко не все аспекты взаимодействия природных вод и человека. Но и из того, что представлено, видно, что многие легенды и мифы о воде дают правильное представление о роли воды в природе и обществе, другие же вводят в заблуждение. Основная наука о воде, гидрология, разгадала многие тайны удивительных свойств воды, выявила целый ряд закономерностей формирования природных вод и столь необходимых человеку водных ресурсов, их пространственного распределения и временной динамики. Вода поистине самое необыкновенное вещество на Земле, без которого наша жизнь была бы невозможна, а облик Земли был бы совершенно другим. Очень важно, что запасы воды – водные ресурсы – постоянно возобновляются в процессе ее круговорота. Очень важно, что ее запасы, водные ресурсы, постоянно возобновляются в процессе круговорота воды. Но водные ресурсы крайне неравномерно распределяются по территории и во времени, что создает во многих районах Земли острые водные проблемы в виде наводнений или, напротив, маловодий и нехватки воды для населения и хозяйства. Но не менее важная, а во многих случаях главная причина водных проблем заключена в подчас чрезмерном антропогенном воздействии на водные ресурсы, объясняющимся, с одной стороны, растущими потребностями общества, а с другой – нерациональным, а подчас варварским использованием воды. Результат такого воздействия – количественное истощение водных ресурсов в ряде районов и речных бассейнов и особенно загрязнение природных вод отходами хозяйственной деятельности. Загрязнение рек и водоемов в настоящее время – главная угроза мировым водным ресурсам. Чрезвычайно актуальна она и в России. Особенно острые ситуации складываются там, где загрязнение вод накладывается на физическую их нехватку. Одна из самых катастрофических сложилась в бассейне Аральского моря. Вместе с тем человечество располагает возможностями предотвратить наступление «водного голода» на планете, решить имеющиеся

водные проблемы или, во всяком случае, снизить их остроту. В числе наиболее апробированных мероприятий – регулирование водного режима гидротехническими средствами, агротехническими и агролесомелиоративными приемами на водосборах, очистные сооружения и другие. Вместе с тем требуется пересмотр некоторых устоявшихся представлений о путях решения водных проблем. На смену решению водных проблем по мере их возникновения должен прийти профилактический принцип – заблаговременное предотвращение возможности образования этих проблем или осуществление мер по заблаговременному максимальному ослаблению их возможных последствий. Помимо водных проблем для общества в целом с ними приходится сталкиваться в быту практически всем нам. И очень важно, чтобы все мы осознали важность бережного отношения к воде и умели правильно оценивать и решать водные проблемы. Надеемся, что данная книга сможет помочь в этом отношении читателю, а если он не найдет в ней ответов на те вопросы, которые у него возникают, то к его услугам рекомендуемая нами дополнительная литература.

ИСТОЧНИКИ

1. Авакян А.Б. О воде с тревогой и надеждой. Екатеринбург, РосНИИВХ, 1999. 174 с.
2. Алекин О.С. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
3. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. М., Гидрометеиздат, 1969. 324 с.
4. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред.: Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. М.: Наука, 2003. 368 с.
5. Асарин А.Е. Современный режим притока воды к дельте Волги и его возможные изменения // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 5–12.
6. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / под ред. В.М. Котлякова. Т. II. Книга 2. М., Изд-во ИГРАН, 1997. 270 с.
7. Балков В.А. Влияние карста на сток рек Европейской территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1970. 216 с.
8. Большой словарь географических названий / Под ред. В.М. Котлякова. Екатеринбург, У-Фактория, 2003. 832 с.
9. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Изд-во «Академия», 2010. 304 с.
10. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2017 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2018. 230 с.
11. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. С-Пб: ГГИ, 2008. 599 с.
12. Волович В.Г. С природой один на один. М.: Военное изд-во, 1989. 350 с.
13. Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. М.: Издательский дом «Кодекс», 2012. 496 с.
14. Вопросы географии. Сб. 145: Гидрологические изменения / отв. ред. В.М. Котляков, Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова – М.: Издательский дом «Кодекс», 2018. 432 с.

15. Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Мотовилов Ю.Г., Насонова О.Н., Миллионщикова Т.Д., Фролова Н.Л. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 2. Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 3. С. 270–285.
16. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Милюкова И.П. О вкладе климатических и антропогенных факторов в изменения стока крупных рек Русской равнины и Сибири // Доклады Российской академии наук. 2019. Т. 488. № 5. С. 539–544.
17. Гусев Е.М., Насонова О.Н. Моделирование тепло- и влагообмена поверхности суши с атмосферой. М.: Наука, 2010. 327 с.
18. Девис К., Дж. Дэй. Вода – зеркало науки. Л.: Гидрометеоздат, 1964. 151 с.
19. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. и др. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод европейской части России: формирование, распределение, использование. М., ГЕОС, 2015. 315 с.
20. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006. 225 с.
21. Ильина Л.Л., Грахов А.Н. Повесть о великих реках Русской равнины. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 168 с.
22. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Ленинград: Гидрометеоздат, 1968. 377 с.
23. Каталог водохранилища СССР / Ред. С.К. Лазарева. – М.: Изд-во ОРСИТДММ ин-та «Союзгипроводхоз», 1988. 276 с.
24. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С. Трансграничный водообмен в России // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 4. С. 407–716. DOI:10.31857/S0321059621040076
25. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Оценка современного водопотребления в мире и на континентах, его влияние на годовой речной сток // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 3. С. 256–264. DOI: 10.31857/S0869587322030057.
26. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Мельник К.С. Оценка влияния урбанизации на годовой сток и качество

- вод в мире и на континентах // Изв. РАН, сер. географ. 2022. № 3. С. 470–480. DOI: 10.31857/S2587556622030098.
27. Короткий Л.М. Эхо эколого-экономических скандалов. Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2011. 328 с.
 28. Котляков В.М. Мир снега и льда. М.: Наука, 1994. 287 с.
 29. Кравцова В.И. Космические снимки и экологические проблемы нашей планеты. М.: ИТЦ «Скан-Экс», 2011. 255 с.
 30. Красивые легенды о реках и озерах. Какие есть легенды о реках и озерах? // <http://www.bolshoyvopros.ru/questions/1431069-krasivye-legendy-o-rekah-i-ozjorah-kakie-est-legendy-o-rekah-i-ozjorah.html>
 31. Кренке А.Н. Воспоминания. Москва, 2011. 43 с.
 32. Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л., Гидрометеиздат, 1986. 119 с.
 33. Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление). М.: Экономика, 2005. 621 с.
 34. Литературные герои. Лорелея. // <https://dic.academic.ru/dic.nsf/litheroes/337/>
 35. Лосев К.С. Вода. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 272 с.
 36. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
 37. Малик Л.К. Концептуальные подходы к освоению гидроэнергетического потенциала малых рек России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 3. С. 16–28.
 38. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М., Наука, 2005. 354 с.
 39. Мечников Л.И. Цивилизация и великие исторические реки. Географическая теория развития современных обществ. С.-Петербург, издание редакции журнала «Жизнь», 1898. 176 с.
 40. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., Гидрометеиздат, 1974. 638 с.
 41. Мифы народов мира: Энциклопедия. Электронное издание / Гл. ред. С. А. Токарев. М., 2008.
 42. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.

43. Мишон В.М. Поверхностные воды Земли: ресурсы, использование и охрана. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1996. 220 с.
44. Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 1. Алгоритмы генерализации и осреднения // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 3. С. 243–253.
45. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М., Изд. Российской академии наук, 2018. 300 с.
46. Никаноров А.М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 351 с.
47. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 228 с.
48. Православная энциклопедия. Том IX. М.: Церковно-научный центр «Православная энциклопедия», 2005. С. 140–148.
49. Реки и озера мира. М., ООО «Издательство Энциклопедия», 2012. 928 с.
50. Решение проблемы нехватки воды в Израиле: повторное использование, сбор и восстановление водных ресурсов // Режим доступа: www.kkl.org.il
51. Спенглер О.А. Слово о воде. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 152 с.
52. Таратунин А.А. Наводнения по континентам и странам. Екатеринбург, Федеральное агентство водных ресурсов, 2011. 480 с.
53. Фашук Д.Я. Мировой океан. История, география, природа. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 282 с.
54. Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 3. С. 251–269.
55. Чеботарёв А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.
56. Черняев А.М. Поэзия и проза воды. Екатеринбург: Изд-во «Виктор», 1996. 275 с.

57. Шапоренко С.И. Бытовые фильтры для воды // Энергия: экономика, техника, экология, 1997. № 6. С. 46–54.
58. Шапоренко С.И. Какую воду мы пьем? // Энергия: экономика, техника, экология, 1997. № 2. С. 24–29.
59. Шахнович М.И. Мифы о сотворении мира. М.: Знание, 1968. 63 с.
60. Широкова В.А., Фролова Н.Л. Вода: океаны и моря, реки и озера. Энциклопедия ОЛМА. М.: ОЛМА Медиа Групп, 2012. 304 с.
61. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М., ГЕОС, 1998. 277 с.
62. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М., Медиа-ПРЕСС, 2010. 460 с.
63. AQUASTAT – FAO’s Global Information System on Water and Agriculture. <http://www.fao.org/aquastat/en/databases/dams> 2014
64. Gross domestic product based on purchasing-power-parity (PPP) valuation of country GDP. IMF. The World Bank. // Режим доступа: <https://www.imf.org/>
65. Lehner, B., C. Reidy Liermann, C. Revenga, C. Vörösmarty, B. Fekete, P. Crouzet, P. Döll, M. Endejan, K. Frenken, J. Magome, C. Nilsson, J.C. Robertson, R. Rodel, N. Sindorf, and D. Wisser. 2011. High-resolution mapping of the world’s reservoirs and dams for sustainable river-flow management.
66. OECD Factbook – Statistics – OECD iLibrary // Режим доступа: www.oecd-ilibrary.org
67. Report for Selected Countries and Subjects. World Economic Outlook. // <https://www.imf.org/>



Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева

ВОДА И ЧЕЛОВЕК

Издательство «Перо»

109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29–33, стр. 27, ком. 105

Тел.: (495) 973–72–28, 665–34–36

www.pero-print.ru e-mail: info@pero-print.ru

Подписано в печать 27.07.2022. Формат 60х90/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 20,25. Тираж 500 экз. Заказ 601.

Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»



КОРОНКЕВИЧ Николай Иванович

Профессор, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН, академик Академии водохозяйственных наук. Основные направления научной деятельности: ландшафтная гидрология, оценка изменений водного баланса и водных ресурсов различных территорий под влиянием антропогенных факторов, сценарные прогнозы их состояния, экстремальные гидрологические ситуации. Автор более 500 научных публикаций, в том числе шести монографий.



БАРАБАНОВА Елена Алексеевна

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН. Круг научных интересов: оценка геоэкологической роли крупных гидротехнических сооружений на окружающую среду и хозяйство в нормальных и экстремальных условиях функционирования, экстремальные гидрологические явления, оценка вклада природных и антропогенных факторов в изменения стока крупных речных бассейнов России. Автор более 200 научных публикаций.



ЗАЙЦЕВА Ирина Сергеевна

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН. Занимается исследованием современных тенденций в антропогенных воздействиях на водные ресурсы России в условиях меняющейся природной и социально-экономической обстановки, спецификой современных антропогенных воздействий на водные ресурсы России по сравнению с мировыми тенденциями. Автор более 230 научных работ.

ISBN 978-5-00204-403-0



9 785002 044030